

№ 9035.1

МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ СОЮЗА ССР
ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ НАВИГАЦИИ И ОКЕАНОГРАФИИ

ПРАКТИЧЕСКОЕ КОРАБЛЕВОЖДЕНИЕ

КНИГА ПЕРВАЯ



1989

Практическое кораблевождение состоит из двух книг: в первой книге изложены основные вопросы практики современного кораблевождения, во второй книге — вопросы маневрирования и управления маневрами корабля. Издание предназначено для командиров, штурманов и вахтенных офицеров кораблей Военно-Морского Флота. Оно может быть полезно также судоводителям других министерств и ведомств.

В настоящем тираже, в отличие от тиража 1988 г., по замечаниям и предложениям читателей внесены некоторые уточнения.

АВТОРСКИЙ КОЛЛЕКТИВ

Д. воен. и. А. Н. Мотрохов — главный редактор и автор § 2.1, 29.10, 31.2, 32.1, гл. 34, 35 и прил. 1, ч. I и 2; д. воен. н., проф. Н. М. Груздев — гл. 1, 5, 7, 9 (кроме § 9.7), 12, 13, 14, 15, 27, 28, 29 (кроме § 29.1, 29.2, 29.9 и 29.10) и прил. 3; доц. Н. Н. Грибанов — гл. 2 (кроме § 2.1) и прил. 4; В. Д. Шаидабылов — гл. 3 и 31 (кроме § 31.2); проф. А. А. Дадашев — гл. 4 и 17; д. воен. н., проф. Р. А. Скубко — гл. 6, 21, 22, 23, 24, 25, 26, § 9.7, 32.3 и прил. 1, ч. II; В. В. Колтушенко — гл. 8, 33 (кроме § 33.4), 36, § 29.1, 29.2; д. воен. и., проф. А. В. Лаврентьев — гл. 10 и § 33.4; Г. А. Колчин — гл. 11, 16, 30, § 29.9 и 32.2; А. И. Безобразов — гл. 18, 19 и 20 (кроме § 20.4); канд. т. н., доц. Г. Е. Гладков — § 20.4.

В разработке программ решения астронавигационных задач в гл. 22, 23, 25, 26 принимали участие канд. т. н., доц. Г. Е. Гладков и И. И. Домашний; § 23.3 и 23.9 написаны проф. Р. А. Скубко в соавторстве с д. т. н., проф. В. Т. Кондрашкиным, а гл. 25 — в соавторстве с канд. т. н., доц. А. Ю. Барановым.

Рецензирование рукописи выполнили преподаватели кафедры кораблевождения ВВМУ им. М. В. Фрунзе, а также научные сотрудники в/ч 62728. Общее рецензирование книги выполнили канд. воен. н. Р. А. Зубков и В. И. Алексин.

Подготовка книги к изданию осуществлена в Центральном картографическом производстве ВМФ А. Д. Глазко, В. И. Красиковым, Е. И. Кузнецовым, И. П. Курбатовым, Е. А. Флягиным и М. П. Шалимовым.

Ответственный редактор д. воен.-мор. н. адм. А. П. Михайловский.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие	11

РАЗДЕЛ I

ЗЕМЛЯ И МИРОВОЙ ОКЕАН

Глава 1. Геометрия Земли и основы ориентирования на земной поверхности	19
§ 1.1. Фигура Земли и ее модели, используемые в кораблевождении	19
§ 1.2. Радиусы кривизны земного эллипсоида	22
§ 1.3. Основные точки, линии и плоскости для ориентирования корабля на земной поверхности	23
§ 1.4. Координаты, применяемые в кораблевождении	24
§ 1.5. Ортодромия и лохсодромия	28
§ 1.6. Аналитические методы расчета направлений и расстояний между двумя точками на земной поверхности	33
Глава 2. Мировой океан и атмосфера. Геофизические поля	37
§ 2.1. Основные факторы внешней среды, влияющие на корабль, его оружие и технические средства	37
§ 2.2. Океанические и морские течения	38
§ 2.3. Предвычисление и учет некоторых приливных явлений	39
§ 2.4. Наблюдения за гидрометеорологической обстановкой на кораблях и судах ВМФ	40
§ 2.5. Составление прогнозов гидрометеорологической обстановки на кораблях и судах ВМФ	46
§ 2.6. Основные геофизические поля, влияющие на навигационные параметры	49
Глава 3. Средства навигационного оборудования морских и океанских театров	53
§ 3.1. Виды и назначение средств навигационного оборудования	53
§ 3.2. Зрительные средства навигационного оборудования	54
§ 3.3. Радиотехнические средства навигационного оборудования	58
§ 3.4. Гидроакустические средства навигационного оборудования	59
§ 3.5. Звукоопосредованные средства навигационного оборудования	59
§ 3.6. Электромагнитные средства навигационного оборудования	60
Глава 4. Морские карты, руководства и пособия	61
§ 4.1. Общая характеристика морских карт, руководств и пособий	61
§ 4.2. Классификация картографических проекций и карт, применяемых в морской картографии	67
§ 4.3. Нормальная равноугольная цилиндрическая проекция Меркатора	71
§ 4.4. Поперечная равноугольная цилиндрическая проекция Меркатора	75
§ 4.5. Поперечная равноугольная цилиндрическая проекция Гаусса	78
§ 4.6. Оценка степени доверия к морской карте и графическая точность решения на ней навигационных задач	84

РАЗДЕЛ II

ЭЛЕМЕНТЫ ДВИЖЕНИЯ КОРАБЛЯ И ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОРАБЕЛЬНЫМИ ТЕХНИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ НАВИГАЦИИ

Глава 5. Определение направлений и поправок курсоуказателей	89
§ 5.1. Системы счета направлений	89
§ 5.2. Определение направлений с помощью курсоуказателей	92
§ 5.3. Определение поправок курсоуказателей	99

	Стр.
Глава 6. Измерение времени на кораблях Военно-Морского Флота	118
§ 6.1. Основы измерения времени на корабле	118
§ 6.2. Прием информации об эталонном времени. Определение поправок корабельных измерителей времени	121
§ 6.3. Хранение времени на корабле	123
§ 6.4. Передача информации о точном времени на командные пункты и боевые посты корабля	124
Глава 7. Определение скоростей и пройденных кораблем расстояний	126
§ 7.1. Единицы длины и скорости, принятые в кораблевождении	126
§ 7.2. Относительная и абсолютная скорости корабля	127
§ 7.3. Определение относительной скорости и расстояния, пройденного относительно воды	128
§ 7.4. Определение путевой (абсолютной) скорости и путевого расстояния	132

РАЗДЕЛ III

ПОДГОТОВКА К ПОХОДУ

Глава 8. Основные обязанности по кораблевождению должностных лиц корабля и соединения при подготовке к походу	139
§ 8.1. Обязанности командира корабля	139
§ 8.2. Обязанности офицеров штурманской боевой части	141
§ 8.3. Обязанности вахтенных офицеров	145
§ 8.4. Обязанности флагманского штурмана соединения	146
Глава 9. Анализ условий предстоящего плавания и предварительные навигационные расчеты	149
§ 9.1. Изучение районов и анализ условий предстоящего плавания	149
§ 9.2. Выбор пути перехода	152
§ 9.3. Расчет наимыгоднейшего пути	153
§ 9.4. Графический план похода	156
§ 9.5. Подбор морских карт, руководств и пособий и их корректура	156
§ 9.6. Предварительные навигационные расчеты и предварительная прокладка	158
§ 9.7. Оценка и отображение астронавигационной обстановки по маршруту похода	164
§ 9.8. Расчет навигационной безопасности плавания	172
§ 9.9. Использование навигационной ЭКВМ «Списка» для оценки точности плавнируемых обсерваций	178
Глава 10. Техническое обслуживание, ремонт и подготовка к походу корабельных технических средств навигации	181
§ 10.1. Техническое обслуживание корабельных технических средств навигации	181
§ 10.2. Ремонт корабельных технических средств навигации и порядок его проведения при подготовке к походу	184
§ 10.3. Правила хранения, учета и использования ЗИП	187
§ 10.4. Подготовка корабельных технических средств навигации к походу	189
Глава 11. Определение маневренных элементов корабля и поправок лага	197
§ 11.1. Маневренные элементы корабля и области их применения	197
§ 11.2. Требования к полигонам для определения маневренных элементов корабля	200
§ 11.3. Подготовка корабля к определению маневренных элементов	200
§ 11.4. Определение скорости корабля и поправки относительного лага. Юстировка абсолютного лага	202
§ 11.5. Определение элементов поворотливости и инерции корабля	219

РАЗДЕЛ IV

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА КОРАБЛЯ МЕТОДОМ СЧИСЛЕНИЯ

Глава 12. Счисление	227
§ 12.1. Основные методы решения навигационных задач	227
§ 12.2. Сущность и классификация счисления	229
§ 12.3. Графическое ручное счисление	233
§ 12.4. Графическое счисление с учетом дрейфа	236
§ 12.5. Определение углов дрейфа	239
§ 12.6. Графическое счисление с учетом течения	244
§ 12.7. Определение суммарного течения	249
§ 12.8. Графическое автоматическое счисление	255

	Стр.
§ 12.9. Аналитическое счисление	257
§ 12.10. Счисление с помощью абсолютного лага	263
§ 12.11. Точность счисления пути корабля	267
Глава 13. Корректируемое счисление	274
§ 13.1. Корректра счисления по одной обсервации или линии положения	274
§ 13.2. Корректра счисления методом последовательного уточнения элементов движения по анализу невязок	277
§ 13.3. Обсервационное счисление	292

РАЗДЕЛ V

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА КОРАБЛЯ ПО НАЗЕМНЫМ ОРИЕНТИРАМ

Глава 14. Основы определения места корабля по ориентирам	303
§ 14.1. Навигационные параметры и навигационные изолинии	303
§ 14.2. Сущность определения места корабля по ориентирам	305
§ 14.3. Обобщенный метод линий положения	308
§ 14.4. Влияние и учет неодновременности измерения навигационных параметров	312
§ 14.5. Последовательность действий при определении обсервованного места корабля	314
Глава 15. Определение места корабля по визуально наблюдаемым наземным ориентирам	316
§ 15.1. Определение места корабля по трем компасным пеленгам	316
§ 15.2. Особенности определения места корабля по двум компасным пеленгам	321
§ 15.3. Определение места корабля по горизонтальным углам	323
§ 15.4. Расчет расстояния до ориентира по вертикальному углу	326
§ 15.5. Определение места корабля с использованием расстояния, рассчитанного по вертикальному углу	330
§ 15.6. Определение места корабля крив-способами	332
§ 15.7. Определение места корабля по разнородным навигационным параметрам	338
Глава 16. Определение места корабля с помощью навигационных радиолокационных станций	345
§ 16.1. Назначение и возможности навигационных радиолокационных станций	345
§ 16.2. Навигационные параметры, измеряемые с помощью навигационных радиолокационных станций, и их точность	349
§ 16.3. Методика опознания побережья с помощью навигационных радиолокационных станций	352-355
§ 16.4. Определение места корабля по радиолокационным пеленгам и расстояниям	354
§ 16.5. Определение места корабля с помощью картосличительного устройства	359
§ 16.6. Определение места корабля с использованием пассивных радиолокационных отражателей и навигационное ориентирование корабля с помощью береговых радиолокационных станций	361
Глава 17. Определение места корабля с помощью гидроакустических средств	365
§ 17.1. Определение места корабля с помощью гидроакустических станций	365
§ 17.2. Определение места корабля с помощью подводных звуковых маяков-ответчиков	367
§ 17.3. Определение места корабля с помощью навигационной гидроакустической системы	369
§ 17.4. Определение места корабля по рельефу дна	373

РАЗДЕЛ VI

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА КОРАБЛЯ С ПОМОЩЬЮ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СРЕДСТВ И СИСТЕМ

Глава 18. Определение места корабля с помощью амплитудных радионавигационных систем	383
§ 18.1. Круговые радиомаяки. Корабельные радиопеленгаторы	383
§ 18.2. Секторные радиомаяки дальнего действия	388

	Стр.
Глава 19. Определение места корабля с помощью фазовых радионавигационных систем	397
§ 19.1. Разностно-дальномерная многочастотная радионавигационная система «Марс-75»	397
§ 19.2. Гидрографическая радиодальномерная автоматизированная система ГРАС-2	399
§ 19.3. Разностно-дальномерная фазовая радионавигационная система «Брас»	402
§ 19.4. Разностно-дальномерная фазовая радионавигационная система Декка	405
§ 19.5. Разностно-дальномерная фазовая радионавигационная система «Омега»	410
Глава 20. Определение места корабля с помощью импульсных и импульсно-фазовых радионавигационных систем	418
§ 20.1. Импульсные радионавигационные системы	418
§ 20.2. Импульсно-фазовые радионавигационные системы	424
§ 20.3. Корабельные приемники импульсно-фазовых радионавигационных систем	426
§ 20.4. Оценка точности определения места корабля с помощью радионавигационных средств при учете корреляции погрешностей радионавигационных параметров	432
РАЗДЕЛ VII	
МОРСКАЯ АСТРОНАВИГАЦИЯ	
Глава 21. Астронавигационные ориентиры и их видимое движение	439
§ 21.1. Системы координат светил, применяемые в морской астронавигации	439
§ 21.2. Навигационные звезды	447
§ 21.3. Навигационные светила Солнечной системы	456
§ 21.4. Оценка видимого движения светил в районе плавания	461
Глава 22. Подготовка к астронавигационным наблюдениям	464
§ 22.1. Общие рекомендации по применению астронавигационных средств и методов, предварительная оценка точности астронавигационных наблюдений	464
§ 22.2. Оценка астронавигационной обстановки в районе плавания	467
§ 22.3. Выбор светил для наблюдений. Целеуказание на избранные светила. Опознавание наблюдаемых звезд и планет	480
§ 22.4. Тренировки в проведении астронавигационных измерений и оценка их качества. Оценка точности высотной линии положения	494
§ 22.5. Подготовка астронавигационных инструментов, измерителей времени и вычислительных средств	507
Глава 23. Определение места корабля по наблюдениям высот небесных светил	508
§ 23.1. Принцип астронавигационного определения места корабля	508
§ 23.2. Астронавигационные наблюдения	511
§ 23.3. Вычисление координат географических мест светил на моменты их наблюдений	520
§ 23.4. Исправление измеренных высот светил. Приведение высот к одному месту наблюдений	529
§ 23.5. Прямой итерационный метод решения задачи двух высот	535
§ 23.6. Решение задачи двух высот методом высотных линий положения. Контроль счислимго места по одной высотной линии положения	539
§ 23.7. Определение линии положения по высоте Полярной звезды и по наибольшей высоте светила	554
§ 23.8. Способы определения места корабля по высотам светил и оценка точности полученного места	559
§ 23.9. Организация и методы выполнения астронавигационной обсервации	574
Глава 24. Определение места корабля по измерениям высот и азимутов небесных светил	604
§ 24.1. Азимутальная и разностно-азимутальная линии положения	604
§ 24.2. Высотно-азимутальный способ определения места корабля	609

	Стр.
§ 24.3. Высотно-разностно-азимутальный способ определения места корабля	613
Глава 25. Определение места корабля по спутниковой навигационной системе	616
§ 25.1. Назначение и принцип работы спутниковой навигационной системы	616
§ 25.2. Орбиты искусственных спутников Земли и их элементы. Определение положения искусственных спутников Земли на орбите	617
§ 25.3. Принцип отображения обстановки и прогнозирования условий наблюдения искусственных спутников Земли	624
§ 25.4. Методы определения места корабля, применяющиеся в спутниковых навигационных системах	635
§ 25.5. Основы применения спутниковых навигационных систем в морской навигации	654
Глава 26. Определение направления движения корабля и поправки курсоуказателя по наблюдениям небесных светил	677
§ 26.1. Принцип определения направления движения корабля и поправки курсоуказателя по наблюдениям светил	677
§ 26.2. Определение поправки курсоуказателя по наблюдениям светила в произвольном азимуте на оптимальной высоте	678
§ 26.3. Определение поправки курсоуказателя по наблюдениям компасного пеленга и высоты светила	687

РАЗДЕЛ VIII

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНЕЙШЕГО МЕСТА КОРАБЛЯ

Глава 27. Математические основы и практические способы автоматизированного расчета вероятнейшего места корабля	693
§ 27.1. Основы определения вероятнейшего места корабля по измеренным избыточным навигационным параметрам	693
§ 27.2. Расчет коэффициентов и свободных членов уравнений линий положения	696
§ 27.3. Расчет вероятнейшего места корабля с помощью программируемого микрокалькулятора и использования карты с сеткой изолиний	698
§ 27.4. Расчет вероятнейших координат места корабля с помощью программируемого микрокалькулятора методом расчетных точек (градиентным методом)	700
§ 27.5. Расчет вероятнейшего места корабля с помощью навигационной ЭКВМ «Слика»	703
Глава 28. Графоаналитические способы определения вероятнейшего места корабля по трем и более навигационным изолиниям (линиям положения)	707
§ 28.1. Общая методика определения вероятнейшего места корабля графоаналитическими способами	707
§ 28.2. Приближенные упрощенные способы определения вероятнейшего места корабля по трем навигационным изолиниям (линиям положения)	712
§ 28.3. Выявление промахов в линиях положения при определении вероятнейшего места корабля	717
§ 28.4. Определение вероятнейшего места корабля путем объединения обсерваций	719

РАЗДЕЛ IX

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ НАВИГАЦИИ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ПЛАВАНИЯ

Глава 29. Особенности обеспечения навигационной безопасности плавания в сложных в навигационном отношении районах, а также в ограниченную видимость и в штормовых условиях	727
§ 29.1. Сложные в навигационном отношении районы и общие требования к кораблевождению в них	727
§ 29.2. Подготовка морских карт для плавания в сложных в навигационном отношении районах	728
§ 29.3. Навигационное оборудование сложных в навигационном отношении районов	732
§ 29.4. Способы кораблевождения и меры предосторожности при плавании в узкостях и прибрежных районах	734

	Стр.
§ 29.5. Навигационное обеспечение постановки корабля на якорь	743
§ 29.6. Кораблевождение при плавании по фарватерам	746
§ 29.7. Кораблевождение по рекомендованным путям и в районах разделения движения	756
§ 29.8. Кораблевождение в ограниченную видимость	758
§ 29.9. Особенности обеспечения навигационной безопасности пла- вания подводных лодок в районах с недостаточно изучен- ным или изменяющимся рельефом морского дна	760
§ 29.10. Рекомендации командиру корабля по уклонению от встре- чи со штормовой аоной ураганов и тропических циклонов	763
Глава 30. Особенности решения задач кораблевождения при плавании в вы- соких широтах	767
§ 30.1. Навигационные условия плавания в высоких широтах	767
§ 30.2. Квазигеографическая система координат	769
§ 30.3. Особенности карт в гномонической проекции	770
§ 30.4. Счисление пути при плавании в высоких широтах	772
§ 30.5. Особенности определения места корабля в высоких широтах	775
Глава 31. Особенности решения задач кораблевождения при плавании во льдах	777
§ 31.1. Навигационные особенности плавания во льдах	777
§ 31.2. Рекомендации командирам кораблей по предотвращению столкновений сйсбергами	782
Глава 32. Особенности решения задач кораблевождения в аварийных усло- виях	788
§ 32.1. Основные обязанности по кораблевождению должностных лиц корабля при плавании в аварийных условиях	788
§ 32.2. Резервные методы навигации для решения задач корабле- вождения в аварийных условиях	790
§ 32.3. Астронавигационное ориентирование на спасательных сред- ствах и при плавании с поврежденными техническими сред- ствами навигации	794
§ 32.4. Международная спутниковая система обнаружения терпя- щих бедствие КОСПАС — САРСАТ	798
РАЗДЕЛ X	
ОРГАНИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ШТУРМАНСКОЙ БОЕВОЙ ЧАСТЬЮ НА КОРАБЛЕ	
Глава 33. Обеспечение навигационной безопасности плавания корабля	803
§ 33.1. Общие положения	803
§ 33.2. Особенности организации работы главного командного пункта (ГКП) корабля при решении задач кораблевождения	805
§ 33.3. Меры предупреждения ошибок и промахов в работе штур- манской боевой части при плавании в различных условиях обстановки	808
§ 33.4. Контроль за работой технических средств навигации корабля во время плавания	814
Глава 34. Рекомендации командиру корабля по методике проверки работы командира БЧ-1	820
§ 34.1. Основные обязанности командира корабля по контролю деятельности штурманской боевой части	820
§ 34.2. Рекомендации командиру корабля по проверке действий и расчетов штурмана в процессе подготовки корабля к походу	821
§ 34.3. Рекомендации командиру корабля по проверке действий и расчетов штурмана во время плавания	823
Глава 35. Рекомендации командиру корабля по проведению послепоходовых разборов	825
§ 35.1. Основные цели проведения послепоходовых разборов	825
§ 35.2. Подготовка материалов для проведения послепоходового разбора	826
§ 35.3. Оценка эффективности новых приемов и способов действий, примененных во время плавания	828

	Стр.
Глава 36. Рекомендации штурману, вступающему в должность командира штурманской боевой части	829
§ 36.1. Общие положения	829
§ 36.2. Подготовка к самостоятельному управлению боевой частью	831
§ 36.3. Некоторые особенности проведения боевой подготовки	831

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. Некоторые справочные сведения по математике и основы применения микрокалькуляторов в кораблевождении	835
2. Использование теории вероятностей в оценке погрешностей измерений навигационных параметров	854
3. Оценка точности решения задач навигации	862
4. Мировой океан: общая характеристика его вод, рельефа дна и берегов	881
5. Принятые сокращения	892
<i>Список литературы</i>	895

ПРЕДИСЛОВИЕ

Кораблевождение — это прикладная наука о точном и безопасном вождении (плавании) кораблей оптимально избранными путями, способах определения координат места корабля и их хранения в течение необходимого времени, комплексном и оптимальном использовании различных технических средств навигации, а также основах и приемах маневрирования кораблей для наилучшего выполнения специальных и тактических задач.

Материальной основой кораблевождения являются постоянно развивающиеся и управляемые людьми технические средства навигации, размещаемые на кораблях, на суше, на дне океанов и в космосе.

Теория и практика кораблевождения складывались в течение многих веков, непрерывно развиваясь и совершенствуясь по мере накопления опыта мореплавания, развития науки и совершенствования технических средств.

Практическое кораблевождение ныне является сложной и разнообразной совокупностью возникающих в процессе мореплавания задач, способов их решения и конкретных приемов действий должностных лиц корабля.

Суть практического кораблевождения состоит в непрерывном и одновременном решении трех различных задач:

- оценки навигационно-гидрографической, гидрометеорологической и тактической обстановки в районах плавания;
- навигационных и тактических расчетов для решения поставленной задачи и обеспечения безопасности плавания;
- непосредственного управления маневрами корабля и контроля за их исполнением.

Практическое кораблевождение является важнейшим элементом и неотъемлемой составной частью процесса управления кораблем.

Роль и значение безупречно отлаженного практического кораблевождения в современных условиях непрерывно возрастает, так как постоянно увеличивается зависимость эффективности боевой и повседневной деятельности ВМФ от точности, оперативности и надежности решения задач кораблевождения непосредственно на кораблях.

О высоком уровне отечественного кораблевождения свидетельствуют всемирно известные походы к Северному полюсу, арктические, антарктические и кругосветные плавания подводных лодок, надводных кораблей и судов Советского Союза.

Наиболее полным, обобщенным теоретическим трудом по всем разделам современного кораблевождения является изданный Главным управлением навигации и океанографии, к сожалению, уже двадцать лет тому назад многотомный и широко известный мореплавателям Курс кораблевождения. Это фундаментальное издание сыграло и продолжает играть заметную роль в обучении и воспитании военных и гражданских моряков и создателей технических средств навигации.

Вместе с тем в результате научно-технической революции, особенно в последнее двадцатилетие, технические средства навигации получили бурное развитие. Корабли стали оснащаться инерциальными навигационными системами, доплеровскими гидроакустическими измерителями скорости, приемондикаторами фазовых и импульсно-фазовых радионавигационных и спутниковых навигационных систем, радиолокационными и гидроакустическими системами освещения навигационной обстановки, приборами анализа характеристик различных геофизических полей для определения по ним места корабля.

Сегодня для многих кораблей требования к точности навигационных данных уже не могут быть обеспечены ни графической прокладкой на карте, ни аналитически с использованием Мореходных таблиц, ибо современное кораблевождение перешагнуло привычную точность измерений до долей мили и градуса и подошло вплотную к измерениям с точностью до метров и дуговых секунд.

Сведение традиционных и новейших технических средств навигации в навигационные комплексы потребовало разработки принципиально новых методов решения задач кораблевождения, основанных на вероятностно-статистической теории и реализуемых с помощью электронных вычислительных машин.

Число различных задач современного практического кораблевождения, не говоря уже о разнообразии способов их решения, стало столь велико, что далеко не каждый офицер, даже имеющий штурманское образование, способен постоянно держать все в своей памяти и безошибочно применять свои знания при решении конкретных задач, особенно в условиях сложной и быстро меняющейся обстановки.

В связи с этим, в процессе решения задач кораблевождения непосредственно во время плавания командир корабля, штурман и вахтенный офицер нередко испытывают потребность в обращении к удобной для использования книге, которая помогла бы им быстро восстановить частично забытый или недостаточно твердо усвоенный в свое время порядок решения той или иной задачи. Чаще всего такая потребность возникает у тех, кто по тем или иным причинам некоторое время не сталкивался с практикой решения этих задач.

Необходимость справочных изданий по кораблевождению существовала всегда. По мере того как устаревали одни справочники, издавались новые, более современные. Однако все такие справочники, изданные в послевоенные годы, предназначенные для штурманов и вахтенных офицеров, включая *Кораблевождение*, изданное в 1972 г., а также справочник «Штурман флота» (М., Воениздат, 1986), не охватывали в полной мере всего комплекса задач современного практического кораблевождения и, что наиболее существенно, не содержали необходимых рекомендаций для командиров кораблей.

Военно-Морской Флот уже давно испытывает потребность в специальном издании для командиров кораблей, штурманов и вахтенных офицеров по всем разделам современного практического кораблевождения, с которыми они встречаются при выполнении своих обязанностей.

Особую остроту эта потребность приобрела в настоящее время, когда в результате бурного развития технических средств навигации и их существенного усложнения в значительной мере изменились сами методы и способы решения задач кораблевождения. В последние годы многие корабельные офицеры различных флотских специальностей постоянно испытывают затруднения в поддержании на нужном уровне своих теоретических знаний и особенно практических навыков,

необходимых для успешного осуществления своих обязанностей по обеспечению навигационной безопасности плавания кораблей и установленной готовности к успешному и наиболее эффективному применению корабельного оружия в морском бою.

Эти затруднения усиливаются год от года, так как при создании новых технических средств навигации и в процессе разработки новых методов и способов решения задач кораблевождения используются каждый раз новые технические и теоретические решения, иногда принципиально отличные от тех, которые были положены в основу предшествующих средств и методов.

Использование для создания новых технических средств навигации и разработки новых методов кораблевождения последних достижений науки и техники существенно преобразило классическую морскую науку о кораблевождении и внесло заметные изменения в саму практику вождения кораблей.

Успешное решение задач современного кораблевождения во многих случаях уже немыслимо без использования навигационных искусственных спутников Земли, высокоточных радионавигационных систем, телевизионной техники, без инерциальных навигационных систем и цифровых ЭВМ, управляющих работой навигационных комплексов, без автоматизированных диспетчерских систем, регулирующих движение кораблей и судов на подходах к базам и портам.

Совсем еще недавно традиционная теория навигации, являясь математической основой решения задач кораблевождения, рассматривала корабль как материальную точку, не имеющую размеров. В современных условиях уже нельзя не учитывать размеров корабля и взаимного положения на нем отдельных устройств некоторых технических средств навигации: вибраторов эхолотов, антенн радиопеленгаторов, радиолокаторов и приемозлучателей гидроакустических навигационных систем.

Задачи кораблевождения современных подводных лодок в связи с существенным увеличением глубин их погружения могут успешно решаться только в трехкоординатной системе, в отличие от двухкоординатной системы, в которой решались все задачи кораблевождения в недавнем прошлом.

Получившее широкое распространение плавание кораблей в Северном Ледовитом океане требует широкого и детального освоения методов кораблевождения в системе квазиординат.

Некоторые из перечисленных выше особенностей современных технических средств навигации и методов их использования остаются пока еще недостаточно освоенными частью командиров кораблей и вахтенных офицеров, с чем мириться совершенно нельзя, так как при определенных условиях это может стать причиной аварии корабля или срыва выполнения боевой задачи.

Приведу лишь один пример. Корабль с навигационным комплексом, построенным на базе инерциальной системы, идет в узкости строго по створу светящихся знаков. Автоматическая навигационная прокладка ведется на крупномасштабной карте. Нет никаких признаков, свидетельствующих о наличии неисправностей в работе навигационного комплекса. Однако командир корабля, обратившись к карте, замечает, что светящееся перекрестие автопрокладчика не только смещается вдоль линии створа, но и несколько уклоняется от этой линии, описывая вокруг нее своего рода синусоиду.

Почему это происходит, если корабль идет точно по створу, что визуально подтверждается наблюдением створных знаков? Как оценить эту ситуацию и что предпринять на случай, если вдруг, из-за

ухудшения видимости, визуальное наблюдение створных знаков будет невозможно? Что делать на следующем колене рекомендованного маршрута для выхода из узкости, где нет створа, но есть опасная отмель, расположенная близко от рекомендованного маршрута? Естественно, что только четкое понимание командиром корабля причин, вызывающих это странное, на первый взгляд, явление, может дать правильный ответ на приведенные выше вопросы и позволит избежать ошибки в оценке обстановки, исключить неправильное решение и не допустить осуществления опасного маневра.

А ведь у командира корабля во время плавания могут возникнуть не только подобные, но и многие другие, гораздо более сложные практические вопросы. Например, как командиру корабля организовывать и осуществлять контроль работы штурмана во время плавания корабля? Каким способом поддерживать назначенную точность плавания, обеспечивающую навигационную безопасность корабля, и установленную готовность к успешному выполнению поставленной задачи? Какие дополнительные меры следует принять на корабле при резком ухудшении видимости или при ожидании штормовой погоды, при ухудшении радиолокационной наблюдаемости или появлении значительной береговой рефракции радиоволн? Как полноценно и объективно подготовить и провести послеходовой разбор, чтобы извлечь максимум пользы для себя и своих офицеров?

На эти и многие другие вопросы командиры кораблей, штурмана и вахтенные офицеры могут найти нужные ответы и практические рекомендации в предлагаемом читателю двухтомном издании «Практическое кораблевождение», подготовленном группой ведущих специалистов Военно-Морского Флота с учетом качественного совершенствования штурманского вооружения кораблей, осуществленного за последние годы, широкого внедрения цифровой вычислительной техники для обработки навигационной информации и внедрения в практику кораблевождения новых методов решения некоторых задач, рожденных насущной потребностью дальнейшего развития средств и способов вооруженной борьбы на море.

В то же время в книге нашли надлежащее освещение и современное осмысление все традиционные, испытанные вековой практикой классические методы кораблевождения, вполне приемлемые на тех кораблях и судах, где новейшего штурманского вооружения по тем или иным причинам пока еще нет.

Важной и пока, к сожалению, полностью не решенной остается проблема обеспечения навигационной безопасности плавания кораблей и судов. Возросшая интенсивность плавания, продолжающееся освоение новых районов Мирового океана, нередко все еще слабо изученных, увеличивают опасность навигационных происшествий и не прощают пренебрежительного отношения к вопросам кораблевождения со стороны мореплавателей.

Современные технические средства и методы навигации могут надежно обеспечить навигационную безопасность плавания корабля только в том случае, если командир корабля, штурман и вахтенный офицер не только имеют необходимую теоретическую подготовку и твердые практические навыки в решении любых задач кораблевождения, но и умеют грамотно применять эти знания и навыки в конкретной обстановке плавания корабля.

Новая штурманская техника сегодняшнего дня, какой бы сложной и высокоавтоматизированной она ни была, самостоятельно, сама по себе, не решает задачи гарантированного обеспечения навигационной

безопасности плавания корабля. Ее может и должен решать только человек — специалист-мореплаватель, соответствующим образом подготовленный, наделенный конкретными правами и обязанностями и несущий личную ответственность за безопасность плавания.

На военном корабле такими лицами являются командир корабля, штурман и вахтенный офицер. Они решают задачи кораблевождения все вместе и в то же время каждый в отдельности. Поэтому Практическое кораблевождение предназначено в первую очередь для этой категории офицеров.

В книге подробно изложены рекомендации по целому комплексу организационных вопросов, связанных с практической служебной деятельностью командиров кораблей, штурманов и вахтенных офицеров на различных этапах похода от начала предварительной подготовки к нему, непосредственно в плавании и до завершения анализа и разбора результатов похода.

Представляется целесообразным обратить особое внимание читателя на эти разделы книги, так как практически во всех случаях навигационных происшествий их первопричиной, как показывает опыт, становились нарушения установленной организации корабельной (судовой) службы, упущения в распорядительной или управленческой деятельности, а также невыполнение элементарных функций контроля за неукоснительным соблюдением установленных правил.

В Практическое кораблевождение также включены вопросы, связанные с основами управления маневрами корабля, что, во-первых, компенсирует недостаток специальной литературы на эту тему и, во-вторых, что более важно, подтверждает назревшую необходимость восстановить исходное понятие термина *кораблевождение*, вернуть ему первоначальный, более широкий смысл.

Бытующее в обиходе и, к сожалению, проникшее в официальные издания понятие *кораблевождение*, отождествленное со сравнительно узким кругом задач, решаемых только корабельным штурманом, причинит серьезный вред прежде всего мерам, направленным на повышение навигационной безопасности плавания кораблей.

Из определения понятия *кораблевождение*, приведенного в начале предисловия, следует, что суть кораблевождения состоит в непрерывном решении единства трех различных задач или функций: оценки обстановки, навигационных и тактических расчетов для принятия решения на плавание корабля и, наконец, непосредственного управления маневрами корабля. Поскольку на корабле эти функции строго обозначены и распределены между разными должностными лицами, обязанность командира корабля состоит в том, чтобы объединить их в единый, хорошо отлаженный и надежно функционирующий механизм. Отысканию наилучших приемов выполнения этой важнейшей обязанности командиру корабля также поможет настоящее издание.

Таким образом, в отличие от *Кораблевождения*, изданного в 1972 г. для штурманов, настоящее издание «Практическое кораблевождение» написано не только на новом материале, но предназначено для более широкого круга офицеров флота, в том числе и для командиров кораблей.

Книга может быть полезной и для судоводителей гражданских министерств и ведомств, а также для специалистов, занимающихся разработкой и созданием новых технических средств навигации, ибо дает комплексное, целостное представление о состоянии кораблевождения на нынешнем этапе его развития.

К написанию Практического кораблевождения были привлечены крупные ученые и опытные специалисты Военно-Морского Флота, внесшие значительный личный вклад в разработку и совершенствование методов современного кораблевождения.

Среди них доктор военных наук контр-адмирал в отставке А. Н. Мотрохов, прошедший путь от корабельного штурмана до Главного штурмана Военно-Морского Флота и заместителя начальника Главного управления навигации и океанографии Министерства обороны, обладающий большим личным опытом организации штурманской службы и штурманской подготовки в Военно-Морском Флоте.

Профессор, доктор военных наук капитан 1 ранга Н. М. Груздев — один из ведущих специалистов по методам кораблевождения, автор ряда учебников по навигации и способам математической обработки и анализа навигационной информации.

Профессор, доктор военных наук капитан 1 ранга запаса Р. А. Скубко — автор фундаментального учебника «Морская астронавигация» и ряда оригинальных разработок по новым методам решения астронавигационных задач.

Профессор, доктор военных наук капитан 1 ранга А. В. Лаврентьев — известный специалист в области гироскопических приборов и навигационных комплексов, автор ряда учебников и пособий, на которых прошло подготовку не одно поколение штурманов флота.

Контр-адмирал в отставке В. Д. Шандабылов, возглавлявший в течение ряда лет штурманский отдел Гидрографического управления ВМФ, являвшийся заместителем начальника Главного управления навигации и океанографии Министерства обороны СССР, внесший значительный вклад в развитие технических средств и методов навигации, под редакцией которого было издано Кораблевождение в 1972 г.

Доцент, кандидат военных наук капитан 1 ранга В. П. Илларионов — ведущий специалист в области маневрирования, автор ряда руководств и пособий по маневрированию кораблей ВМФ.

Кроме того, в написании Практического кораблевождения принимали личное участие вице-адмирал А. И. Павлов, капитан 1 ранга В. В. Колтуненко, капитан 1 ранга запаса Г. А. Колчи, профессор, капитан 1 ранга запаса А. А. Дадашев, полковник в отставке Н. Н. Грибанов, капитан 1 ранга И. Т. Рыбин и капитан 1 ранга в отставке А. И. Безобразов, имеющие большой практический опыт в решении задач кораблевождения.

Глубокие теоретические знания, большой практический опыт и профессиональное методическое мастерство членов авторского коллектива позволили создать, как мы надеемся, новый, существенно отличный от ранее изданных труд, призванный принести определенную пользу делу развития отечественного кораблевождения.

В то же время кораблевождение — непрерывно развивающаяся наука, а практическое кораблевождение — непрерывно совершенствующийся опыт большого количества людей.

Предлагаемая книга может не полностью соответствовать личному опыту каждого мореплавателя, поэтому Главное управление навигации и океанографии Министерства обороны СССР заинтересовано в получении отзывов, замечаний и предложений по улучшению настоящего издания, которые просьба направлять по адресу: 199034, г. Ленинград, В-34.

Адмирал А. МИХАЙЛОВСКИЙ,
доктор военно-морских наук

Раздел I
ЗЕМЛЯ И МИРОВОЙ ОКЕАН

Глава 1

ГЕОМЕТРИЯ ЗЕМЛИ И ОСНОВЫ ОРИЕНТИРОВАНИЯ НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

§ 1.1. ФИГУРА ЗЕМЛИ И ЕЕ МОДЕЛИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В КОРАБЛЕВОЖДЕНИИ

Корабли во время плавания перемещаются по поверхности Мирового океана (или в его приповерхностном слое), которая является частью поверхности Земли. Поэтому все расчеты для плавания корабля из одного пункта в другой производятся с учетом формы и размеров Земли.

Физическая поверхность Земли образуется поверхностью океанов и рельефом материков и островов. За форму же Земли принимается та фигура, которая образуется *уровенной поверхностью* Мирового океана, мысленно продолженной под материками и островами (рис. 1.1.1).

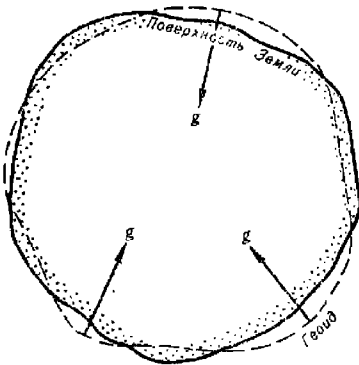


Рис. 1.1.1

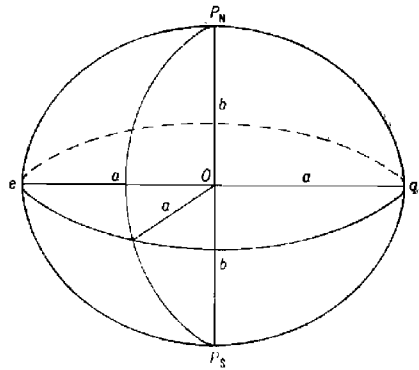


Рис. 1.1.2

Тщательными измерениями установлено, что такая фигура имеет неправильную форму, не совпадающую в точности с формой ни одного из известных геометрических тел и, следовательно, не может быть описана общим математическим уравнением. Неправильность формы Земли обусловлена неравномерным распределением плотности масс в ее толще.

Уникальность фигуры Земли обусловила и ее название — *геоид*, что по-гречески означает *землеподобный*. Поверхность геоида во всех точках перпендикулярна направлению силы тяжести в этих точках.

При решении задач кораблевождения, связанных с обработкой результатов измерений, выполненных на земной поверхности, сложную фигуру геоида заменяют более простой правильной фигурой, поддающейся математическому описанию. Такой фигурой является *эллипсоид (сфероид)* — фигура, образованная вращением эллипса вокруг его малой оси. Эллипсоид, моделирующий Землю, называют *земным эллипсоидом*.

Основными элементами земного эллипсоида являются размеры его *большой и малой полуосей* — величины a и b (рис. 1.1.2) или *большая полуось a и полярное сжатие* (относительная разность длин главных полуосей) $\alpha = (a - b)/a$. Иногда в математических расчетах, связанных с использованием размеров Земли, вместо сжатия применяется другая характеристика — *эксцентриситет эллипсоида $e = \sqrt{a^2 - b^2}/a$* или *квадрат эксцентриситета $e^2 = (a^2 - b^2)/a^2$* .

Из-за различия фигур геоида и эллипсоида невозможно добиться полного совпадения всех точек их поверхностей. Даже при самом оптимальном подборе размеров и способа ориентировки земного эллипсоида его поверхность на отдельных участках может отстоять по высоте от поверхности геоида на несколько десятков метров. В разных странах за фигуру Земли принимают такие земные эллипсоиды, поверхности которых наиболее близко совпадают с поверхностью геоида на территории данной страны.

Земной эллипсоид определенных размеров, принятый в данном государстве за фигуру Земли, называют *референц-эллипсоидом*. Иными словами, референц-эллипсоид — это земной эллипсоид, к которому в данном государстве относят результаты всех измерений, производимых на поверхности Земли.

В Советском Союзе с 1946 г. в качестве референц-эллипсоида принят *эллипсоид Ф. Н. Красовского* со следующими элементами:

- большая полуось $a = 6\,378\,245$ м;
- малая полуось $b = 6\,356\,863$ м;
- полярное сжатие $\alpha = 1/298,3 = 0,003\,352\,330$;
- квадрат эксцентриситета $e^2 = 0,006\,693\,422$.

Поверхность эллипсоида Красовского совмещена с поверхностью геоида в исходной точке, за которую принят центр Круглого зала Пулковской обсерватории. При этом за исходный уровень поверхностей принят нуль Кронштадтского футштока. Эллипсоид развернут относительно нормали в исходной точке так, что азимут из центра Круглого зала на пункт Бугры имеет одинаковое значение как по данным астрономических, так и по данным геодезических наблюдений, т. е. на геоиде и на эллипсоиде. Отклонение референц-эллипсоида Красовского от соответствующих точек на поверхности геоида не превышает 150 м.

Элементы других наиболее распространенных референц-эллипсоидов приведены в табл. 1.1.1. Для решения некоторых практических задач могут использоваться *специальные* референц-эллипсоиды. Так, например, для расчета эфемерид спутниковой системы ВМФ США «Транзит» (NNSS) приняты следующие значения геодезических постоянных:

$$a = 6\,378\,135 \text{ м}, \alpha = 1 : 298,26.$$

Для согласования результатов геодезических измерений, производимых в различных государствах, рассчитываются *общеземные, или меж-*

дународные, референц-эллипсоиды, оптимальные по критерию минимума отклонения от поверхности геоида в целом.

В 1964 г. на XII Генеральной ассамблее Международного астрономического союза (МАС) в Гамбурге в качестве такого эллипсоида был принят референц-эллипсоид с параметрами: $a=6\,378\,160$ м; $\alpha=1:298,247$.

Таблица 1.1.1

Референц-эллипсоид	Элементы эллипсоида		Государства, в которых используется данный референц-эллипсоид
	a , м	α	
143. Эйри (1980 г.)	6 377 542	1 : 293,3	Великобритания, Ирландия
Бесселя (1841 г.)	6 377 397	1 : 299,15	Япония, Ю. Корея, ФРГ, Норвегия, Швеция, Греция и др.
Кларка (1866 г.)	6 378 206	1 : 294,98	Страны Северной и Центральной Америки, Гренландия
Кларка (модификация 1880 г.)	6 378 249	1 : 293,465	Страны Африки, Франция, Иран и др.
Хейфорда (1909 г.)	6 378 388	1 : 297	Некоторые страны Западной Европы (Дания, Италия, Португалия и др.) и Южной Америки
Южноамериканский (1969 г.)	6 378 160	1 : 298,25	Страны Южной Америки

В 1979 г. на XVII Генеральной ассамблее Международной ассоциации геодезии (МАГ) была принята новая международная геодезическая референц-система 1980 г.: $a=6\,378\,137$ м; $\alpha=1:298,257$.

Координаты одних и тех же объектов на картах, составленных для различных референц-эллипсоидов, не совпадают. Поэтому при решении задач кораблевождения переход с карты, составленной по материалам одного государства, на карту, составленную по данным другого государства, следует осуществлять не по координатам, а по пеленгу и расстоянию относительно нанесенного на карты ориентира.

За модель геоида может быть принята и более простая геометрическая фигура — сфера (шар). Погрешности перехода от геоида к шару могут считаться пренебрежимо малыми при решении ряда задач кораблевождения: при измерении расстояний в морских милях, при аналитическом счислении в экваториальной зоне, при расчете плавания по кратчайшему пути и т. д. Радиус сферической модели Земли R определяется исходя из заданных начальных условий (табл. 1.1.2).

Таблица 1.1.2

Заданные условия, при которых определяется радиус земной сферы R	Радиус земной сферы R , м
1. Объем земного шара равен объему эллипсоида Красовского	6 371 110
2. Площадь поверхности земного шара равна площади поверхности эллипсоида Красовского	6 371 116
3. Окружность большого круга земного шара равна длине меридиана эллипсоида Красовского	6 367 559
4. Одна минута дуги большого круга земного шара равна морской миле (1852 м)	6 366 707

Таким образом, в зависимости от требуемой точности решения задач кораблевождения Земля принимается или за земной эллипсоид (высокая степень приближения), или за сферу (более низкая степень приближения).

§ 1.2. РАДИУСЫ КРИВИЗНЫ ЗЕМНОГО ЭЛЛИПСОИДА

При решении некоторых задач, связанных с кораблевождением (автоматизированное счисление, расчет счислимых навигационных параметров, определение длины морской мили, составление морских навигационных карт и т. п.), необходимо знать радиусы кривизны земного эллипсоида.

Известно, что кривизна эллипсоида в данной точке зависит от направления плоскости его сечения в этой точке. Все плоскости, секущие эллипсоид по различным направлениям, образуют в пересечении с поверхностью эллипсоида эллипсы или окружности.

Сечение эллипсоида плоскостью, параллельной плоскости экватора, образует окружность — *параллель*, радиус r которой определяется формулой

$$r = \frac{a \cos \varphi}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{1/2}},$$

где a и e — элементы референц-эллипсоида;

φ — широта плоскости сечения.

Все плоскости, проходящие через нормаль к поверхности земного эллипсоида в заданной точке, образуют *нормальные сечения*. Среди бесчисленного множества нормальных сечений существуют *два главных нормальных сечения*:

— *меридианное*, совпадающее с плоскостью меридиана данной точки. Радиус M этого сечения вычисляется по формуле

$$M = \frac{a(1 - e^2)}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{3/2}};$$

— *поперечное*, или *сечение первого вертикала*, составляющее прямой угол с меридианным сечением. Радиус N этого сечения вычисляется по формуле

$$N = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{1/2}}.$$

Радиусы M и N являются экстремальными ($M < N$). Можно показать, что в любой произвольной точке справедливо равенство

$$r = N \cos \varphi.$$

Характеристикой кривизны эллипсоида является радиус средней кривизны $R_{\text{ср}}$, вычисляемый по формуле

$$R_{\text{ср}} = \sqrt{MN} = \frac{a \sqrt{1 - e^2}}{1 - e^2 \sin^2 \varphi}.$$

Зная радиусы кривизны, можно определить следующие величины, используемые в кораблевождении:

— длину одной минуты дуги меридиана земного эллипсоида

$$\Delta l'_M = M \operatorname{arc} 1' = \frac{a(1 - e^2) \operatorname{arc} 1'}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{3/2}}; \quad (1.2.1)$$

— длину одной минуты дуги параллели

$$r \operatorname{arc} 1' = \frac{a \cos \varphi \operatorname{arc} 1'}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{1/2}}; \quad (1.2.2)$$

— длину одной минуты дуги экватора

$$p_0 = a \operatorname{arc} 1' = \frac{6378\,245}{3\,437,75} = 1\,855,36 \text{ м.}$$

Таким образом, поверхность земного эллипсоида имеет кривизну, изменяющуюся от точки к точке по широте и от направления к направлению в данной точке.

Кривизна Земли — шара постоянна и определяется радиусом R . Длина одной минуты дуги большого круга земного шара рассчитывается по формуле

$$\Delta l'_R = R \operatorname{arc} 1' = \frac{R}{3\,437,75}.$$

§ 1.3. ОСНОВНЫЕ ТОЧКИ, ЛИНИИ И ПЛОСКОСТИ ДЛЯ ОРИЕНТИРОВАНИЯ КОРАБЛЯ НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Для определения положения корабля на земной поверхности и направления его движения используются следующие условные точки, линии и плоскости (рис. 1.3.1):

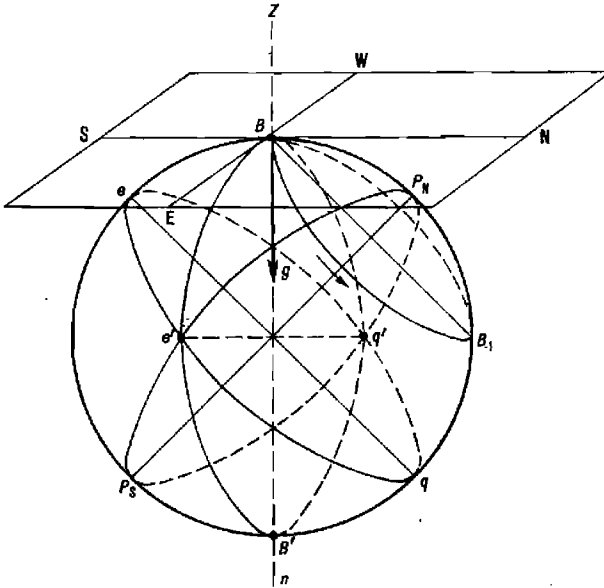


Рис. 1.3.1

Земная ось — прямая $P_N P_S$, вокруг которой происходит суточное вращение Земли. Эта ось совпадает с малой осью земного эллипсоида.

Географические полюса Земли P_N и P_S — точки пересечения земной оси с поверхностью Земли. Полюс P_N , со стороны которого вращение Земли усматривается против направления движения часовой стрелки, называется северным, противоположный полюс P_S — южным.

Параллели — линии, образованные пересечением плоскостей, перпендикулярных земной оси, с поверхностью земного эллипсоида (например, линия BV_1).

Экватор — параллель eq , плоскость которой проходит через центр Земли (наибольшая по длине параллель).

Меридианы истинные, или географические, — линии, образованные пересечением плоскостей, проходящих через земную ось, с поверхностью земного эллипсоида (например, линии P_NeP_Sq , $P_Ne'P_Sq'$ и т. п.). Эти плоскости называются плоскостями истинных, или географических, меридианов.

Меридиан наблюдателя (местный меридиан) — меридиан, проходящий через место наблюдателя (заданное место). Если, например, наблюдатель находится в точке B , то меридианом этого наблюдателя является линия P_NBP_SB' .

Вертикальная, или отвесная, линия — прямая $ZBB'n$, совпадающая с направлением силы тяжести g в данной точке.

Зенит наблюдателя — точка Z пересечения отвесной линии с воображаемой небесной сферой. Противоположная точка n называется надиром.

Плоскость истинного горизонта наблюдателя — горизонтальная плоскость, проходящая через место наблюдателя перпендикулярно отвесной линии.

Полуденная линия — линия NS , образованная пересечением плоскости меридиана наблюдателя с плоскостью истинного горизонта. Эта линия соответствует направлениям из места наблюдения на север и на юг. Направление от B к N — северная часть истинного меридиана, а направление от B к S — южная часть этого меридиана.

Вертикальные плоскости — плоскости, проходящие через отвесную линию.

Плоскость первого вертикала — вертикальная плоскость, перпендикулярная плоскости меридиана наблюдателя.

Линия восток — запад ($E — W$) — линия пересечения плоскости первого вертикала с плоскостью истинного горизонта наблюдателя.

Линии $N — S$ и $E — W$ означают главные направления (румбы).

Для земного эллипсоида (если его рассматривать без сопоставления с геоидом) вертикальными плоскостями являются нормальные сечения, так как с геометрической точки зрения нормаль и вертикальная линия для эллипсоида понятия тождественные*.

§ 1.4. КООРДИНАТЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В КОРАБЛЕВОЖДЕНИИ

Положение корабля и иных объектов на земной поверхности определяется двумя координатами. Существует несколько систем координат, основными из которых в кораблевождении являются географическая, квазигеографическая, прямоугольная и полярная.

Географическая система координат

Географическая система является основной системой координат, используемой в кораблевождении. Координатными осями в этой системе

* В. В. Каврайский. Избранные труды, т. I. УНГС ВМФ, 1956, с. 160.

являются экватор и начальный меридиан — меридиан Гринвичской обсерватории (Англия). Координатными линиями являются параллели и меридианы, а координатами — широта и долгота.

Географической широтой φ точки называется угол между нормалью к поверхности Земли в этой точке и плоскостью экватора (рис. 1.4.1). Для Земли — шара широта измеряется дугой меридиана от экватора до параллели данной точки (например, l_2B).

Счет широты ведется от экватора к северу и югу от 0° до 90° . Широты точек северного полушария имеют наименование N (северная); при вычислениях им присписывается знак *плюс*. Широты точек южного полушария имеют наименование S (южная); при вычислениях им присписывается знак *минус*.

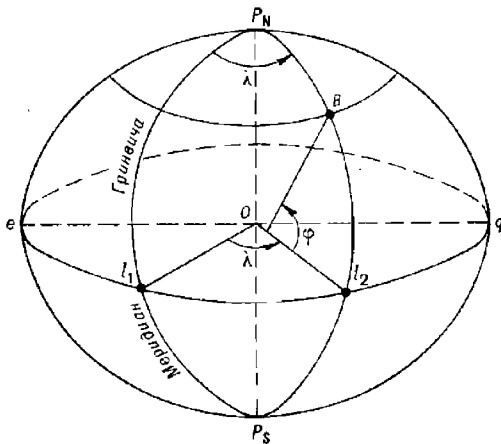


Рис. 1.4.1

Географической долготой λ точки называется двугранный угол между плоскостью гринвичского меридиана и плоскостью меридиана данной точки. Долгота измеряется дугой экватора от начального (гринвичского) меридиана до меридиана данной точки (например, l_1l_2).

Счет долготы ведется к востоку и западу от гринвичского меридиана от 0° до 180° . Долготы точек восточного полушария имеют наименование E (восточная); при вычислениях им присписывается знак *плюс*. Долготы точек западного полушария имеют наименование W (западная); при вычислениях им присписывается знак *минус*.

В зависимости от вида фигуры, которая принимается за модель Земли, т. е. в зависимости от того, к какой поверхности относится система координат, различают астрономические, геодезические и сферические географические координаты.

Астрономические координаты относятся к поверхности геоида. Их получают на основе астрономических наблюдений, производимых относительно уровенной поверхности. Определение астрономических географических координат производится без использования моделей Земли.

Геодезические координаты относятся к поверхности земного референц-эллипсоида. Их рассчитывают по измеренным углам и расстояниям относительно пунктов государственной геодезической сети.

положение которых определено относительно начального (исходного) пункта. В СССР начальным пунктом является центр Круглого зала Пулковской обсерватории.

Расхождение астрономических и геодезических координат составляет незначительную для кораблевождения величину, равную $4-5''$ (максимальное расхождение в горных районах не превышает $1'$). Поэтому астрономические и геодезические географические координаты в кораблевождении отождествляются.

Сферические координаты относятся к поверхности земного шара (сферы). Нормаль точки на шаре совпадает с направлением радиуса. Это обстоятельство существенно упрощает математическое решение ряда навигационных задач.

При необходимости переход от сферических географических координат к более точным астрономическим или геодезическим географическим координатам производится путем учета сжатия Земли с помощью специальных поправок (см., например, табл. 12 ТВА-57).

Квазигеографическая система координат

В квазигеографической системе координат квазиполюса P_{qn} и P_{qs} смещены относительно географических полюсов на 90° (рис. 1.4.2): P_{qn} смещен на экватор по меридиану 180° , P_{qs} — на экватор по меридиану 0° . Координатными осями являются квазиэкватор (меридиан $90^\circ E - 90^\circ W$) и начальный квазимеридиан (меридиан $0^\circ - 180^\circ$). Координатными линиями служат квазипараллели и квазимеридианы, а координатами — квазиширота φ_q и квазидолгота λ_q .

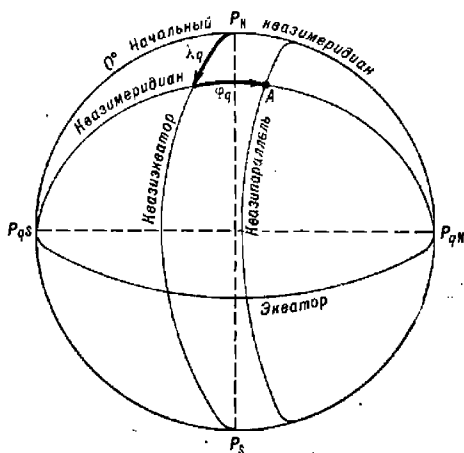


Рис. 1.4.2

Квазигеографическая система координат используется для построения карт приполюсных районов.

Прямоугольная система координат

Поверхность Земли в этой системе разделяется на шестиградусные долготные зоны. Центральный меридиан каждой зоны $P_M B_1 P_S$

(рис. 1.4.3) называется осевым. Координатными осями в каждой зоне являются осевые меридианы и экватор eq . Координатные линии — альмукартаты pn' , плоскости которых параллельны плоскости осевого меридиана, и дуги больших кругов eB_1Bq (на земном эллипсоиде — геодезические линии), пересекающие осевые меридианы под прямым углом.

Координатами точки в прямоугольной системе координат являются дуга осевого меридиана $OB_1 = X$ от экватора до большого круга, проходящего через точку B и перпендикулярного плоскости осевого меридиана, и отрезок этой дуги большого круга $B_1B = Y$ от осевого меридиана до альмукартаты pn' , проходящего через заданную точку. Координаты X и Y выражаются в линейной метрической мере. Эта система координат используется при составлении топографических карт в проекции Гаусса.

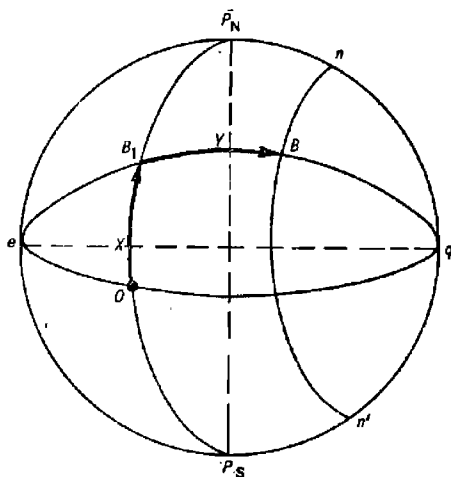


Рис. 1.4.3

Полярная система координат

Положение заданной точки определяется направлением и расстоянием относительно другой точки. Полярная система координат чаще всего используется при определении места корабля относительно подвижного объекта, т. е. при решении задач маневрирования.

Разности широт и долгот

В кораблевождении используется разность географических координат двух точек — *разность широт* ($\Delta\varphi$ или $PШ$) и *разность долгот* ($\Delta\lambda$ или $PД$). При этом одна точка принимается за начальную (φ_1, λ_1), а другая за конечную (φ_2, λ_2)

$$\left. \begin{aligned} PШ &= \Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1; \\ PД &= \Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1. \end{aligned} \right\} \quad (1.4.1)$$

Знаки разностей $\Delta\varphi$ и $\Delta\lambda$ определяются результатами алгебраического вычитания. При знаке *плюс* разность широт будет «к N», а разность долгот «к E». При знаке *минус* разность широт будет «к S», а разность долгот «к W». Зная два элемента формул (1.4.1), можно определить третий:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_2 &= \varphi_1 + \Delta\varphi; \quad \varphi_1 = \varphi_2 - \Delta\varphi; \\ \lambda_2 &= \lambda_1 + \Delta\lambda; \quad \lambda_1 = \lambda_2 - \Delta\lambda. \end{aligned} \right\} \quad (1.4.2)$$

Пример. Корабль находится в точке с координатами $\varphi_1 = 69^\circ 45,3' \text{ N}$, $\lambda_1 = 34^\circ 05,4' \text{ E}$. Определить положение объекта относительно корабля, если координаты объекта $\varphi_2 = 68^\circ 54,7' \text{ N}$, $\lambda_2 = 35^\circ 16,8' \text{ E}$.

Решение:

$$\begin{array}{r} - \varphi_2 = +68^{\circ}54,7' \\ - \varphi_1 = +69^{\circ}45,3' \\ \hline \Delta\varphi = -0^{\circ}50,6'; \end{array} \quad \begin{array}{r} - \lambda_2 = +35^{\circ}16,8' \\ - \lambda_1 = +34^{\circ}05,4' \\ \hline \Delta\lambda = +1^{\circ}11,4'. \end{array}$$

Ответ: $\Delta\varphi = 0^{\circ}50,6'$ к S; $\Delta\lambda = 1^{\circ}11,4'$ к E.

Пример. Счислимые координаты корабля $\varphi_1 = 4^{\circ}18,6'$ S, $\lambda_1 = 3^{\circ}48,9'$ W. Определены поправки $\Delta\varphi = 0^{\circ}06,3'$ к S, $\Delta\lambda = 0^{\circ}12,4'$ к E. Рассчитать observedанные координаты.

Решение:

$$\begin{array}{r} + \varphi_1 = -4^{\circ}18,6' \\ + \Delta\varphi = -0^{\circ}06,3' \\ \hline \varphi_2 = -4^{\circ}24,9'; \end{array} \quad \begin{array}{r} + \lambda_1 = -3^{\circ}48,9' \\ + \Delta\lambda = +0^{\circ}12,4' \\ \hline \lambda_2 = -3^{\circ}36,5'. \end{array}$$

Ответ: $\varphi_2 = 4^{\circ}24,9'$ S; $\lambda_2 = 3^{\circ}36,5'$ W.

Пример. Корабль стал на якорь в точке $\varphi_2 = 54^{\circ}12,4'$ N, $\lambda_2 = 176^{\circ}12,1'$ W. В результате совершенного плавания его начальные координаты изменились по широте на величину $\Delta\varphi = 61^{\circ}01,9'$ к N, по долготе — на величину $\Delta\lambda = 12^{\circ}00,5'$ к E. Определить координаты исходной точки.

Решение:

$$\begin{array}{r} - \varphi_2 = +54^{\circ}12,4' \\ - \Delta\varphi = +61^{\circ}01,9' \\ \hline \varphi_1 = -6^{\circ}49,5'; \end{array} \quad \begin{array}{r} - \lambda_2 = -176^{\circ}12,1' \\ - \Delta\lambda = +12^{\circ}00,5' \\ \hline \lambda_1 = -188^{\circ}12,6'; \\ \lambda_1 = 360^{\circ} - 188^{\circ}12,6' = +171^{\circ}47,4'. \end{array}$$

Ответ: $\varphi_1 = 6^{\circ}49,5'$ S; $\lambda_1 = 171^{\circ}47,4'$ E.

§ 1.5. ОРТОДРОМИЯ И ЛОКСОДРОМИЯ

Решение основных задач кораблевождения связано с определением линий (траекторий), проходящих через две заданные точки на земной поверхности и удовлетворяющих определенным требованиям. Такими линиями являются ортодромия и локсодромия.

Ортодромия

При плавании из одной точки в другую в общем случае рассчитывается кратчайший путь. На земном эллипсоиде линией кратчайшего расстояния между двумя точками является сложная кривая — *геодезическая линия*. На поверхности сферы кратчайшее расстояние между двумя точками измеряется по меньшей дуге большого круга, т. е. круга, образованного пересечением плоскости, проходящей через центр сферы и заданные точки, со сферической поверхностью. Дуга большого круга в кораблевождении называется *ортодромией* (по-гречески — *прямой бег*).

Любым двум точкам $B_1 (\varphi_1, \lambda_1)$ и $B_2 (\varphi_2, \lambda_2)$ на поверхности земного шара соответствует лишь одна ортодромия MB_1B_2V (рис. 1.5.1).

Уравнение ортодромии, проходящей через две заданные точки, имеет вид

$$\operatorname{ctg} A_1 = \operatorname{tg} \varphi_2 \cos \varphi_1 \operatorname{cosec} \Delta\lambda - \sin \varphi_1 \operatorname{ctg} \Delta\lambda, \quad (1.5.1)$$

где A_1 — направление ортодромии в точке B_1 ;

$\Delta\lambda$ — разность долгот точек B_2 и B_1 .

Из анализа уравнения ортодромии можно сделать следующие выводы:

Пример. Заданы две точки:

$\varphi_1 = 59^\circ 30,0' \text{ N}$, $\lambda_1 = 24^\circ 18,5' \text{ E}$;

$\varphi_2 = 60^\circ 30,0' \text{ N}$, $\lambda_2 = 23^\circ 00,5' \text{ E}$.

Определить угол γ .

Решение с помощью МТ-75: *

— рассчитывается величина $\varphi_{\text{ср}} = 0,5 (\varphi_1 + \varphi_2) = 0,5 (59^\circ 30,0' + 60^\circ 30,0') = 60^\circ 00,0' \text{ N}$;

— из табл. 23-а по $\varphi_{\text{ср}} = 60^\circ \text{ N}$ и $\Delta\lambda = 23^\circ 00,5' - 24^\circ 18,5' = -1^\circ 18,0'$ выбирается значение $|\psi| = 0,5^\circ$;

— так как $\Delta\lambda$ отрицательная, а $\varphi_{\text{ср}}$ — положительная, то $\gamma = 2 |0,5| = -1,0^\circ$.

Решение с помощью ПМК.

Вводятся исходные данные: 59,5 П0; 60,5 П1; 24,3083 П2; 23,0083 П3 и нажимаются клавиши В/О С/П.

Ответ. После обработки программы получим: ИПА $\rightarrow \gamma = -1,12^\circ$.

Локсодромия

Траектория пути корабля, совершающего плавание из точки $B_1(\varphi_1, \lambda_1)$ в точку $B_2(\varphi_2, \lambda_2)$ одним неизменным курсом, представляет собой кривую (рис. 1.5.2), называемую *локсодромией* (по-гречески — *косой бег*).

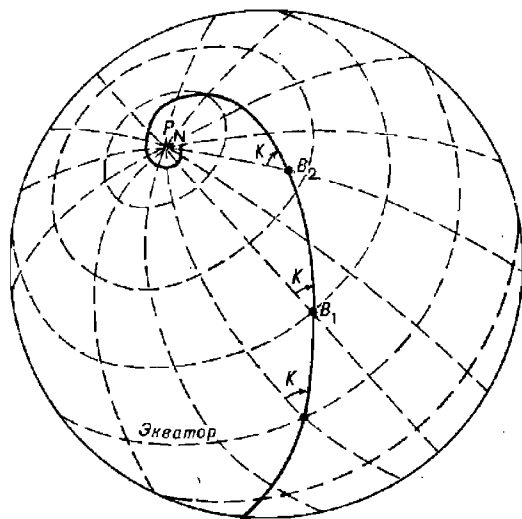


Рис. 1.5.2

В общем случае локсодромия — это кривая на поверхности Земли, проходящая через две заданные точки и пересекающая все меридианы под одним и тем же углом K .

Уравнение локсодромии для Земли — шара определяется формулой

$$\Delta\lambda = \operatorname{tg} K \left[\ln \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi_2}{2} \right) - \ln \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi_1}{2} \right) \right]. \quad (1.5.3)$$

Из анализа этого уравнения следуют основные свойства локсодромии:

— при $K=0^\circ$ (180°) локсодромия совпадает с меридианом и ортодромией;

— при $K=90^\circ$ (270°) локсодромия совпадает с параллелью;

— при курсах, отличных от 0° (180°) и 90° (270°), локсодромия пересекает каждый меридиан бесчисленное число раз в новой широте, т. е. локсодромия является логарифмической спиралью, стремящейся к полюсу.

Ортодромию и локсодромию, проходящие через одну и ту же пару точек, называют *соответствующими*. Угол пересечения соответствующих ортодромии и локсодромии называется ортодромическим углом ψ (рис. 1.5.3), или *ортодромической поправкой*.

Ортодромическая поправка ψ используется для перехода от ортодромических направлений к локсодромическим, и наоборот.

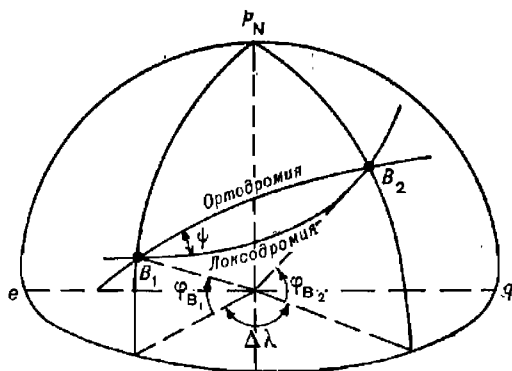


Рис. 1.5.3

Для точек B_1 и B_2 , расположенных на малых расстояниях (менее 600 миль) друг от друга,

$$\psi = 0,5\gamma = (\Delta\lambda/2) \sin \varphi_{\text{ср}}. \quad (1.5.4)$$

Знак угла ψ определяется знаками величин $\sin \varphi_{\text{ср}}$ и $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$.

Для точек B_1 и B_2 , расположенных на больших расстояниях друг от друга,

$$\psi = K - A, \quad (1.5.5)$$

где K — локсодромическое направление. Для Земли — шара оно равно

$$K = \text{arctg} \left\{ \Delta\lambda \left[\ln \text{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi_2}{2} \right) - \ln \text{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi_1}{2} \right) \right] \right\}; \quad (1.5.6)$$

A — ортодромическое направление, рассчитываемое по формуле (1.5.1).

Ортодромические поправки для малых расстояний определяются с помощью табл. 23-а МТ-75, а для больших (с учетом сжатия Земли) — с помощью табл. 23-б МТ-75.

Для автоматизированного расчета ортодромической поправки ψ при больших расстояниях между точками, соответствующих $\Delta\lambda > 5^\circ$,

используется формула (1.5.5), которая может быть представлена в следующем развернутом виде:

$$\psi = \operatorname{arctg} \frac{\Delta\lambda}{57,3 \left\{ \ln \left[\frac{(1 - e \sin \varphi_2)^{e/2}}{(1 + e \sin \varphi_2)^{e/2}} \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi_2}{2} \right) \right] - \ln \left[\frac{(1 - e \sin \varphi_1)^{e/2}}{(1 + e \sin \varphi_1)^{e/2}} \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi_1}{2} \right) \right] \right\}} - \operatorname{arctg} \frac{\sin \Delta\lambda}{\operatorname{tg} \varphi_2 \cos \varphi_1 - \sin \varphi_1 \cos \Delta\lambda},$$

где e — эксцентриситет земного эллипсоида; для референц-эллипсоида Красовского $e = 0,081813324$.

С помощью ПМК ортодромическая поправка ψ по этой формуле вычисляется по следующей программе:

В/О ФПРГ

ИП1 Fsin ИП4 × П9 /-/ 1 + ИП9 1
 + : П8 ИП4 2 : ИП8 Fx^y ИП1 2
 : ИП6 + Ftg × ПА ИП0 Fsin ИП4 ×
 П9 /-/ 1 + ИП9 1 + : П8 ИП4
 2 : ИП8 Fx^y ИП0 2 : ИП6 + Ftg
 × ИПА : F1/x Fln ИП5 × ИП3 ИП2 —
 : F1/x Farctg ПС ИП1 Ftg ИП0 Fcos × ИП0
 Fsin ИП3 ИП2 — Fcos × — ИП3 ИП2 —
 Fsin : F1/x Farctg ПД ИПС ИПД — ПА С/П (90 шагов)
 ФАВТ.

Реализация программы:

— в ПМК вводятся исходные данные: φ_1° П0; φ_2° П1; λ_1° П2; λ_2° П3; 8,1813324 · 10⁻² П4; 57,2958 П5; 45 П6;

— нажимаются клавиши В/О С/П и после отработки программы ответ высвечивается нажатием клавиш ИПА → ψ . При необходимости из памяти извлекаются также и направления в четвертной системе счета: ИПС → K' ; ИПД → A' .

Пример. $\varphi_1 = 44^\circ 00,0' N (+44,0^\circ)$; $\varphi_2 = 48^\circ 30,0' N (+48,5^\circ)$;
 $\lambda_1 = 19^\circ 00,0' W (-19,0^\circ)$; $\lambda_2 = 4^\circ 30,0' W (-4,5^\circ)$.

Определить ортодромическую поправку ψ .

Решение. В ПМК вводятся исходные данные: 44 П0; 48,5 П1; -19 П2; -4,5 П3; 8,1813324 · 10⁻² П4; 57,2958 П5; 45 П6 и нажимаются клавиши В/О С/П.

Ответ. После отработки программы получим: ИПА → $\psi = +5,18585^\circ \approx +5,2^\circ$; ИПС → $K' = 65,8811^\circ$; ИПД → $A' = 60,6952^\circ$.

При направлениях, близких к главным румбам, может оказаться, что углы K' и A' имеют разные знаки (расположены в разных четвертях горизонта). Признаком этого является чрезмерно большая величина ψ , превышающая 100° . В этом случае величина A' переводится в полукруговую систему счета — в A'' по правилу:

— если направление K' положительное, то $A'' = 180^\circ - |A'|$;

— если направление K' отрицательное, то $A'' = |A'| - 180^\circ$.

Значение A'' вводится в ячейку Д и затем рассчитывается ψ : ИПС ИПД — ПА; в результате на индикаторе высвечивается значение ψ .

Пример. $\varphi_1 = +49,0^\circ$; $\varphi_2 = +46,5^\circ$;
 $\lambda_1 = -7,0^\circ$; $\lambda_2 = -50,0^\circ$.

Определить ортодромическую поправку ψ в первой точке.

В результате решения получаем: ИПА → $\psi = 163,52085^\circ$ — величина неправдоподобная ($> 100^\circ$).

Убеждаемся, что K' и A' имеют разные знаки: ИПС $\rightarrow K' = 85,0715^\circ$; ИПД $\rightarrow A' = -78,4493^\circ$.

Так как число K' положительное, то $A'' = 180^\circ - 78,4493^\circ = 101,5507^\circ \rightarrow$ ПД.

Ответ: ИПС ИПД — ПА $\rightarrow \psi = -16,4791^\circ$.

Для перехода от ортодромического направления A к локсодромическому K и обратно используются алгебраические формулы:

$$\left. \begin{aligned} K &= A + \psi; \\ A &= K - \psi. \end{aligned} \right\} \quad (1.5.7)$$

Угол ψ подставляется в эти формулы со своим знаком.

§ 1.6. АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА НАПРАВЛЕНИИ И РАССТОЯНИЙ МЕЖДУ ДВУМЯ ТОЧКАМИ НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Расчет направлений и расстояний между двумя точками с известными координатами составляет суть так называемой обратной геодезической задачи (прямая задача — определение координат точки по измеренным направлению и расстоянию относительно другой точки с известными координатами).

Поскольку кратчайшим расстоянием между двумя точками на сфероиде является расстояние по геодезической линии, а на сфере — по дуге большого круга, то в общем случае определяются направления и длина именно этих линий.

При расчете направлений и расстояний различают два случая.

1. Расстояние между точками $B_1(\varphi_1, \lambda_1)$ и $B_2(\varphi_2, \lambda_2)$ менее 25 миль.

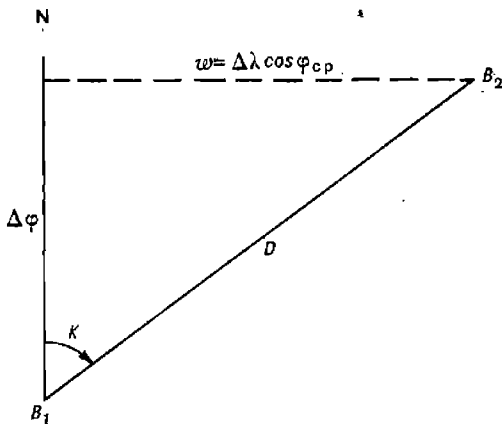


Рис. 1.6.1

В этом случае задача решается на плоскости (рис. 1.6.1). Сначала рассчитывается локсодромическое направление K , которое затем ортодромической поправкой ψ переводится в ортодромическое направление A . При этом используются следующие формулы:

$$\operatorname{tg} K' = \Delta\lambda \cos \varphi_{cp} / \Delta\varphi; \quad A = K - \psi = K - 0,5\Delta\lambda \sin \varphi_{cp}; \quad (1.6.1)$$

$$D = \sqrt{\Delta\varphi^2 + (\Delta\lambda \cos \varphi_{cp})^2} = \Delta\varphi / \cos K', \quad (1.6.2)$$

где K' — локсодромическое направление в четвертном счете, первая буква четверти одноименна с $\Delta\varphi$, вторая — с $\Delta\lambda$;

φ_{cp} — средняя широта; $\varphi_{cp} = 0,5(\varphi_1 + \varphi_2) = \varphi_1 + 0,5\Delta\varphi$.

Расчет направления и расстояния производится с помощью программируемого микрокалькулятора или методом логарифмирования с использованием Мореходных таблиц МТ-75.

Пример. Заданы две точки:

$$\begin{aligned}\varphi_1 &= 58^\circ 20,5' \text{ N}, & \lambda_1 &= 20^\circ 12,0' \text{ E}; \\ \varphi_2 &= 58^\circ 29,0' \text{ N}, & \lambda_2 &= 19^\circ 56,5' \text{ E}.\end{aligned}$$

Определить направление A с первой точки на вторую и расстояние D между ними.

Решение методом логарифмирования:

— рассчитываются $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1 = -15,5'$, $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = +8,5'$

и $\varphi_{cp} = \varphi_1 + 0,5 \Delta\varphi = +58^\circ 24,75'$;

— из таблиц МТ-75 выбираются логарифмы и рассчитываются K' , A и D

$\Delta\lambda = -15,5'$	$\log \Delta\lambda$	1,19033	$\log \Delta\lambda$	1,19033	
	$\log \cos \varphi_{cp}$	+ 9,71916	$\log \sin \varphi_{cp}$	+ 9,93036	
$\varphi_{cp} = +58^\circ 24,75'$		10,90949	$\log 0,5$	+ 9,69897	
			$\log \psi$	0,81966	$\psi = 6,6'$
$\Delta\varphi = +8,5'$	$\log \Delta\varphi$	0,92942	$\log \Delta\varphi$	0,92942	
	$\log \operatorname{tg} K'$	9,98007	$\log \cos K'$	9,85922	
	K'	43°41,2'	$\log D$	1,07020	$D = 11,74$

Ответ: $K = 360^\circ - 43^\circ 41,2' = 316^\circ 18,8'$;
 $A = K - \psi = 316^\circ 18,8' - (-6,6') = 316^\circ 25,4'$;
 $D = 11,74$ мили.

Для решения рассматриваемой задачи с помощью ПМК используется следующая программа:

В/О ФПРГ

ИП1 ИПО + 2 : П9 Fcos ИП3 ИП2 —

П8 × ИП1 ИПО — П7 : F arctg ИП9 F sin

ИП8 × 2 : — ПА ИП7 Fx² ИП8 ИП9

Fcos × Fx² + F√ ИП4 × ПВ С/П (39 шагов),

FAVT.

Реализация программы:

— в ПМК вводятся исходные данные: φ_1° П0; φ_2° П1; λ_1° П2; λ_2° П3; 60 П4;

— нажимаются клавиши В/О и С/П и после отработки программы искомые величины высвечиваются нажатием клавиш: ИПА → A в четвертной системе счета; ИПВ → D в милях.

Азимут в круговой системе счета определяется с помощью табл. 1.6.1.

Пример. Решим последний пример с помощью ПМК по приведенной выше программе.

Решение. Вводятся исходные данные: 58,3417 П0; 58,4833 П1; 20,2 П2; 19,9417 П3; 60 П4 и нажимаются клавиши В/О С/П.

Ответ. После отработки программы получим: ИПА → $A' = -43,58611^\circ$; ИПВ → $D = 11,7508$ мили.

Так как вторая точка к западу от первой и A' имеет знак минус, то $A = 360^\circ - 43,58611^\circ = 316,41389^\circ = 316^\circ 24,5'$.

Таблица 1.6.1

Знак A'	Вторая точка восточнее первой ($\lambda_2 > \lambda_1$)	Вторая точка западнее первой ($\lambda_2 < \lambda_1$)
+	$A = A'$	$A = 180^\circ + A' $
-	$A = 180^\circ - A' $	$A = 360^\circ - A' $

2. Расстояние между точками $B_1 (\varphi_1, \lambda_1)$ и $B_2 (\varphi_2, \lambda_2)$ более 25 миль.

В этом случае задача решается с учетом кривизны земной поверхности. Сначала рассчитываются направление и расстояние на сфере:

$$\operatorname{tg} A = \sin \Delta\lambda / (\operatorname{tg} \varphi_2 \cos \varphi_1 - \sin \varphi_1 \cos \Delta\lambda); \quad (1.6.3)$$

$$\cos D = \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \cos \Delta\lambda. \quad (1.6.4)$$

Затем в полученные направление и расстояние вводятся поправки ΔA и ΔD за сферондичность Земли. Эти поправки могут быть рассчитаны по формулам Андуайте-Ламберта, преобразованным проф. А. И. Сорокиным:

$$\Delta A = k_3 \cos^2 \varphi_1 \sin 2A - k_4 \sin 2\varphi_1 \sin A; \quad (1.6.5)$$

$$\Delta D = k_1 (\sin \varphi_1 + \sin \varphi_2)^2 - k_2 (\sin \varphi_1 - \sin \varphi_2)^2, \quad (1.6.6)$$

где k_1, k_2, k_3, k_4 — коэффициенты, выбираемые по расстоянию D из Таблиц для вычисления длины и азимута геодезической линии. УГС ВМФ, 1961.

Поправка ΔA на расстояниях до 6000 миль не превышает $0,2^\circ$, поэтому при решении многих навигационных задач ею можно пренебречь.

Поправка ΔD имеет существенное значение даже при сравнительно небольших расстояниях (например, при $D \approx 1000$ миль поправка $\Delta D \approx 2$ мили).

При отсутствии таблиц для вычисления поправок ΔA и ΔD они могут быть рассчитаны по следующим формулам:

$$\Delta A = 5,762 \{ [1 + D \operatorname{arc} 1^\circ \operatorname{ctg} D] \cos^2 \varphi_1 \sin 2A - D \operatorname{arc} 1^\circ \sin 2\varphi_1 \sin A \}; \quad (1.6.7)$$

$$\Delta D = 1,443 \left[\frac{3 \sin D - D \operatorname{arc} 1^\circ}{\cos^2 (D/2)} (\sin \varphi_1 + \sin \varphi_2)^2 - \frac{3 \sin D + D \operatorname{arc} 1^\circ}{\sin^2 (D/2)} (\sin \varphi_1 - \sin \varphi_2)^2 \right], \quad (1.6.8)$$

где D — расстояние на шаре радиуса $a = 6378245$ м (вычисляется по формуле 1.6.4), градусы дуги;

ΔD — поправка расстояния, минуты дуги;

ΔA — поправка направления, минуты дуги.

Одна минута дуги большого круга шара с радиусом a равна 1855,3563 м, а морская миля равна 1852 м. Поэтому расстояние в милях вычисляется по формуле

$$D = 1,0018122 (60D + \Delta D).$$

Автоматизированный расчет геодезических направления и расстояния можно производить с помощью ПМК или ЭКВМ «Слика».

При использовании ПМК для расчета A (без учета поправки), D и ΔD используется следующая программа:

В/О	ФПРГ								
ИП1	Ftg	ИП0	Fcos	×	ИП0	Fsin	ИП3	ИП2	—
П9	Fcos	×	—	ИП9	Fsin	:	F 1/x	F arctg	ПА
ИП0	Fsin	ИП1	Fsin	×	ИП0	Fcos	ИП1	Fcos	×
ИП9	Fcos	×	+	F arccos	ПС	Fsin	3	×	П9
ИП4	ИПС	×	П8	—	ИПС	2	:	ПВ	Fcos
Fx^2	:	ИП0	Fsin	ИП1	Fsin	+	Fx^2	×	ИП9
ИП8	+	ИПВ	Fsin	Fx^2	:	ИП0	Fsin	ИП1	Fsin
—	Fx^2	×	—	ИП5	×	ПД	ИПС	ИП6	×
+	ИП7	×	ПВ	С/П	(85 шагов)				

ФАВТ.

Реализация программы:

— в ПМК вводятся исходные данные: φ_1 П0; φ_2 П1; λ_1 П2; λ_2 П3; 0,0174533 П4; 1,443 П5; 60 П6; 1,0018122 П7;

— нажимаются клавиши В/О С/П. После отработки программы искомые величины высвечиваются нажатием клавиш: ИПА $\rightarrow A'$ (правило перевода в круговую систему счета с помощью табл. 1.6.1); ИПВ $\rightarrow D$, мили; ИПС $\rightarrow D^\circ$; ИПД $\rightarrow \Delta D'$.

Пример. Заданы две точки:

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= 29^\circ 47,0' \text{ N } (+29,7833^\circ); & \varphi_2 &= 21^\circ 57,4' \text{ N } (+21,9566^\circ); \\ \lambda_1 &= 5^\circ 08,0' \text{ W } (-5,1333^\circ); & \lambda_2 &= 11^\circ 24,0' \text{ E } (+11,4^\circ). \end{aligned}$$

Определить направление с первой точки на вторую и расстояние между точками в морских милях.

Решение. В ПМК вводятся исходные данные: 29,7833 П0; 21,9566 П1; $-5,1333$ П2; 11,4 П3; 0,0174533 П4; 1,443 П5; 60 П6; 1,0018122 П7 и нажимаются клавиши В/О С/П.

Ответ. После отработки программы получим: ИПА $\rightarrow A' = -66,06893^\circ$ ($A = 180 - |66,06893| = 113,931^\circ = 113^\circ 55,86'$); ИПВ $\rightarrow D = 1008,2845$ мили; ИПС $\rightarrow D = 16,7834^\circ$; ИПД $\rightarrow \Delta D = -0,54389'$.

При наличии навигационной электронной клавишной вычислительной машины (ЭКВМ) «Слика» расчет расстояний и направлений между двумя точками на земном эллипсоиде производится (независимо от расстояния между точками) решением задачи № 12:

НУ задача 12;

V1... (широта первой точки); L1... (долгота первой точки);

V2... (широта второй точки); L2... (долгота второй точки);

ПУСК.

Результат последовательно высвечивается на табло: D в метрах; A в градусах, минутах и секундах.

Решая по этому алгоритму задачу по условию последнего примера, получим: $D = 1\,867\,350,1 \text{ м} = 1008,288$ мили; $A = 113^\circ 48' 11,5''$.

Глава 2

МИРОВОЙ ОКЕАН И АТМОСФЕРА. ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ

§ 2.1. ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА КОРАБЛЬ, ЕГО ОРУЖИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА

Внешней средой, в которой постоянно находится корабль во время плавания и при стоянке в базе (у пирса, на якоре или на бочках), является поверхностный слой воды Мирового океана и приподнятый слой атмосферы. Для надводных кораблей и подводных лодок, находящихся в надводном положении, поверхностный слой воды Мирового океана имеет толщину, равную их осадке, и, как правило, не превышает 10—12 м (а для суперсудов 25—30 м). Приподнятый слой атмосферы, оказывающий непосредственное влияние на корабли, ограничен высотой корабельных надстроек, мачт и не превышает 50—70 м. Для подводных лодок, совершающих плавание в подводном положении, приподнятый слой атмосферы непосредственного влияния на корабль не оказывает, а толщина слоя воды Мирового океана, оказывающего на него влияние, увеличивается по мере увеличения глубины погружения подводной лодки.

Однако нельзя ограничиваться рассмотрением факторов, характеризующих физическое состояние приподнятого слоя атмосферы и слоя воды Мирового океана в указанных выше пределах. Например, на эффективность работы корабельных гидроакустических средств оказывает влияние физическое состояние всей толщи воды Мирового океана, а на работу средств радиолокации, радионавигационных систем и средств связи в некоторых случаях оказывают влияние факторы, характеризующие состояние атмосферы до высот в несколько десятков и сотен километров.

При оценке гидрометеорологической обстановки в районе плавания и прогнозировании характера ее изменения на предстоящий период необходимо также анализировать метеорологические характеристики в толще атмосферы, простирающейся на многие километры.

Непосредственно на корабль, его оружие и технические средства оказывают наибольшее влияние: температура воды и воздуха, ветер и волнение моря, явления, ухудшающие видимость, облака, приливные явления и характер течений в районе плавания корабля. На эффективность корабельных гидроакустических средств, кроме этого, влияет характер вертикального распределения скорости звука в морской воде и его горизонтальная изменчивость в районе плавания, наличие слоя скачка температуры и плотности морской воды, положение на разных глубинах звукорассеивающих слоев и т. п.

Основные характеристики вод Мирового океана, рельефа его дна и берегов приведены в приложении 4; количественные характеристики вод и диапазоны их пространственного и временного изменения могут быть использованы при оценке степени их влияния на корабль и его

экипаж, точность плавания и эффективность использования оружия и технических средств корабля.

Особенности решения задач кораблевождения при плавании в условиях ограниченной видимости и в штормовых условиях, а также при плавании во льдах рассмотрены в гл. 29 и 31.

§ 2.2. ОКЕАНИЧЕСКИЕ И МОРСКИЕ ТЕЧЕНИЯ

Океаническими (морскими) течениями называются поступательные движения масс воды в океане (море), характеризующиеся скоростью и направлением потока. Они отличаются большой горизонтальной протяженностью (100—1000 км и более), разнообразием времени действия и сравнительно незначительными скоростями, обычно не более 1 м/с (2 уз), но в отдельных районах иногда превышают в открытом океане 2—3 м/с (4—6 уз), а в узкостях даже 6—8 м/с (12—16 уз). Направление течения определяется той частью горизонта, куда направлено течение.

Поступательное движение вод вызывается как внешними факторами (действием ветра, атмосферного давления, осадков, испарения, берегового стока и приливообразующих сил), так и внутренними (горизонтальной неоднородностью поля плотности морской воды). Однако, если течение возникло, немедленно проявляется действие вторичных сил трения и инерции, отсутствующих в спокойной воде, но деформирующих или передающих действие первичных сил, породивших движение. В ряде случаев течения продолжают существовать и после прекращения действия сил, вызвавших движение воды. Такие течения называются *инерционными*.

Течения, фиксируемые с помощью измерителей течений, называются *суммарными*, так как являются совокупным результатом действия всех указанных выше факторов. Течение, оставшееся после исключения из наблюдаемого суммарного течения приливной составляющей, называется *остаточным*.

По силам, вызывающим поступательное движение вод в океане, выделяют *градиентные, ветровые и приливные* течения.

В отличие от градиентных и ветровых, приливные течения охватывают всю толщу воды до дна, однако в донном пограничном слое (ДПС) их вертикальная структура имеет существенные особенности. Так же, как и в приливах, выделяются *полусуточные, суточные и смешанные* приливные течения; отмечаются те же *неравенства*, хотя для течений они выражены менее четко. Однако в одном месте характер колебаний уровня и приливных течений может быть разным, особенно при смешанных приливах, а наибольшие скорости течений не совпадают с сизигийными приливами.

По временным характеристикам течения подразделяются на *периодические*, скорость и направления которых во времени меняются с определенной периодичностью, и *непериодические*, изменения которых носят непериодический характер.

Течение считают *неустановившимся* или *установившимся* в зависимости от того, изменяется оно во времени или нет.

По глубине расположения выделяют *поверхностные, глубинные и придонные* течения, наблюдаемые соответственно в навигационном слое, соизмеримом с осадкой крупных кораблей, на некоторой глубине между поверхностным и придонным течениями, и в донном пограничном слое.

По физико-химическим свойствам течения классифицируют на *теплые и холодные, соленые и распресненные*.

По характеру движения выделяют течения *прямолинейные*, *циклонические*, направленные в северном полушарии против часовой стрелки, и *антициклонические*, направленные по часовой стрелке (в южном полушарии движение вод в этих течениях имеет противоположное направление).

§ 2.3. ПРЕДВЫЧИСЛЕНИЕ И УЧЕТ НЕКОТОРЫХ ПРИЛИВНЫХ ЯВЛЕНИЯ

Глубины, проставляемые на навигационных морских картах, отсчитываются от нуля глубин, сведения о котором указываются в заголовке карты.

Данные о превышении действительного уровня над нулем глубин на приливных морях (к ним относятся моря, где величина прилива, т. е. разность между полной и малой водами, больше 50 см) приводятся в Таблицах приливов, издаваемых ГУНиО МО на каждый календарный год. Для практического удобства таблицы издаются в отдельных томах, освещающих определенный бассейн Мирового океана.

Каждый том Таблиц приливов состоит из двух частей. Часть первая содержит предвычисленные моменты и высоты полных и малых вод в основных пунктах. В качестве основных принимаются пункты, где имеются длительные ряды наблюдений за колебаниями уровня моря (на каждом море их обычно несколько). Моменты наступления полных и малых вод даны по поясному времени, а высоты в метрах с десятками долями как превышение над нулем глубин.

Во второй части приведены поправки времени и высот для дополнительных пунктов относительно основного, к которому они отнесены. Это позволяет получать время и высоты полных и малых вод в дополнительных пунктах.

Таблицы приливов позволяют решать следующие задачи, встречающиеся в практике кораблевождения:

1. *Определение дат сизигийных и квадратурных приливов на морях с полусуточными приливами.* Задача решается путем просмотра высот полных и малых вод для основного пункта за данный месяц: сизигийный прилив будет в те сутки, когда величина прилива достигает максимума, а квадратурный — минимума. При этом следует помнить, что сизигийные и квадратурные приливы сохраняются в течение нескольких суток подряд.

2. *Определение суточного хода уровня в заданном пункте.* Задача для основного пункта решается простой выборкой. По перечню основных пунктов (помещается обычно в начале таблиц) отыскивается заданный пункт и в таблице — заданные сутки. При полусуточных приливах может случиться, что в данные сутки имеет место только одна полная или малая вода; это означает, что вторая вода наступает или в конце предыдущих, или в начале последующих суток.

Для дополнительного пункта эта задача решается в два этапа: сначала определяется основной пункт, к которому отнесен дополнительный (дополнительные пункты приведены в алфавитном указателе в конце таблиц), а затем выбираются поправки времени и высот для дополнительного пункта, которыми и исправляются время и высоты полных и малых вод в основном пункте.

3. *Предвычисление высоты уровня на заданный момент времени, находящийся между временем наступления полной и малой вод.* Решение ведется с использованием нелинейной интерполяции, выполненной с помощью вспомогательной таблицы, помещаемой в конце каждого тома. Из этой таблицы по рассчитанным трем аргументам

выбирается поправка высоты уровня, которую нужно прибавить к высоте малой воды, если она была ближайшей к заданному моменту, и вычесть из высоты полной воды, если ближайшей была полная вода.

Для дополнительных пунктов эта задача решается аналогично, но только после того, как будут введены поправки времени и высот полных и малых вод, и мы увидим, что заданный момент времени находится между временем наступления полной и малой воды в дополнительном пункте.

4. *Определение запаса воды под килем корабля D при прохождении над отмелями, банками и т. п.* В этом случае для расчета необходимо знать: осадку корабля T , глубину H_k , снятую с карты над банкой,

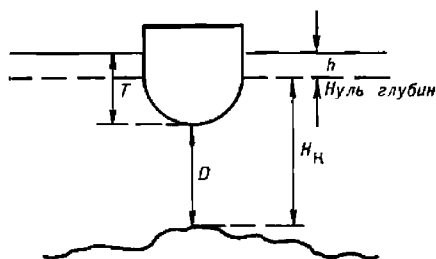


Рис. 2.3.1

и высоту уровня h над нулем глубин, рассчитанную по Таблицам приливов; тогда из рис. 2.3.1 следует:

$$D = H_k + h - T, \quad (2.3.1)$$

если при этом в расчет берется высота малой воды $h_{мв}$, то формула (2.3.1) дает минимальный запас воды под килем D_{\min}

$$D_{\min} = H_k - h_{мв} - T, \quad (2.3.2)$$

а при подстановке высоты полной воды — максимально возможный запас воды под килем корабля.

Порядок и схема предвычислений моментов и высот приливов для каждой из приведенных задач даются в Таблицах приливов. В связи с этим в данной главе примеры решения указанных выше типов задач на предвычисление приливов не приводятся.

§ 2.4. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКОЙ НА КОРАБЛЯХ И СУДАХ ВМФ

Основные положения

В соответствии с Корабельным уставом ВМФ на каждом корабле должны производиться регулярные наблюдения за гидрометеорологической обстановкой в районе нахождения корабля. Основной целью этих наблюдений является получение информации о состоянии среды в районе плавания корабля для обеспечения повышения эффективности применения оружия, использования технических средств, точности численного пути корабля и безопасности его плавания. Кроме того, результаты этих наблюдений необходимы в гидрометеоцентрах флотов для анализа текущей метеорологической обстановки над океанами и морями и пополнения банка данных.

Наблюдения выполняются личным составом штурманской боевой части корабля и штурманским составом судов ВМФ.

Командир штурманской боевой части несет полную ответственность за качество наблюдений, выполнение установленного объема и своевременность наблюдений.

Наблюдения за гидрометеорологической обстановкой состоят из:

- измерений гидрометеорологических величин;
- визуальной (зрительной) регистрации атмосферных явлений, наблюдающихся в районе плавания;
- передачи по радио донесений о состоянии гидрометеорологической обстановки в районе нахождения корабля;
- доклада командиру корабля данных о фактической обстановке.

Установлены обязательные сроки наблюдений в течение суток по всемирному времени. Под сроком наблюдения понимается 10-минутный интервал времени, предшествующий установленному сроку. Например, срок наблюдений 09 ч. Это значит, что весь комплекс наблюдений выполнен в период с 8 ч 50 мин до 9 ч 00 мин. При этом измерение давления воздуха, силы и направления ветра сделано за 5 мин до целого часа, а отсчет температуры воздуха ровно в 9 ч. При возникновении опасных для корабля гидрометеорологических явлений наблюдения осуществляются через каждый час или по специальному приказанию.

Наблюдения ведутся личным составом как на ходу корабля, так и на стоянках. При этом помимо срочных наблюдений обязательно фиксируется время:

- усиления ветра до 6 баллов и более, а затем его ослабления;
- ухудшения видимости до 0,5 мнли, а затем ее улучшения;
- начала и окончания выпадения осадков;
- появления и рассеяния тумана, шквалов; гроз и других опасных для корабля явлений;
- увеличения степени волнения до 5 баллов и выше, а затем его уменьшения;
- появления и исчезновения льдов.

Наблюдения за гидрометеорологической обстановкой должны выполняться личным составом корабля всегда на одних и тех же местах, установленных командиром боевой части, и состоят из инструментальных измерений и визуальной оценки явлений.

Инструментально измеряются: ветер, атмосферное давление, барическая тенденция, температура и влажность воздуха, температура и соленость воды на поверхности и глубинах, прозрачность и цвет воды.

Визуально определяются: дальность видимости, количество, форма и высота облаков, характер и интенсивность явлений, степень волнения, тип и интенсивность свечения водной поверхности и ледовая обстановка.

При выполнении наблюдений личный состав должен соблюдать следующие правила:

- убедиться в полной безопасности самого наблюдателя и приборов;
- отмечать только то, что наблюдается;
- измерения по приборам и визуальную оценку явлений производить в точном соответствии с методическими указаниями;
- следить за исправностью приборов, правильно устанавливать их для производства наблюдений;
- точно выдерживать установленные сроки наблюдений;

— записи результатов наблюдений производить только в табельных бланках простым карандашом. Неправильные записи зачеркиваются так, чтобы можно было зачеркнутое прочитать, подчистки не допускаются.

Характеристики основных гидрометеорологических величин

Атмосфера находится в постоянном движении. Кроме периодического движения, обусловленного вращением Земли вокруг Солнца и собственной оси, атмосфера находится в сложном движении относительно поверхности Земли.

Для количественной характеристики состояния атмосферы используются *метеорологические величины*, к которым относятся: температура, давление, плотность и влажность воздуха, ветер, дальность видимости, облачность и др. Кроме того, фиксируются *атмосферные явления*, образующиеся при определенных условиях и сопровождающиеся качественным изменением состояния атмосферы. К атмосферным явлениям относятся: туманы, грозы, шквалы, осадки и др. Явления не имеют количественной оценки, к ним применимы только словесные характеристики — слабые, умеренные, сильные.

Состояние атмосферы под влиянием притока солнечной радиации, взаимодействия с подстилающей поверхностью и внутренних процессов непрерывно меняется в пространстве и времени, а следовательно, меняются и значения метеорологических величин, возникают и исчезают атмосферные явления. Совокупность значений метеорологических величин и атмосферных явлений в определенный момент или некоторый интервал времени называют *погодой*. При этом можно говорить о погоде в данной точке пространства, о погоде в районе, на маршруте перехода корабля и т. п.

Основными метеорологическими величинами, характеризующими состояние атмосферы, являются:

Температура воздуха — в пределах тропосферы под температурой понимается степень нагретости воздуха; измеряется в градусах Цельсия ($^{\circ}\text{C}$) по международной 100-градусной шкале (t). В СИ температура измеряется по шкале Кельвина (T). Абсолютная температура по шкале Кельвина и температура t связаны между собой соотношением: $T = 273,15 (1 + \alpha t)$, где $\alpha = 0,00365$, при этом $1\text{K} = 1^{\circ}\text{C}$.

Давление воздуха — в единицах СИ измеряется в паскалях (Па). Применительно к атмосферному давлению 1 паскаль является малой величиной, поэтому атмосферное давление принято выражать в гектопаскалях (гПа). В метеорологии атмосферное давление выражают также во внесистемных единицах — миллиметрах ртутного столба (мм рт. ст.) и миллибарах (мбар); при этом $1\text{ мбар} = 10^2\text{ Па}$, а $1\text{ мм рт. ст.} = 1,33\text{ мбар}$. В качестве нормального (среднего) атмосферного давления принято 760 мм рт. ст., что соответствует 1013,2 гПа.

Плотность воздуха — измеряется в килограммах на кубический метр ($\text{кг}/\text{м}^3$). В метеорологии она непосредственно не измеряется, а вычисляется по измеренным давлению и температуре.

Влажность воздуха — зависит от постоянного присутствия в атмосфере водяного пара, количество которого меняется в широких пределах, достигая в исключительных случаях 4 % от массы атмосферного воздуха. Однозначно оценить содержание водяного пара нельзя, поэтому используется несколько величин, называемых гигрометрическими характеристиками. К ним относятся:

— *упругость водяных паров e* как парциальное давление их, если рассматривать атмосферный воздух как механическую смесь из сухого воздуха и водяного пара. Следовательно, упругость водяного пара e выражается единицами давления.

При данной температуре упругость водяного пара не может превышать некоторого предельного значения, которое называется максимальной, или насыщающей, упругостью E . Ее величина быстро возрастает с повышением температуры воздуха. Так, при $t = -50^\circ\text{C}$ $E = 0,063$ гПа, при $t = 50^\circ\text{C}$ $E = 123,39$ гПа;

— *абсолютная влажность a* — масса водяного пара в единице объема влажного воздуха. Выражается в граммах на кубический метр. Абсолютная влажность однозначно связана с упругостью e соотношением

$$a = \frac{0,8}{1 + at} e \text{ или } a = \frac{1,06}{1 + at} e,$$

где e в гектопаскалях или в миллиметрах ртутного столба соответственно.

При температуре воздуха $t = 16,4^\circ\text{C}$ числовая величина a в граммах на кубический метр равна числовой величине e в миллиметрах ртутного столба;

— *относительная влажность f* — отношение действительной упругости водяного пара к максимальной. Так как в воздухе всегда $e < E$, то относительную влажность удобно выражать в процентах

$$f = \frac{e}{E} 100;$$

— *удельная влажность s* — масса водяного пара в граммах, содержащегося в 1 г (или 1 кг) влажного воздуха;

— *дефицит упругости d* — разность между максимальной и действительной упругостью (всегда положительный) $d = E - e$;

— *точка росы τ* — температура, при которой содержащийся в воздухе водяной пар становится насыщенным (при $p = \text{const}$, $s = \text{const}$ и $E = e$).

Ветер — представляет собой горизонтальное движение воздуха; как всякое движение, он является векторной величиной и характеризуется направлением и скоростью.

Направление ветра оценивается той частью горизонта, откуда дует ветер, и выражается углом, отсчитываемым от меридиана наблюдателя через восток от 0 до 360°. Скорость ветра измеряется в метрах в секунду. При визуальных наблюдениях оценивается сила ветра по состоянию водной поверхности и действию ветра на корабль.

В зависимости от изменения направления и скорости (силы) ветра различают ветер: *постоянный*, направление которого за время наблюдений (обычно 2—5 мин) удерживалось в пределах 1 румба, и *меняющийся*, если направление ветра выходило за эти пределы; *ровный*, скорость которого за время наблюдений не отклонялась от средней более чем на 2—4 м/с, *порывистый*, если скорость за время наблюдений колебалась более чем на 4 м/с, и *шквалистый* — резко выраженный порывистый ветер с частыми и резкими колебаниями скорости (более 20 м/с) и направления (более 1 румба).

Облака — являются продуктом конденсации и сублимации водяного пара в атмосфере и представляют собой совокупность капелек воды и кристаллов льда, расположенных на высотах. Количество облаков (облачность) оценивается по 10-балльной шкале.

Облака образуются или вследствие увеличения общего влагосодержания, или в результате понижения температуры воздуха. В реальных условиях играют роль оба фактора. На высотах важнейшими процессами, которые приводят к понижению температуры и облакообразованию, являются восходящие движения воздуха и адвекция.

В зависимости от горизонтальных размеров областей, охваченных вертикальными движениями, значений вертикального градиента температуры образуются различные по внешнему виду и внутреннему строению облака. Различают *кучевообразные*, *волнистообразные* и *слоистообразные* формы.

В основе другого принципа классификации облаков лежит внешний вид и высота, на которой встречаются определенные формы. По этой классификации выделяются четыре семейства облаков (верхнего, среднего и нижнего ярусов и облака вертикального развития), в которых имеются несколько видов и разновидностей.

Туманы — представляют собой ту же совокупность продуктов конденсации и сублимации водяного пара, но расположенную у самой поверхности. При тумане видимость всегда менее 0,5 мили. Если же видимость из-за указанных причин понижена, но находится в пределах от 0,5 до 5 миль, то такое явление в атмосфере называется дымкой.

По интенсивности различают туман *сильный* (дальность видимости до 50 м), *умеренный* (дальность видимости 50—500 м) и *слабый* (дальность видимости 500 м — 1 км).

Важной характеристикой туманов является *удельная водность* как масса в граммах капель воды и кристаллов льда, заключенная в 1 кг воздуха.

Туманы подразделяются на:

— *туманы испарения* — образуются при смещении холодного воздуха на теплую водную поверхность. Скорость испарения пропорциональна разности $E_0 - e$, где E_0 — упругость насыщения при температуре испаряющей поверхности, а e — истинная упругость водяного пара в воздухе. Испарение может происходить лишь при условии $e < E_0$.

— *адвективные туманы* — образуются в теплой воздушной массе при перемещении ее на холодную подстилающую поверхность. Благодаря охлаждению снизу в ней устанавливается инверсионное распределение температуры. Конденсация водяного пара начинается от поверхности и распространяется до верхней границы инверсии. Образованию адвективных туманов способствуют: высокая относительная влажность надвигающегося воздуха, большая разность температур между воздушной массой и подстилающей поверхностью, умеренные скорости ветра и увеличение или постоянство удельной влажности воздуха с высотой;

— *радиационные туманы* — образуются в результате охлаждения воздуха от подстилающей поверхности, температура которой ниже. Такие туманы образуются главным образом над сушей, в предутренние часы, когда излучение с поверхности становится максимальным. Днем, когда радиационный баланс становится положительным, эти туманы обычно рассеиваются;

— *фронтальные туманы* — образуются при адвекции теплого воздуха, вследствие чего происходит горизонтальное перемещение и медленное восхождение его, а это способствует усилению испарения.

Из всех перечисленных типов туманов наибольшей продолжительностью и водностью отличаются адвективные туманы.

Осадки — капли воды и кристаллы льда, выпадающие из атмосферы и достигающие поверхности Земли. Количество осадков изме-

ряют толщиной столба жидкости в миллиметрах, который мог бы образоваться после выпадения осадков на горизонтальную поверхность (при измерении твердых осадков их предварительно растапливают). Интенсивностью осадков называют количество осадков, выпадающих за единицу времени (часто за час).

По видам осадки подразделяются на:

— *морось* — мелкие капли воды (радиусом менее 0,25 мм), которые не имеют направленного движения. Выпадают из слоистых (St) и слоисто-кучевых (Sc) облаков или при рассеянии тумана. Интенсивность не превышает 0,25 мм/ч, скорость падения меньше 0,3 м/с;

— *дождь* — осадки, состоящие из капель воды радиусом более 0,25 мм, скорость падения которых достигает 8—10 м/с. Дождевые капли больших размеров не встречаются, так как в процессе своего падения они расплющиваются и разбиваются на более мелкие. Дождь выпадает преимущественно из облаков типа слоисто-дождевых (Ns) и кучево-дождевых (Cb);

— *снег* — твердые осадки в виде кристаллов — снежинок. Наблюдается большое разнообразие форм снежинок. Наиболее простые из них иглы, столбики и пластинки. Снежинки часто соединяются между собой, образуя большие хлопья;

— *крупы* — осадки, состоящие из ледяных кристаллов и обзрененных снежинок радиусом от долей миллиметра до 15 мм. Образуются в результате замерзания переохлажденных капель воды;

— *град* — частицы льда неправильной формы с характерными про-
слойками.

По типам осадки подразделяются на:

— *обложные* — распространяющиеся на большие площади осадки средней интенсивности, выпадающие из слоисто-дождевых облаков (Ns) в виде дождя или снега (характерны для теплых фронтов);

— *ливневые* — осадки неустойчивых воздушных масс и холодных фронтов, выпадающие из кучево-дождевых облаков (Cb) в виде дождя, снега, крупы, града. Отличаются внезапностью, с резкими изменениями интенсивности. Выпадение их часто сопровождается грозами и шквалами;

— *морозящие* — выпадают из плотных слоистых (St) и слоисто-кучевых (Sc) облаков, занимают большие площади, продолжительны, интенсивность этих осадков мала.

Осадки — наиболее изменчивая во времени и пространстве метеорологическая величина. Наиболее благоприятные условия для формирования осадков большой интенсивности создаются в районах с высокой удельной влажностью и сильными восходящими движениями.

Для характеристики физического состояния водной среды одной из основных величин является температура морской воды. Распределение и изменение температуры обусловлено процессами, нагревающими и охлаждающими воду: поглощением солнечной радиации, теплообменом океана с атмосферой, эффективным излучением, испарением и переносом тепла течениями. Вместе с соленностью морской воды температура определяет термодинамические процессы в океане, влияет на плотность воды, а следовательно, на осадку кораблей, на скорость и распространение звука в морской воде; ее распределение необходимо знать при гидролокации и измерении глубин. От соотношения между температурой морской воды и воздуха зависит образование тумана, дымки, обледенение судов.

Прозрачность и цвет морской воды, зависящие главным образом от количества, размеров и природы взвешенных в воде частиц,

имеют большое значение при определении условий маскировки подводных лодок.

§ 2.5. СОСТАВЛЕНИЕ ПРОГНОЗОВ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ НА КОРАБЛЯХ И СУДАХ ВМФ

Прогноз гидрометеорологической обстановки — это словесное и цифровое представление будущих значений метеорологических полей для заданного района. По срокам действия составляемые прогнозы делятся на *краткосрочные* и *долгосрочные*. Особым видом краткосрочных прогнозов являются *штормовые предупреждения*; заблаговременность таких предупреждений составляет обычно несколько часов.

Терминология прогнозов регламентируется специальными инструкциями; употребление терминов, не включенных в такие инструкции, недопустимо, так как может привести к разному истолкованию прогноза отдельных явлений.

В корабельных условиях можно составлять только краткосрочные прогнозы (на 12 или 24 ч) и штормовые предупреждения об опасных и особо опасных метеорологических явлениях.

Исходными данными для составления прогноза гидрометеорологической обстановки являются:

- результаты регулярных фактических наблюдений за гидрометеорологической обстановкой, выполняемые на корабле;
- приземные синоптические карты за смежные сроки, ближайшие к моменту составления прогноза;
- прогностическая карта (карта будущего положения), составленная на середину срока действия прогноза.

Отсутствие одного из перечисленных данных исключает возможность составлять прогноз.

Синоптические карты могут быть приняты с помощью фототелеграфной аппаратуры (ФТА) от гидрометеоцентров, ведущих регулярные передачи, или составлены непосредственно на самом корабле.

Основным методом составления прогнозов является синоптический метод, который базируется на анализе фактических погодных условий на большом географическом районе. Анализ производится с помощью синоптических карт, которые представляют собой своеобразную фотографию фактических погодных условий, составленную по данным срочных гидрометеорологических наблюдений. В процессе анализа устанавливается местоположение основных *синоптических объектов*: воздушных масс, фронтальных разделов, циклонов, антициклонов, их состояние и эволюционная направленность развития.

Так как каждый из синоптических объектов является носителем определенных погодных условий, которые свойственны ему, установив определяющий объект на район плавания корабля, можно тем самым получить ожидаемый характер погодных условий.

Кроме перечисленных исходных данных, для составления прогноза желательно иметь в своем распоряжении данные наблюдений метеорологических спутников, результаты радиолокационных наблюдений за метеорологическими целями, карты барической топографии, местные признаки изменения погодных условий.

К составлению прогноза гидрометеорологической обстановки на корабле целесообразно приступать в период между 15—17 ч и определять срок действия его с 18 ч текущих суток до 18 ч следующих суток.

Прежде чем приступить к составлению прогноза, необходимо выполнить ряд предварительных операций:

— установить характер суточного хода температуры воздуха и атмосферного давления, используя корабельные наблюдения. Если при этом обнаруживается, что суточный ход нарушен, то это уже указывает на возможность изменений в гидрометеорологической обстановке;

— выявить соответствие фактических погодных условий в районе плавания тому синоптическому объекту, который располагается на синоптической карте. При выполнении этой операции рекомендуется пользоваться радиолокатором, с помощью которого определяются дистанция и направление до объекта, дающего метеорологическую цель на индикаторе кругового обзора;

— перенести на прогностическую карту центры циклонов и антициклонов, расположенных в зоне плавания, снимая их с синоптической карты за последний имеющийся срок. Это позволит определить направление их перемещения и установить те объекты, которые будут обуславливать характер погодных условий в том районе, для которого составляется прогноз;

— выделить район прогнозирования на прогностической карте (с учетом суточного перехода корабля);

— вычислить геострофический ветер в точке, где будет корабль на момент составления прогностической карты. *Геострофическим ветром* называется установившееся горизонтальное движение воздуха при отсутствии сил трения. Он формируется под воздействием только силы барического градиента и отклоняющей силы вращения Земли.

Скорость геострофического ветра V_g (в метрах в секунду) вычисляется по формуле

$$V_g = \frac{RT}{2\omega \sin \varphi \bar{p}} \frac{\Delta p}{\Delta n}, \quad (2.5.1)$$

где R — универсальная газовая постоянная ($R = 287 \text{ м}^2 \text{ с}^{-2} \text{ К}^{-1}$);

T — температура воздуха, К;

ω — частота вращения Земли ($7,29 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$);

φ — широта места;

Δp — разность давления в двух точках, удаленных друг от друга на расстояние Δn ;

\bar{p} — среднее давление, гПа.

Направление геострофического ветра совпадает с касательной к изобаре, оставляя низкое давление слева (в южном полушарии справа).

Если на карте изобары проведены через 5 гПа, а расстояние Δn выражено в градусах дуги меридиана, то формула (2.5.1) примет вид

$$V_g = 88,57 \frac{T}{\sin \varphi \bar{p} \Delta n}. \quad (2.5.2)$$

В качестве примера вычислим по формуле (2.5.2) геострофический ветер для условий, показанных на рис. 2.5.1:

$$V_g = 88,57 \frac{273 + 12}{0,87 \cdot 1002,5 \cdot 1,8} = 16 \text{ м/с ЮЗ (225}^\circ\text{)}.$$

Прогноз ветра — направление ветра указывается четвертью горизонта; так, если в прогнозе дан ветер юго-западной четверти, то это означает, что в течение срока действия прогноза ожидается ветер от ЮЮЗ до ЗЮЗ направлений. Скорость ветра дается с диапазоном 5 м/с.

Для составления прогноза ветра рекомендуется составить схему развития ветрового режима, которая имеет вид, представленный на рис. 2.5.2. На этой схеме исходные данные на T_c в 00, 06, 09, 12 и 15 ч

выбраны из журнала гидрометеорологических наблюдений, выполненных на корабле, геострофический ветер на $T_c=09$ ч следующих суток вычислен по прогностической карте, а ветер на $T_c=18$ ч следующих суток (в конце срока прогноза) найден экстраполяцией с учетом развития синоптического процесса.

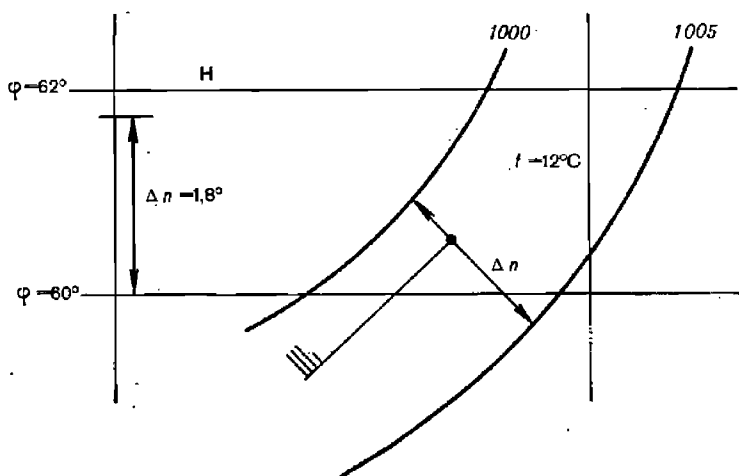


Рис. 2.5.1

При окончательной формулировке прогноза ветра необходимо иметь в виду следующее:

— геострофический ветер не учитывает действия сил трения, поэтому он всегда больше фактического ветра. Следовательно, его можно принять за верхний предел диапазона;

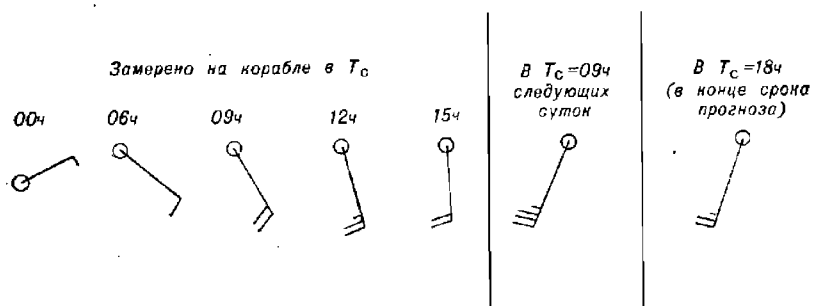


Рис. 2.5.2

— ветер усиливается при нахождении корабля в зоне углубляющегося циклона, о чем будет свидетельствовать неуклонное падение давления;

— ветер в зоне холодного фронта носит шквалистый характер;

— в тыловой части циклона наблюдаются частые усиления ветра в моменты выпадения осадков типа «зарядов»;

— скорость ветра будет больше снятой со схемы развития ветрового режима, если в тылу циклона происходит смена циклонической кривизны изобар на антициклоническую;

— ветер всегда усиливается при переходе с суши на водную поверхность.

Прогноз степени волнения — указывается в диапазоне от 0 до IX баллов и основывается на прогнозе ветра, с учетом продолжительности его действия по направлению и величине разгона (т. е. пути ветра над водой). Если в период действия прогноза ожидается резкое ослабление ветра, то необходимо предусмотреть образование зыби.

Прогноз облачности — основывается на характере, типе и эволюционной направленности фронтальных разделов, располагающихся в районе плавания, и дается как степень покрытия неба облаками, без учета их ярусов.

Прогноз осадков — должен соответствовать прогнозу облачности, поэтому он также базируется на основании фронтальных разделов. Вид осадков (морось, снег, дождь) дается в соответствии с температурой воздуха, а тип (ливневые, обложные, моросящие) — с характером фронта.

Прогноз тумана — основывается прежде всего на климатической повторяемости туманов. Образование тумана следует ожидать в случаях, когда плавание происходит вблизи кромки тающих льдов или в зоне теплого фронта (лежащего в параллельных изобарах), а также при резком потеплении.

Рассеяние тумана, уже существующего к моменту составления прогноза, следует ожидать в случаях, когда по прогнозу ожидается значительное усиление ветра или понижение температуры, а также когда плавание будет происходить в зоне теплого течения.

§ 2.6. ОСНОВНЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ, ВЛИЯЮЩИЕ НА НАВИГАЦИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ

Под физическим полем Земли (или геофизическим полем) понимается пространство, в котором обнаруживается действие определенных сил, связанных с земным веществом, его движением и происходящими в нем процессами.

К числу основных геофизических полей относится гравитационное и магнитное поля. Гравитационное поле Земли, как часто называют поле силы тяжести, является наиболее ощутимым и играет важную роль в деятельности человека. Магнитное поле Земли с давних пор используется для определения направления с помощью магнитной стрелки и также оказывает непосредственное влияние на человека.

Гравитационное поле

С проявлением силы тяжести в повседневной жизни мы сталкиваемся всюду. Орбитальное движение планет в солнечной системе, наличие атмосферы вокруг земного шара, падение тел на Землю, приливные явления на морях и океанах — все это непосредственно связано с действием силы тяжести. Ею же определяется фигура Земли.

Силу тяжести обычно рассматривают как геометрическую сумму двух сил, действующих на точечную массу: силы тяготения к Земле и центробежной силы, развивающейся вследствие вращения Земли вокруг своей оси. Остальные силы (например, притяжение Луны и Солнца) ввиду их малости не учитывают или изучают отдельно как периодические изменения земной гравитации.

В практике для удобства имеют дело не с силой тяжести, а с ускорением, сообщаемым ею свободно падающему телу. В единицах СИ ускорение измеряется в метрах в секунду в квадрате. Однако в гравиметрии пользуются также внесистемной единицей — Гал, названной так в честь Галилео Галилея, впервые исследовавшего законы падения тел. 1 Гал = $1 \text{ см/с}^2 = 0,01 \text{ м/с}^2$. Современные приборы позволяют измерять ускорение свободного падения до тысячных долей гала (мГал) и даже миллионных — (мкГал).

На поверхности Земли ускорение свободного падения убывает в меридиональном направлении от полюсов к экватору в пределах от 983 до 978 Гал (приблизительно на 0,53 %). При удалении от поверхности Земли ускорение свободного падения уменьшается на 0,3 мГал на каждый метр высоты, на морях и океанах — на 0,2 мГал на каждый метр глубины.

Центробежная сила изменяется от нуля на полюсах до 3,4 Гал на экваторе.

Гравитационное поле обладает рядом особенностей, обуславливающих особое внимание к нему. Прежде всего гравитационные силы всепроникающие: для гравитации не существует препятствий — она ничем не экранируется.

Силы гравитации зависят лишь от массы тела, независимо от физической и химической природы притягивающих сил.

В тактическом плане можно сформулировать эти свойства как поле высокой стабильности и абсолютной помехоустойчивости.

Гравитационное поле потенциально: на уровне поверхности потенциал силы тяжести сохраняет свое значение.

Наибольший интерес с точки зрения географического распределения параметров гравитационного поля представляет его аномальная часть. При вычислении аномалий наблюдаемое значение силы тяжести, исправленное за высоту или глубину, а также за влияние промежуточных масс, сравнивается с нормальным значением силы тяжести. Под нормальным значением силы тяжести подразумевается его распределение на модели идеализированной, *нормальной Земли*, масса которой условно принимается одинаковой по плотности. Это позволяет аналитически, в виде *нормальной формулы*, представить зависимость изменения силы тяжести от географической широты. В Советском Союзе пользуются нормальными формулами Гельмерта (1901—1903 гг.) и Кассиниса (1930 г.).

В практической деятельности широко пользуются *аномалиями в свободном воздухе*, когда учитываются изменения силы тяжести только по высоте (глубине), и *аномалиями Буге*, когда учитывают, кроме того, влияние масс, расположенных между точкой наблюдения и уровнем поверхности.

Знание аномалий в свободном воздухе необходимо для уточнения фигуры Земли, расчета уклонов отвесных линий, высоты геоида и других специальных задач. Значения аномалий в свободном воздухе вдали от берегов имеют в среднем порядок 20—30 мГал, но нередко достигают 100 мГал и более.

Знание аномалии Буге необходимо при изучении строения земной коры, разведке полезных ископаемых.

Уклоном отвесной линии является угловая величина, представляющая собой разность между направлением действия силы тяжести (отвесной линией) и нормалью к поверхности эллипсоида. Среднее квадратическое значение уклона отвесной линии 4,5". В отдельных слу-

чаях (особенно вблизи островов) уклонение отвесной линии может достигать 0,5—1,0' и несколько более.

Высотой геоида называют кратчайшее расстояние между геоидом и эллипсоидом по нормали к нему в данной точке. Среднее квадратическое значение превышений геоида над общеземным эллипсоидом 33 м.

Сведения об отклонениях отвесных линий и высотах геоида необходимы для выполнения высокоточных астрономических и геодезических работ, что составляет основной материал для уточнения формы и размеров Земли. Это особенно важно при создании точных морских навигационных и топографических карт.

Неточное знание распределения уклонения отвесных линий на поверхности Земли служит в настоящее время одной из причин, препятствующих дальнейшему повышению точности инерциальной навигации на море. Введение коррекции в работу инерциальной навигационной системы (ИНС) на базе исчерпывающей информации об отклонениях отвесной линии и высоте геоида в сочетании с дальнейшим совершенствованием технических элементов может служить реальным путем к повышению точностных характеристик системы.

Магнитное поле

В первом приближении магнитное поле Земли рассматривается как поле магнитного диполя (большого стержневого магнита), ось которого расположена под углом $11,5^\circ$ к оси вращения Земли. На это глобальное (постоянное) магнитное поле накладывается переменное, изменяющееся во времени. Оно вызывается электрическими токами, текущими в верхних проводящих слоях земной атмосферы, вызывая колебания (вариации) напряженности магнитного поля Земли. Переменное поле, как правило, не превышает 1—2 % величины постоянного поля.

Вариации магнитного поля могут быть вековые, годовые, суточные и возмущенные. Вариации большой интенсивности называют *магнитными бурями*. Частота их появления зависит от солнечной активности. Максимальные значения вариаций всех типов наблюдаются на полюсах и экваторе.

Магнитные аномалии представляют собой области, где магнитное поле Земли заметно отличается от смежных районов, нарушая тем самым правильный монотонный характер напряженности земного магнетизма.

Магнитные силы Земли относятся к слабым силам. Отличительные свойства магнитного поля — отсутствие магнитных зарядов, замкнутость и непрерывность силовых линий. Силовой характеристикой магнитного поля является *магнитная индукция*, которая в СИ измеряется в теслах (Тл) или долях теслы. Раньше представления о напряженности магнитного поля и описания магнитных аномалий выражали во внесистемных единицах — эрстедах (Э) и долях его, гаммах (γ). Для вакуума, в котором напряженность магнитного поля и магнитная индукция совпадают, гамма (10^{-5} Э) эквивалентна ампертесле (10^{-9} Тл).

Напряженность поля в СИ выражается в амперах на метр (А/м). $1 \text{ А/м} = 4\pi \cdot 10^{-3} \text{ Э} = 4\pi \cdot 10^2 \gamma$.

При изучении магнитного поля пользуются элементами *геомагнитного поля*, которые являются по сути своей составляющими полного вектора поля T по осям прямоугольной системы координат: X — северная, Y — восточная, Z — вертикальная. К элементам относятся также магнитное склонение d , магнитное склонение I и проекция H вектора T на горизонтальную плоскость.

Вертикальная плоскость, в которой лежат векторы T и H , является плоскостью магнитного меридиана и служит для определения магнитного пеленга (азимута), магнитного склонения и т. п. *Магнитные меридианы* сходятся в магнитных полюсах Земли, где магнитное inclination $I=90^\circ$.

Местоположения географических и магнитных полюсов на земном шаре не совпадают. *Магнитные полюса* условились именовать одинаково с географическими, хотя по физическим законам магнетизма в северном полушарии располагается южный магнитный полюс, так как магнитные силовые линии входят в него.

Кроме магнитных полюсов, существует понятие *геомагнитных полюсов*, которые рассчитываются как точки, где ось магнитного диполя пересекает земную поверхность.

Напряженность магнитного поля в различных точках Земли неодинакова. Величина вектора T от магнитного экватора ($I=0^\circ$) к магнитным полюсам ($I=\pm 90^\circ$) увеличивается примерно от 0,3 до 0,6 Э. На магнитных полюсах $T=Z$, а на магнитном экваторе $T=H$. Величина вектора Z изменяется от 0,0 Э на магнитном экваторе до 0,6 Э на магнитных полюсах; вектор H соответственно — от 0,3 до 0,0 Э. Магнитное склонение d изменяется от 0° до 180° к востоку или западу.

Магнитное поле Земли по-разному взаимодействует с телами в зависимости от их физических и химических свойств. Магнитные свойства железа и меди, морской и дистиллированной воды заметно отличаются друг от друга. Все тела подразделяются на ферромагнетики, диамагнетики и парамагнетики. *Ферромагнетики* (железо, кобальт, никель, их сплавы) намагничиваются до насыщения уже в слабых полях, обладают *остаточным магнетизмом* и магнитным гистерезисом. Вследствие этого каждый корабль, находясь в магнитном поле Земли, намагничивается и создает собственное магнитное поле, которое при этом изменяется во времени. Магнитное поле корабля отрицательно сказывается на показаниях магнитного компаса и магнитометрических приборов.

Для наглядного представления о распределении элементов магнитного поля Земли составляют карты элементов земного магнетизма. На картах показывают линии равных значений полной силы геомагнитного поля T и ее составляющих Z и H — изодинамы T , Z или H , линии равных значений d — изогоны, равных значений I — изоклины, одинаковых значений векового хода — изопоры. Так как элементы земного магнетизма меняются во времени, то все значения элементов земного магнетизма, отображаемые на картах, относятся к какому-нибудь определенному моменту времени. Обычно для этого принимается середина какого-либо года, т. е. 1 июля, и этот момент называют эпохой. Эпоху приурочивают к году, кратному пяти. Карты составляются в различных проекциях: Меркатора, стереографической, реже равноугольной конической.

Знания элементов магнитного поля Земли необходимы для определения девиации магнитных компасов, регулирования токов в размагничивающих обмотках (РУ) корабля, а также для выполнения некоторых специальных работ.

Глава 3

СРЕДСТВА НАВИГАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ МОРСКИХ И ОКЕАНСКИХ ТЕАТРОВ

§ 3.1. ВИДЫ И НАЗНАЧЕНИЕ СРЕДСТВ НАВИГАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

К средствам навигационного оборудования (СНО) морских и океанских театров в настоящее время принято относить все средства, размещаемые на берегу, на дне моря (океана) и в космосе, служащие для определения координат места корабля, определения поправок навигационных приборов корабля и ограждения судоходных каналов, фарватеров и навигационных опасностей.

По принципу действия, а следовательно, и по характеру принимаемой на корабле информации все средства навигационного оборудования разделяются на:

- зрительные;
- радиотехнические;
- гидроакустические;
- звукооповещательные;
- электромагнитные.

Радиотехнические и гидроакустические СНО иногда в специальной литературе называют электронными.

Все объекты навигационного оборудования, как стационарные, так и плавучие, имеют присвоенные им форму, цвет, характер и характеристику (код) светового сигнала или позывные (для радиотехнических СНО).

Правильное опознание объекта СНО — станции РНС, радиомаяка, маяка, знака, буя или вехи чрезвычайно важно для обеспечения навигационной безопасности плавания. История мореплавания хранит немало примеров, когда неверное опознание объектов СНО служило причиной неправильной оценки обстановки, что приводило к тяжелым авариям и катастрофам.

Видимые с моря форма, окраска, характер и характеристика светового сигнала СНО или позывные радиотехнического СНО должны сверяться с информацией, даваемой на карте и в навигационных пособиях. Характеристика (код) светового сигнала должна проверяться по секундомеру.

Выставляемые на воде на якорях плавучие СНО — буй, баканы и вехи называются плавучими предостерегательными знаками (ППЗ). В отличие от береговых СНО плавучие СНО могут под воздействием гидрометеорологических факторов смещаться со своих штатных мест. По этой причине при определении своего места полагаться на плавучие СНО не рекомендуется. Описание системы плавучих предостерегатель-

ных знаков, принятой в водах СССР, дано в пособии «Описание системы плавучего ограждения в водах СССР. Система МАМС, регион А» (№ 9028).

Все СНО в водах морей СССР, за исключением СНО портовых акваторий и трассы Северного морского пути, находятся в ведении Гидрографической службы ВМФ. Средства навигационного оборудования портовых акваторий находятся в ведении администрации портов, принадлежащих Министерству морского флота или Министерству рыбного хозяйства, а на трассе Северного морского пути — в ведении Гидрографического предприятия Министерства морского флота.

Учитывая большую важность бесперебойного действия всех средств навигационного оборудования, за многие годы выработались принципы его надежного контроля и обслуживания, даже тех его объектов, которые действуют в автоматическом режиме. Для этого участки и районы гидрографической службы флота имеют соответствующие транспортные и ремонтные средства, запасные части и приборы, а также соответствующих специалистов.

Подробное описание СНО дается в издаваемых Главным управлением навигации и океанографии специальных руководствах — *Огни и знаки*. Аналогичные руководства на иностранные воды называются *Огни*. Описание радиотехнических СНО публикуется в руководствах — *Радиотехнические средства навигационного оборудования (РТСНО)*.

На навигационных морских картах условными знаками наносятся все СНО и приводятся сокращенные данные об их характере и характеристиках.

Основное назначение любого стационарного и плавучего навигационного оборудования — обеспечить навигационную безопасность плавания кораблей и судов даже с самым минимальным набором судовых навигационных приборов. Поэтому все обнаруживаемые неисправности СНО (изменение цвета, характера и характеристики огня, положения на местности, механические повреждения или разрушения стационарных сооружений) должны отмечаться в вахтенном журнале и в зависимости от обстановки об этом должно сообщаться по команде или в подразделение гидрографической службы флота.

§ 3.2. ЗРИТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА НАВИГАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

К зрительным — визуально наблюдаемым средствам навигационного оборудования относятся специальные сооружения, конструкции или устройства особой формы и окраски, хорошо видимые и приметные с моря, в большинстве имеющие светотехнические установки для ночного времени и предназначенные для ориентирования или определения координат места кораблей и судов в море, а также для ограждения каналов, фарватеров и навигационных опасностей.

Хорошо видимые с моря приметные, отдельно стоящие здания, мачты, трубы промышленных предприятий, колокольные соборов и церквей и т. п., нанесенные на морские карты, также являются навигационными ориентирами и могут использоваться для определения места.

Морские маяки — капитальные сооружения в виде башни (реже в виде металлической фермы) из железобетона (монолитные или сборные), чугуна или камня, различной высоты в зависимости от высоты берега над уровнем моря и окружающих построек или лесных массивов. На вершине маячной башни на специальной площадке устанавли-

вается застекленное фонарное сооружение, в котором размещаются источник света и оптическая система.

Светооптическая система (источник света и оптическая система) подбирается таким образом, чтобы световой сигнал маяка в ночное время был виден с корабля на расстоянии не менее 10 миль.

Оптические системы светооптической аппаратуры состоят из набора линз, перераспределяющих в пространстве световой поток маячной лампы, размещаемой в фокусе системы, и формируют излучаемый пучок с углом рассеивания в вертикальной плоскости около 6° . Характеристика огня маяка создается вращением светооптического аппарата или включением в сеть питания проблесковых аппаратов, настроенных на требуемые характеристики.

Действие современных маяков отличается высокой надежностью, и, как правило, при маяках проживает личный состав, отвечающий за правильное непрерывное их функционирование. Большинство маяков на побережье СССР электрифицированы и питаются от автономных дизель-генераторов или подключены к государственным линиям электропередачи, имея при этом в качестве резерва и автономные источники электропитания.

Вид типового морского маяка приведен на рис. 3.2.1. Имеются отдельные редкие случаи конструктивного совмещения маячной башни или фонарного сооружения с жилой или служебной постройкой маячного городка.

Маяки размещаются на побережье таким образом, чтобы при подходе с моря к берегу можно было заблаговременно, еще до подхода к мелководью, определить свое место или использовать открывшийся маяк как привод для безопасного подхода к берегу.

В районах с хорошо развитой береговой инфраструктурой, характеризующейся наличием значительного числа портов и портовых пунктов, маяки размещаются так, чтобы при приближении к берегу или при плавании вдоль берега всегда имелась возможность даже при ухудшенной видимости определить место корабля по пеленгам двух-трех маяков.

Дополнительно к сети маяков на побережье создается сеть из светящих и несветящих морских навигационных знаков, имеющих дальность видимости несколько меньшую, чем маяки. Более густая сеть навигационных знаков создается для обеспечения безопасности входа в бухты, порты и гавани.

Светящие морские навигационные знаки представляют собой каменные или железобетонные постройки, а также металлические фермы или деревянные башни высотой обычно около 10—15 м с небольшой площадкой на вершине для установки маячного фонаря и небольшим помещением внутри знака или в специальном контейнере вблизи него для размещения источников питания (сухих элементов или баллонов с ацетиленом) и приборов, управляющих характеристикой огня. В редко посещаемых кораблями и судами местах побережья или где требуется обеспечить плавание лишь в светлое время суток, устанавливаются навигационные знаки без источников световых сигналов.

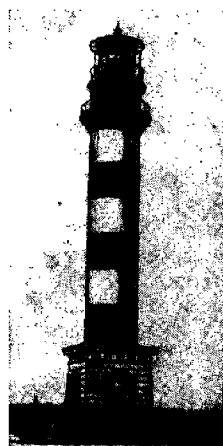


Рис. 3.2.1

Навигационным знакам придают характерную, отличительную от других видимых с моря объектов форму и окрашивают в цвета, резко контрастирующие с окраской окружающего фона. Виды типовых навигационных знаков приведены на рис. 3.2.2 и 3.2.3.

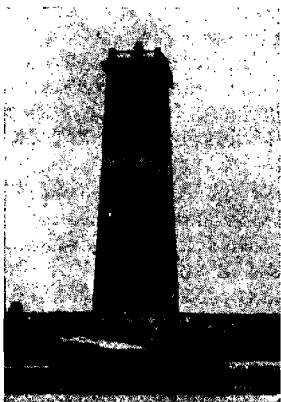


Рис. 3.2.2

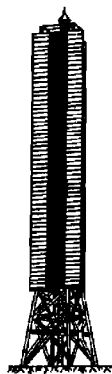


Рис. 3.2.3

Система из двух или трех (редко более трех) маяков, знаков, огней, расположенных на местности в определенном порядке и образующих линию положения (ось створа), называется морским навигационным створом. Навигационные створы являются существенным элементом навигационного оборудования и предназначаются главным образом для обеспечения плавания по прямым отрезкам (коленам) фарватеров или каналов, в шхерах и узкостях, изобилующих навигационными опасностями. Створы позволяют точно удерживать корабль на оси симметрии створной зоны в безопасной полосе водного пространства, определять время поворота на другой курс, предупреждать о приближении к запретным или опасным районам и т. д.

По зрительному восприятию створы можно подразделить на линейные, прицельные, щелевые, перспективные, лучевые и секторные.

В *линейном створе* 2 (редко 3) знака или огня располагаются на одной линии.

В *прицельном и щелевом створах* задний знак (огонь) должен наблюдаться точно посередине или в промежутке между двумя передними знаками (огнями) соответственно.

Перспективный створ (встречается редко) представляет собой систему из двух и более пар знаков, расположенных через равные расстояния так, что ось фарватера проходит посередине между знаками (огнями) и является осью симметрии всей системы.

Лучевой створ — луч прожектора, направленный по оси фарватера под углом $5-10^\circ$ к горизонту и наблюдаемый с корабля в виде вертикального луча света. Наклон луча в сторону свидетельствует об отклонении корабля от оси фарватера. Лазерный луч, направленный по оси фарватера под некоторым углом к горизонту (чтобы проходить выше мостика корабля и других надстроек), образует хорошо видимую световую дорожку над кораблем. В таком створе могут быть и боковые цветные лучи, свидетельствующие об отклонении от оси фарватера.

Ось фарватера может быть отмечена и узким *сектором* белого огня навигационного знака с цветными (красными и зелеными) боковыми секторами.

По своему назначению навигационные створы называют *ведущими*, *поворотными*, *девиационными* и *секущими* (например, на мерной линии).

Чувствительность створов определяется в основном расстоянием между створными знаками и для данного створа она увеличивается по мере приближения корабля к переднему знаку.

Характер и характеристики (или коды) световых сигналов, подаваемых маяками и навигационными знаками, устанавливаются таким образом, чтобы они не повторялись на достаточно большом пространстве побережья.

Сейчас широкое применение получают бесконтактные проблесковые механизмы и электронные проблескаторы, приходящие на смену часовым механизмам. Они позволяют создавать практически неограниченную гамму *характеристик* огней маяков и навигационных знаков. Однако на навигационных знаках и буях еще сохраняются ацетиленовые аппараты с газовыми регуляторами характеристики.

Наибольшее распространение получили следующие типы *характера* световых сигналов маяков и навигационных знаков: постоянный (непрерывный ровный свет), проблесковый (одиночные проблески длительностью меньше длительности затмения), групповой проблесковый (периодически повторяющаяся группа проблесков), затмевающийся (постоянный свет, прерываемый затмениями, длительность которых меньше длительности света), групповой затмевающийся (постоянный свет, прерываемый группой затмений) и др. На плавучих предостерегательных знаках, буях и вехах применяются приборы, создающие частые, очень частые и ультрачастые проблески, которые могут быть прерывистыми, групповыми, а также с длительным проблеском.

Важной отличительной особенностью световых сигналов маяков, навигационных знаков и средств плавучего ограждения является их цвет. В практике навигационного оборудования приняты следующие цвета огней: белый, желтый (скорее, оранжевый), красный, зеленый. Синий цвет применяется очень редко.

Дневная дальность видимости маяков, навигационных знаков и других приметных объектов на берегу и на воде зависит от состояния атмосферы (ее прозрачности), их высоты и фона, на котором они проектируются. Маяки и знаки окрашиваются в цвета, контрастирующие с окружающей их обстановкой. Дальность видимости в море определяется по формуле географической дальности видимости горизонта. Суммарная дальность D_n (в милях) видимости предмета (маяка) с мостика корабля с учетом земной рефракции находится по формуле

$$D_n = 2,08 (\sqrt{h} + \sqrt{e}),$$

где h и e — высоты предмета и глаза наблюдателя, м.

Высоты СНО, указываемые в руководствах и пособиях для плавания, считаются на приливных морях от среднего уровня моря, а на приливных морях — от среднего уровня полных сизигийных вод.

Дальность видимости огней средств навигационного оборудования зависит от силы света и прозрачности атмосферы.

На знаках створов, отмечающих ось фарватера, применяются мощные источники света, а в пониженную видимость ось створа может обозначаться лучом мощного прожектора.

Плавающие маяки — специальные суда резко отличительной окраски с комплексом светооптического, радиотехнического и звукооптического оборудования, постоянно стоящие на якорях в определенных точках. Такие суда имеют специальные якорные устройства, чтобы удерживаться на месте в любую штормовую погоду. Если по каким-либо причинам плавмаяк стоит не на своем штатном месте, то на его мачте поднимается специальный сигнал.

На плавмаяках могут находиться дежурные лоцмана, так как плавмаяки часто выставляются на подходах к фарватерам, ведущим в порты, где лоцманская проводка обязательна.

В последнее время повсеместно заметна тенденция замены плавмаяков на стационарные маячные сооружения на гидротехнических основаниях, примером чего могут служить маяки Таллин и Ирбенский, построенные на банке Таллинамадал в Финском заливе и на банке Михайлова в Ирбенском проливе. В водах СССР в настоящее время сохранился лишь один плавмаяк Астраханский — на Каспийском море.

В зарубежных водах многие плавающие маяки заменяются большими навигационными буями водоизмещением до 100 т и диаметром 10 м, несущими на себе полный комплекс маячного оборудования с системами дистанционного контроля за его работой и положением буя на местности.

§ 3.3. РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА НАВИГАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

К радиотехническим средствам навигационного оборудования (РТСНО) относятся: радиомаяки; радионавигационные системы (РНС), включающие, как правило, несколько наземных опорных радионавигационных станций; радиолокационные пассивные отражатели и радиолокационные маяки-ответчики; береговые автоматизированные радиолокационные системы управления движением судов (АТУДС), имеющие в своей основе несколько береговых радиолокационных станций, связанных системой связи и информации, или посты управления движением судов (ПУДС), имеющие одну береговую радиолокационную станцию; спутниковые навигационные системы, состоящие из навигационных спутников на орбитах и наземных станций, обеспечивающих правильное функционирование всех устройств этих систем.

Радиомаяки могут быть кругового излучения или секторные, позволяющие определять место корабля в море путем измерения направлений (пеленгов) на них с помощью корабельных радиопеленгаторов или приемников.

Радионавигационные системы различаются по назначению, конструкции, способам формирования излучаемых сигналов и методам определения места по этим сигналам. Как правило, каждый тип РНС имеет свой приемник-индикатор, которым осуществляется прием и обработка сигналов станций РНС. В результате получают линию положения в виде номера гиперболы или изостадии согласно нумерации на радионавигационных картах или в специальных таблицах РНС. Многоканальные приемники-индикаторы РНС могут осуществлять одновременно прием сигналов двух или трех станций и в результате их обработки получают место корабля.

Направления на *пассивные радиолокационные отражатели* или *радиолокационные маяки-ответчики*, а также расстояния до них определяются с помощью корабельной РЛС. Проложив на карте измеренные пеленги и расстояния, определяют место корабля.

Береговые АСУДС и ПУДС предназначены для определения места и обеспечения проводки кораблей в районах интенсивного плавания,

в узкостях, на подходных путях и на акваториях портов, а также в условиях плохой видимости.

Приемоиндикаторы *спутниковых навигационных систем* осуществляют прием навигационной информации от навигационных спутников, ее обработку с помощью встроенной ЭВМ и выработку координат места корабля.

Подробно методы определения места с помощью различных РНС рассмотрены в гл. 18—20, а по спутниковой навигационной системе — в гл. 25.

§ 3.4. ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА НАВИГАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

К гидроакустическим средствам навигационного оборудования относятся мощные низкочастотные гидроакустические *маяки-излучатели*, питаемые с береговых энергетических установок и по возможности устанавливаемые на глубинах залегания звукового канала, а также гидроакустические *маяки-ответчики* с автономным питанием, устанавливаемые в морях и океанах на любых глубинах. Дистанция до маяков-ответчиков определяется по времени прохождения в обоих направлениях акустической волны, а направление — корабельными шумопеленгаторными станциями.

Подробно методы определения места с помощью гидроакустических СНО рассмотрены в гл. 17.

§ 3.5. ЗВУКОСИГНАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА НАВИГАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Звукосигнальные средства, применяемые в системе СНО морей, служат лишь для предостережения о приближении к навигационным опасностям и для оценки своего положения относительно этих опасностей.

По принципу действия звукосигнальные установки подразделяются на:

- электромагнитные (наутофоны);
- электродинамические (с одним или несколькими мощными излучателями);
- пневматические (сирены, диафоны, ревуны);
- механические (колокола, гонги).

В качестве береговых звукосигнальных установок наибольшее распространение получили наутофоны, сирены и электродинамические устройства. Только на некоторых береговых маяках еще сохранились колокола и гонги в качестве средства туманной сигнализации, еще реже встречаются пороховые или пневматические пушки.

Дальность слышимости звукосигнальных СНО зависит от:

- звуковой мощности излучателей и их диаграммы направленности;
- условий распространения звука в атмосфере;
- условий приема звуковых сигналов на корабле.

Распространение звука в атмосфере зависит от распределения температуры, влажности, давления, скорости и направления ветра, а условия приема сигналов на корабле — от положения корабля относительно источника звукового сигнала и направления ветра, корабельного шумового фона в месте приема сигналов, а иногда и от высоты наблюдателя над уровнем моря. Звуковой сигнал одной и той же мощности может быть услышан с расстояния в 5 миль и в 1 милю в зависимости от сочетания всех перечисленных выше факторов.

Наиболее благоприятные условия для распространения звуковых сигналов в общем случае имеются при инверсии температуры в приводном слое атмосферы, в туман и при ветре от источника звука в сторону наблюдателя.

Характеристики звуковых сигналов устанавливаются таким образом, чтобы излучатели с одинаковыми характеристиками располагались на расстоянии не менее 30 миль друг от друга, а рядом расположенные звукоцигнальные излучатели имели резко различаемые характеристики.

Направление на источник звука при подаче длительных сигналов определяется со средней квадратической погрешностью порядка 10—15°. На источник коротких звуковых сигналов направление можно определить с погрешностью в пределах 5°. Однако при некоторых гидрометеорологических условиях эти погрешности могут быть в несколько раз большими.

§ 3.6. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ СРЕДСТВА НАВИГАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

К электромагнитным средствам навигационного оборудования относятся системы *ведущего кабеля* для оборудования фарватеров и мерных линий. В состав системы входит проложенный по дну моря кабель, питаемый переменным током от береговой силовой установки, вокруг которого создается переменное электромагнитное поле, и корабельная аппаратура, измеряющая амплитудные и фазовые соотношения электродвижущих сил, наводимых полем кабеля в приемных рамках аппаратуры.

Характер электромагнитного поля кабеля в большой мере определяется электропроводимостью морской воды, которая является функцией солености и температуры. При одной и той же силе тока в кабеле напряженность поля в водах Балтийского моря будет выше, чем в Черном море.

Корабельная приемная аппаратура ведущего кабеля представляет собой индикатор положения корабля относительно кабеля (справа — слева от кабеля) и индикатор направления движения (к кабелю — от кабеля) при подходе к линии проложения кабеля под углом к ней.

Для обозначения характерных точек на линии ведущего кабеля (например, точек поворота и разветвления фарватера) могут устанавливаться гидроакустические отметчики с присвоенными им кодовыми сигналами. Сигналы принимаются корабельной гидроакустической станцией с дистанции в несколько сотен метров.

Одно из достоинств ведущего кабеля как средства навигационного оборудования — это возможность его прокладки по оси фарватера любой конфигурации. На фарватерах, оборудованных ведущим кабелем, требуется соблюдать правила, предусматривающие их охрану от повреждения якорями и буксируемыми у дна или по дну устройствами.

Глава 4

МОРСКИЕ КАРТЫ, РУКОВОДСТВА И ПОСОБИЯ

§ 4.1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОРСКИХ КАРТ, РУКОВОДСТВ И ПОСОБИЙ

Морские карты, руководства и пособия, издаваемые Главным управлением навигации и океанографии Министерства обороны СССР (ГУНиО МО), являются официальными документами, содержащими сведения о навигационно-гидрографических и гидрометеорологических элементах обстановки в районах океанов и морей и прилегающих к ним побережий. Они предназначены для обеспечения боевой и повседневной деятельности ВМФ, а также для решения задач кораблевождения, общего мореплавания и морского промысла.

Аналогичное назначение применительно к некоторым крупным озерам и рекам имеют издаваемые ГУНиО МО карты, руководства и пособия для внутренних водных путей.

К а р т о й называется уменьшенное, обобщенное изображение земной поверхности или ее отдельных участков на плоскости с помощью условных знаков.

При гидрографической и топографической съемке все объекты на поверхности Земли относятся к поверхности эллипсоида. При создании же карты решается задача изображения поверхности эллипсоида на плоскости определенным способом, т. е. по определенным математическим законам. Иногда сжатием Земли пренебрегают и принимают Землю за шар.

Способ изображения поверхности Земли на плоскости называется *картографической проекцией*. В общем виде картографическая проекция определяется двумя уравнениями:

$$\left. \begin{aligned} x &= f_1(\varphi, \lambda); \\ y &= f_2(\varphi, \lambda), \end{aligned} \right\} \quad (4.1.1)$$

где φ и λ — географические координаты точки на земной поверхности; x и y — прямоугольные координаты той же точки на плоскости.

Функции f_1 и f_2 определяют свойства картографической проекции. Изображение системы меридианов и параллелей на карте называется *картографической сеткой*.

В тех случаях, когда Земля принимается за шар, могут использоваться полярные сферические координаты: азимут A и сферический радиус (зенитное расстояние) z . Им соответствуют координатные линии: вертикалы ($A = \text{const}$) и альмукантараты ($z = \text{const}$). Уравнения картографической проекции в сферических координатах имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} x &= f_3(z, A); \\ y &= f_4(z, A). \end{aligned} \right\} \quad (4.1.2)$$

В одной и той же проекции сетка меридианов и параллелей может изображаться по-разному в зависимости от положения полюса Z_0 сферических координат. Картографическая сетка, которая изображается на карте наиболее просто, называется *нормальной сеткой*. Нормальная сетка на карте имеет вид либо двух систем параллельных линий, пересекающихся между собой под углом 90° , либо концентрических окружностей и их радиусов.

Если полюс Z_0 системы полярных сферических координат совпадает с географическим полюсом P_N , то картографическая сетка и проекция называются *нормальными*. Если полюс Z_0 отстоит от географического полюса P_N на 90° , то картографическая сетка и проекция называются *поперечными*. Если же полюс Z_0 отстоит от географического полюса P_N на угол от 0 до 90° , то картографическая сетка и проекция называются *косыми*.

Меридианы и параллели косою и поперечной картографических сеток, как правило, изображаются сложными кривыми линиями. Наиболее удобной для работы с картой является нормальная картографическая сетка.

Основной характеристикой карты в любой проекции является масштаб длины, или просто масштаб. Различают главный и частный масштабы.

Главным масштабом M_0 называется отношение, показывающее, во сколько раз уменьшены линейные размеры земного эллипсоида или шара при изображении его на карте. Главный масштаб указывается в заголовке карты и имеет место в какой-либо точке или на определенной линии на карте.

Вследствие искажений, возникающих при изображении выпуклой поверхности Земли на плоскости, масштаб в других точках отличается от главного и называется частным масштабом M . В общем случае частный масштаб зависит также и от направления. С учетом этих свойств ему можно дать следующее определение: *частным масштабом* называется отношение бесконечно малого отрезка ds на карте к соответствующему отрезку dS на местности

$$M = \frac{ds}{dS}. \quad (4.1.3)$$

Частный масштаб вдоль меридиана обозначается m , а вдоль параллели n . В любой точке проекции частный масштаб по двум определенным взаимно перпендикулярным направлениям имеет экстремальные значения $M_{\max} = a$, $M_{\min} = b$. Эти направления называются *главными направлениями*.

В нормальных картографических проекциях главные направления совпадают с меридианами и параллелями. В косых и поперечных проекциях — с вертикалами и альмукантаратами.

При анализе искажающих свойств картографических проекций главный масштаб M_0 приравнивается к единице. При этом отклонение частного масштаба от единицы характеризует *искажение длин*.

При изображении малых участков поверхности Земли в крупном масштабе искажения малы. В тех случаях, когда они не превышают графической точности ($0,2$ мм), можно принять поверхность Земли за плоскость. Тогда масштаб изображения становится независимым от места и направления, и изображение, в отличие от карты, называется *планом*. Масштабом плана называется отношение конечного отрезка линии s на плане к соответствующему отрезку S на местности

$$M_{\text{пл}} = \frac{s}{S}. \quad (4.1.4)$$

Важной характеристикой карты является также *масштаб площадей*, которым называется отношение бесконечно малой площади на карте к соответствующей площади на местности.

Морские карты, главным содержанием которых являются элементы навигационно-гидрографической обстановки и которые предназначены для обеспечения кораблевождения (судовождения), называются *навигационными морскими картами (НМК)*. Они составляются в различных проекциях и содержат сведения, обеспечивающие навигационную безопасность плавания.

К таким сведениям относятся:

— общегеографические элементы — рельеф и гидрография суши, населенные пункты, границы государств, береговая линия с обозначением характера берегов;

— морские элементы — рельеф дна (глубины, изобаты), характер грунта, навигационные опасности и предупреждения о них, запретные и опасные районы, фарватеры, рекомендованные курсы, зоны разделения движения;

— гидрологические элементы — сведения о течениях и приливах, границы распространения льдов;

— средства навигационного оборудования и естественные навигационные ориентиры — маяки, знаки, буи, вехи, мерные линии, створы, радиомаяки и т. п.;

— магнитное склонение и другие данные о магнитном поле;

— сетки изолиний радионавигационных систем (для радионавигационных карт).

Кроме того, на карту наносятся картографическая сетка и рамка карты с оцифровкой вертикальных и горизонтальных сторон, указываются масштаб, заголовок, год издания и печати карты.

При составлении морских карт точки земной поверхности наносятся относительно опорных пунктов, координаты которых определяются геодезическими методами с высокой точностью.

Морские карты на Мировой океан и моря, омывающие берега СССР и европейских стран, составляются в отечественной системе координат на базе референц-эллипсоида Красовского. На другие иностранные воды — в системе координат, принятой на исходных картографических материалах.

Абсолютные высоты на картах советского побережья указываются от *нуля Кронштадтского футштока* в так называемой Балтийской системе высот.

Отсчетный горизонт, к которому приведены все измеренные глубины, показанные на картах, называется *нулем глубин*. За нуль глубин на советских картах для большинства районов принимается или средний многолетний уровень (в районах с величиной прилива менее 0,5 м), или наинизший теоретический уровень (в районах с величиной прилива более 0,5 м). Для морей Северного морского пути за нуль глубин принят средний навигационный уровень, а в отдельных районах — наинизший теоретический уровень моря; для Каспийского моря — условный уровень; для карт на иностранные воды — уровни, принятые на исходных картографических материалах.

Карта является основным документом, с помощью которого выбирается наиболее удобный и безопасный путь корабля и наглядно отображается его движение. Использование навигационных морских карт в целях обеспечения навигационной безопасности плавания является обязательным. При этом всегда следует использовать карту, изданную по результатам последних гидрографических работ и, как правило, наи-

более крупного масштаба из имеющихся на данный район согласно Каталогу карт и книг.

Однако на картах имеются не все сведения, необходимые штурману для успешного решения задач кораблевождения. Значительная часть их содержится в издаваемых ГУНиО МО морских навигационных руководствах и пособиях, которые включают в себя:

- руководства и пособия для плавания;
- морские гидрометеорологические пособия;
- морские астронавигационные пособия;
- международно-правовые руководства;
- вспомогательные и справочные пособия для мореплавателей.

Морские навигационные руководства и пособия содержат данные, которые в совокупности со сведениями, имеющимися на навигационных морских картах, обеспечивают командира корабля и штурмана навигационно-гидрографической, гидрометеорологической, астронавигационной и другой необходимой информацией.

К руководствам и пособиям для плавания относятся:

- лоции и дополнения к ним;
- огни и знаки (огни);
- радиотехнические средства навигационного оборудования;
- расписания передач навигационных и гидрометеорологических сообщений;
- расписания факсимильных гидрометеорологических радиопередач;
- правила плавания;
- пособие «Океанские пути мира»;
- таблицы радионавигационных систем;
- атласы зон точности определения места с помощью РНС.

Лощия — важнейшее навигационное руководство для плавания. В ней приведены описания навигационно-гидрографических и гидрометеорологических условий плавания в районе, на который она составлена, а также даются правила и рекомендации для плавания в узкостях, портах и гаванях.

К лоции могут издаваться дополнения. В них включаются сведения об изменениях в навигационной обстановке, появившихся после издания лоции.

Огни и знаки издаются на советские воды и содержат сведения о всех штатных средствах навигационного оборудования (СНО), за исключением вех. *Огни* издаются на иностранные воды и содержат сведения о светящихся СНО, за исключением светящихся и несветящихся буев и вех. По каждому объекту СНО приводится: его номер, название, положение на местности и координаты, годы учреждения и модернизации (для СНО на советские воды), цвет, характер и дальность видимости огня, сила света источника (на иностранные воды), описание вида сооружения СНО с указанием его высоты от основания и высоты огня от уровня моря и другие дополнительные сведения.

Радиотехнические средства навигационного оборудования предназначены для обеспечения кораблей и судов сведениями о радиотехнических СНО. Описание содержит сведения об РНС, секторных радиомаяках дальнего действия, морских радиомаяках и аэрорадиомаяках, расположенных на побережье, автоматизированных радиолокационных системах и постах управления движением судов, радиостанциях судов службы погоды. Приводятся данные о расположении радиотехнических СНО, их зонах действия, режимах и времени работы и другие данные, необходимые для использования этих средств в целях навигации.

В расписаниях передач навигационных и гидрометеорологических сообщений и расписаниях факсимильных гидрометеорологических радиопередач приводятся названия радиостанций, их позывные сигналы, районы обслуживания, режим работы, время и содержание передач.

Правила плавания содержат сведения об установленных местными властями и административными органами зарубежных государств правилах, обязательных для кораблей и судов, плавающих в водах этих государств.

Пособие *Океанские пути мира* предназначено для выбора оптимальных путей следования кораблей и судов между наиболее важными портами мира в зависимости от навигационно-гидрографических и гидрометеорологических условий.

Таблицы радионавигационных систем предназначены для построения на навигационных морских картах линий положения для определения места с помощью РНС. Они издаются выпусками, каждый из которых рассчитан на район действия одной пары станций. Большинство таблиц содержит поправки за распространение радиоволн и их изменение от сезона к сезону.

Атласы зон точности определения места с помощью РНС содержат карты-схемы зон ожидаемой точности по каждой цепи РНС, а также поправки за условия распространения радиоволн для пар станций.

Морские гидрометеорологические пособия предназначены для обеспечения кораблей ВМФ и судов гражданских ведомств сведениями об элементах гидрометеорологической обстановки, определяющих условия плавания в водах Мирового океана. К ним, в частности, относятся:

- атласы гидрометеорологических и океанографических параметров;
- комплекты гидрометеорологических карт морей и районов океанов;
- таблицы приливов;
- атласы и таблицы приливных течений;
- атласы опасных и особо опасных гидрометеорологических явлений.

Эти пособия содержат сведения, позволяющие давать общую оценку гидрометеорологического режима в районе плавания в целях планирования предстоящего перехода, получать статистические данные о распределении отдельных гидрометеорологических величин, выбирать или предвычислять значения некоторых элементов (приливов, приливных течений) на заданный момент.

Морские астронавигационные пособия предназначены для обеспечения мореплавателей необходимыми данными и таблицами для определения места корабля в океане (море) астронавигационными способами и решения некоторых частных задач навигации. К ним, в частности, относятся:

- морской астрономический ежегодник (МАЕ);
- таблицы для вычисления высот и азимутов светил (ТВА-57);
- таблицы Высоты и азимуты светил (ВАС-58).

Международно-правовые руководства — официальные издания ГУНиО МО, включающие важнейшие международные соглашения и законодательные акты по вопросам мореплавания. Они включают:

- сборник международных соглашений и законодательных актов СССР по вопросам мореплавания;

— сборник региональных соглашений и законодательных актов зарубежных государств. Состоит из четырех томов: т. I, Европа; т. II, Черное и Средиземное моря; т. III, Африка, Азия, Австралия и Новая Зеландия; т. IV, Северная и Южная Америка.

Вспомогательные и справочные пособия для мореплавателей предназначены для обеспечения мореплавателей необходимыми сведениями и справочными данными, относящимися к плаванию в морях и океанах в целом. К ним, в частности, относятся:

- международные правила предупреждения столкновений судов в море (МППСС);
- международный свод сигналов (МСС);
- сборник основных сведений о ширине и методах отсчета прибрежных морских вод зарубежных государств;
- описание систем навигационного оборудования плавучими предостерегательными знаками;
- описание особенностей судовых огней военных кораблей;
- рекомендации для плавания в районах разделения движения;
- мореходные таблицы (МТ);
- таблицы морских расстояний;
- каталог карт и книг.

В целях систематизации изданий ГУНиО МО, упрощения подбора и переписки по ним введена система адмиралтейских номеров морских руководств и пособий для плавания.

Адмиралтейские номера морских карт состоят из пяти цифр.

Для навигационных морских карт эти цифры имеют следующие значения:

Первая цифра номера обозначает океан или его часть (1—Северный Ледовитый океан; 2—северная часть Атлантического океана; 3—южная часть Атлантического океана; 4—Индийский океан; 5—южная часть Тихого океана; 6—северная часть Тихого океана).

Вторая цифра — масштаб карты (0—1:1 000 000 и мельче, 1—1:500 000; 2—1:300 000... 1:200 000; 3, 4—1:150 000... 1:100 000; 5, 6—1:75 000... 1:25 000; 7—резерв; 8, 9—планы).

Последние три цифры номера карты являются порядковыми номерами в данном море, океане или его части.

Не навигационные морские карты и карты-сетки имеют номера, первой цифрой которых является 9. Вторая цифра обозначает океан или часть его (т. е. играет роль первой цифры номера навигационных карт). Третья цифра номера обозначает масштаб. Последние две цифры номера этих карт являются порядковыми номерами в данном океане или его части.

На картах, которые охватывают весь мир или несколько океанов или имеют скользящую долготную рамку (карты-сетки), второй цифрой номера является ноль.

Адмиралтейские номера *руководств и пособий для плавания* состоят из четырех цифр, обозначающих:

Первая цифра — вид издания (1—лоции; 2—огни и знаки; 3—радиотехнические СНО; 4—руководства и правила плавания; 5—резерв; 6—гидрометеорологические пособия; 7—каталоги; 8—таблицы для определения места по РНС; 9—специальные издания).

Вторая цифра — океан, к которому относится издание (1 — Северный Ледовитый океан; 2 — Атлантический океан; 3 — Индийский океан; 4 — Тихий океан).

Третья и четвертая цифры обозначают порядковый номер этого вида издания на данном театре.

Морские карты, руководства и пособия только в том случае могут отвечать своему назначению, если они верно отражают действительность. Однако под воздействием природных факторов, а также вследствие деятельности человека многие элементы навигационно-гидрографической обстановки изменяются. При этом важнейшие для мореплавания элементы — характер побережья, береговая линия, глубины, навигационные опасности, береговые сооружения и средства навигационного оборудования могут иметь настолько существенные изменения, что морские карты, руководства и пособия без соответствующих исправлений не будут удовлетворять своему назначению.

Поэтому *поддержание на уровне современности морских карт, руководств и пособий* является основной обязанностью командира штурманской боевой части по обеспечению решения всех задач кораблевождения и в особенности навигационной безопасности плавания. Для поддержания карт, руководств и пособий на уровне современности они должны регулярно корректироваться. Вопрос их корректуры рассмотрен в § 9.5.

§ 4.2. КЛАССИФИКАЦИЯ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЕКЦИЙ И КАРТ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В МОРСКОЙ КАРТОГРАФИИ

Назначение и особенности использования карт требуют наличия у них различных свойств. Несовместимость этих свойств в одной карте явилась причиной разработки большого количества отличных друг от друга картографических проекций. Все картографические проекции принято классифицировать по двум признакам:

- по характеру искажений;
- по виду нормальной картографической сетки.

По характеру искажений проекции делятся на равноугольные, равновеликие, равнопромежуточные и произвольные.

В *равноугольных проекциях* сохраняется подобие бесконечно малых фигур. Частные масштабы по всем направлениям в каждой данной точке карты у них одинаковы ($m=n=\text{const}$). В связи с зависимостью масштаба от места на карте фигуры конечных размеров и их площади искажаются. Искажение углов на картах в этой проекции отсутствует.

В *равновеликих проекциях* сохраняется неизменный масштаб площадей, при этом масштабы по главным направлениям отвечают условию $ab=\text{const}$. В них нарушается подобие фигур, искажаются направления и углы. Максимальное искажение углов ω в этих проекциях определяется формулой

$$\sin \frac{\omega}{2} = \frac{a^2 - 1}{a^2 + 1} = \frac{1 - b^2}{1 + b^2}. \quad (4.2.1)$$

В *равнопромежуточных проекциях* сохраняется неизменным масштаб длины по одному из главных направлений, т. е. $a=\text{const}$ или $b=\text{const}$. В этих проекциях максимальное искажение углов ω определяется формулой

$$\sin \frac{\omega}{2} = \frac{1 - b}{1 + b} \quad \text{или} \quad \sin \frac{\omega}{2} = \frac{a - 1}{a + 1}. \quad (4.2.2)$$

Все остальные проекции относятся к *произвольным*.

По виду нормальной картографической сетки проекции делятся на цилиндрические, конические, азимутальные, псевдоцилиндрические, псевдоконические, псевдоазимутальные, поликонические, круговые и производные. В морской картографии используются только первые три группы проекций.

В *цилиндрических проекциях* меридианы и параллели нормальной сетки изображаются в виде двух систем параллельных линий, пересекающихся под углом 90° (рис. 4.2.1).

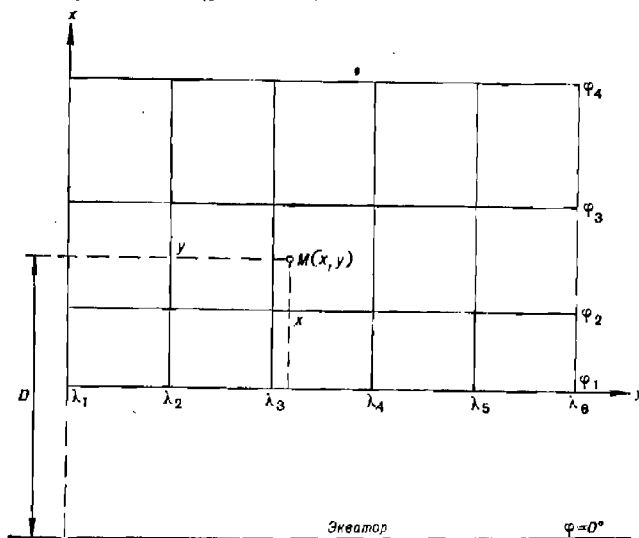


Рис. 4.2.1

Уравнения этих проекций в общем виде:

$$\left. \begin{aligned} x &= f(\varphi); \\ y &= \alpha\lambda. \end{aligned} \right\} \quad (4.2.3)$$

Вид функции $f(\varphi)$ и величина параметра проекции α определяют характер искажений. Поэтому цилиндрические проекции могут быть равноугольными, равновеликими и равнопромежуточными. В зависимости от вида картографической сетки они могут быть нормальными, косыми и поперечными.

Равноугольные нормальная, а также частично поперечная цилиндрические проекции являются основными для составления навигационных морских карт.

В *конических проекциях* параллели нормальной картографической сетки изображаются в виде дуг концентрических окружностей, а меридианы в виде их радиусов, причем углы между ними пропорциональны соответствующим разностям долгот (рис. 4.2.2). Уравнения конических проекций в общем виде:

$$\left. \begin{aligned} \rho &= f(\varphi); \\ \delta &= \alpha\lambda, \end{aligned} \right\} \quad (4.2.4)$$

где ρ и δ — плоские полярные координаты: ρ — полярный радиус, δ — полярный угол.

Так же как и цилиндрические проекции, конические проекции могут быть равноугольными, равновеликими и равнопромежуточными, а также нормальными, косыми и поперечными.

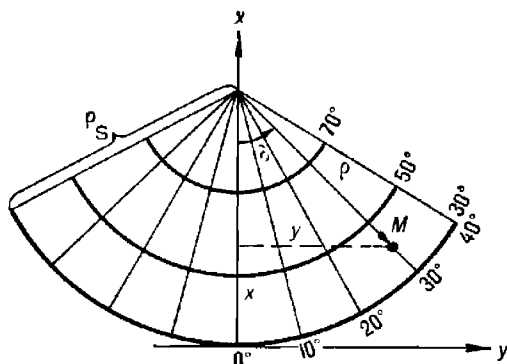


Рис. 4.2.2

Нормальные равноугольные конические проекции могут использоваться для изображения обстановки на большой район океана. Кроме того, они используются для составления аэронавигационных карт. В обоих случаях карты составляются в мелком масштабе 1:1 000 000 и мельче.

В азимутальных проекциях параллели нормальной картографической сетки изображаются в виде концентрических окружностей, а меридианы — их радиусами, причем углы между ними равны соответствующим разностям долгот (рис. 4.2.3). Уравнения их в общем виде:

$$\left. \begin{aligned} \rho &= f(\varphi); \\ \delta &= \lambda. \end{aligned} \right\} \quad (4.2.5)$$

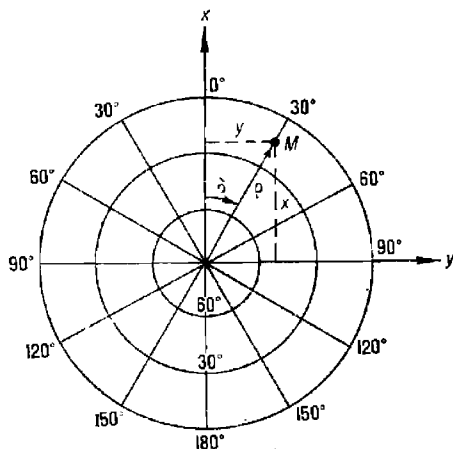


Рис. 4.2.3

Азимутальные проекции используются для изображения полярных областей, для составления карт полушарий в атласах, а также морских специальных и вспомогательных карт. К азимутальной проекции относится гномоническая (§ 30.3).

Морские карты по назначению делятся на три группы:

- навигационные карты;
- специальные карты для ВМФ;
- вспомогательные и справочные карты.

Навигационные карты, в свою очередь, подразделяются на:

- навигационные морские;
- радионавигационные;
- навигационно-гидроакустические;
- навигационно-тактические;
- карты внутренних водных путей.

Навигационные морские карты предназначены для графического решения задач навигации, а также для получения по ним информации о навигационно-гидрографической обстановке, необходимой для деятельности ВМФ и общего мореплавания.

Навигационные морские карты составляются в нормальной равноугольной цилиндрической проекции Меркатора, а на приполюсные районы в широтах более 75° — 80° — в поперечной равноугольной цилиндрической проекции Меркатора. Карты составляются в стандартных масштабах от 1:500 до 1:5 000 000 по стандартным главным параллелям, причем для карт масштабов 1:50 000 и крупнее за главную параллель принимается средняя параллель карты.

По масштабу и назначению навигационные морские карты делятся на:

— *генеральные* (м-ба от 1:5 000 000 до 1:1 000 000), предназначенные для общего изучения условий плавания, выбора маршрута и предварительной прокладки перехода, для навигационной прокладки при плавании в океане;

— *путевые* (м-ба крупнее 1:1 000 000 до 1:100 000 вкл.), предназначенные для плавания как в открытых, так и в прибрежных районах Мирового океана;

— *частные* (м-ба крупнее 1:100 000 и мельче 1:25 000), предназначенные для обеспечения кораблевождения в прибрежных водах с весьма сложными навигационными условиями. Они издаются на отдельные районы: узкости, подходы к устьям рек, входы в бухты, фьорды, подходы к портам;

— *планы* (м-ба от 1:25 000 до 1:500), предназначенные для захода в порты, гавани, рейды и передвижения в пределах этих акваторий.

Радионавигационные карты представляют собой навигационные морские карты с дополнительной нагрузкой в виде сеток изолиний для определения места с помощью радионавигационных систем, а также надписей и пояснений, относящихся к изолиниям. Радионавигационные карты имеют соответствующие индексы, например, предназначенные для определения места по РНС «Омега» — ОМ, по РНС Лоран-А — ЛА, по РНС Лоран-С — ЛС, по РНС «Декка» — ДК и т. п.

Навигационно-гидроакустические карты представляют собой навигационные карты с нанесенной на них сеткой изолиний для определения места с помощью навигационных гидроакустических систем; имеют индекс ГС.

Навигационно-тактические карты представляют собой также навигационные карты с дополнительной нагрузкой, необходимой для обеспечения деятельности кораблей ВМФ.

Карты внутренних водных путей подразделяются на озерные карты, которые по элементам содержания и условным обозначениям не отличаются от навигационных морских карт, и речные, на которых даются изображения рек с их берегами, рельефом дна, навигационным ограждением и другими необходимыми для обеспечения судоходства элементами.

Специальные карты для ВМФ — содержание, проекции, масштаб и нарезка этих карт определяются задачами, для решения которых они предназначаются. К специальным картам, в частности, относятся:

— *обзорные морские карты*, предназначенные для изучения, анализа и оценки обстановки и физико-географических условий на океанских и морских театрах;

— *бланковые морские карты*, являющиеся географической основой для составления различных оперативно-тактических документов, картосхем и т. п.;

— *геофизические морские карты*, главным содержанием которых являются параметры одного или нескольких физических полей Земли;

— *карты морских грунтов*, содержащие сведения о распределении и характере донного грунта;

— *карты с сетками квадратов*, предназначенные для решения задач управления силами ВМФ.

Вспомогательные и справочные морские карты предназначены для специальных графических построений и нанесения сопутствующих данных, а также для получения сведений, недостаточно подробно отраженных или отсутствующих на навигационных морских картах. К таким картам, в частности, относятся:

— *карты-сетки*, представляющие собой сетку параллелей и меридианов нормальной равноугольной цилиндрической проекции Меркатора в масштабах 1 : 150 000—1 : 500 000 на отдельные широтные пояса, предназначенные для ведения навигационной прокладки в открытом море;

— *карты для прокладки ортодромий* (ортодромические карты), предназначенные для прокладки дуг больших кругов;

— *справочно-информационные карты*, представляющие собой морские карты на проливы и узкости с дополнительной нагрузкой (легендой) в виде сведений из руководств и пособий для плавания, необходимых мореплавателям на данный район;

— *карты для спасательных средств* (шлюпочные карты), предназначенные для корабельных спасательных средств и содержащие обобщенные сведения о навигационно-гидрографических и гидрометеорологических условиях плавания;

— *карты часовых поясов*, содержащие границы и номера часовых поясов, а также поправки для перехода от поясного времени к всемирному для различных стран и районов мира;

— *карты с наглядным отображением рельефа дна*, дающие условно перспективное (картинное) изображение рельефа дна; к ним относятся физнографические карты, карты со светотеневым изображением изобат и др.

§ 4.3. НОРМАЛЬНАЯ РАВНОУГОЛЬНАЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКАЯ ПРОЕКЦИЯ МЕРКАТОРА

Большинство навигационных морских карт составляется в нормальной равноугольной цилиндрической проекции Меркатора. Она обладает такими положительными свойствами, как изображение линии курса

(локсодромии) в виде прямой и отсутствие искажений углов. Эти свойства максимально упрощают навигационную прокладку и решение других графических задач на карте. Уравнениями проекции являются:

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{\alpha}{0,4343} \lg \left[\operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \left(\frac{1 - e \sin \varphi}{1 + e \sin \varphi} \right)^{\frac{e}{2}} \right]; \\ y &= \alpha \lambda, \end{aligned} \right\} \quad (4.3.1)$$

где α — постоянная величина (параметр проекции);
 e — эксцентриситет земного эллипсоида.

С помощью уравнений проекции по заданным географическим координатам точки на эллипсоиде или шаре можно вычислить плоские прямоугольные координаты этой точки на карте.

Параметр α обычно приравнивается радиусу r_0 главной параллели, вдоль которой сохраняется главный масштаб M_0 . В частном случае в качестве главной параллели может быть принят экватор. Искажения длин на главной параллели отсутствуют. Они появляются и возрастают с удалением от нее и, следовательно, зависят от широты.

При расчетах картографической сетки и некоторых графических построениях на карте используется меридиональная часть ($MЧ$ или D), которая определяется по формуле

$$D = \frac{\alpha}{0,4343} \lg \left[\operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \left(\frac{1 - e \sin \varphi}{1 + e \sin \varphi} \right)^{\frac{e}{2}} \right]. \quad (4.3.2)$$

Она отличается от первого уравнения проекции (4.3.1) тем, что параметр проекции α приравнен радиусу экватора a . Если выразить a в минутах экватора ($a = 3437,747'$), то получим

$$D = 7915,704 \lg \left[\operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \left(\frac{1 - e \sin \varphi}{1 + e \sin \varphi} \right)^{\frac{e}{2}} \right]. \quad (4.3.3)$$

Меридиональная часть представляет собой расстояние по меридиану от экватора до данной параллели в нормальной равноугольной цилиндрической проекции Меркатора, выраженное в экваториальных минутах, при масштабе на экваторе, равном единице (рис. 4.2.1). Значение меридиональных частей можно выбрать по широте из табл. 26 МТ-75. Для северного полушария меридиональные части имеют знак плюс, для южного — минус. Отрезок меридиана на меркаторской проекции, выраженный в экваториальных минутах, определяется *разностью меридиональных частей* ($PMЧ$ или ΔD) крайних точек отрезка.

Иногда при вспомогательных расчетах или составлении карт мелких масштабов Земля принимается за шар. В этих случаях уравнения проекции и формула меридиональной части принимают вид (если в качестве главной параллели служит экватор):

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{R}{0,4343} \lg \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right); \\ y &= R\lambda; \\ D &= 7915,704 \lg \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right). \end{aligned} \right\} \quad (4.3.4)$$

Меридиональную часть шара нетрудно вычислить по приведенной формуле, но ее можно получить и с помощью таблиц МТ-75. Для этого к выбранной меридиональной части сфероида (табл. 26) следует прибавить поправку, полученную из табл. 27.

Для практического использования навигационной морской карты необходимо четко представлять характер изменения *частного масштаба*. В силу равноугольности проекции масштаб в каждой точке карты по всем направлениям одинаков. Величина его изменяется в зависимости от широты. Следовательно, вдоль каждой параллели он постоянен.

Для нахождения частного масштаба используют модуль параллели. *Модулем параллели* ν называется коэффициент, на который надо умножить главный масштаб, чтобы получить частный, т. е.

$$M = \nu M_0.$$

Он определяется по формуле

$$\nu = \frac{N_0 \cos \varphi_0}{N \cos \varphi}. \quad (4.3.5)$$

Если в качестве главной параллели взять экватор ($N_0 = a$, $\cos 0^\circ = 1$), то модуль параллели

$$\nu = \frac{a}{N} \sec \varphi, \quad (4.3.6)$$

а частный масштаб

$$M = M_0 \frac{a}{N} \sec \varphi. \quad (4.3.7)$$

Учитывая, что отношение a/N изменяется в незначительных пределах (1...0,997), можно сделать вывод, что практически масштаб с изменением широты изменяется пропорционально $\sec \varphi$

$$M \approx M_0 \sec \varphi, \quad C_3 \approx C \sec \varphi. \quad (4.3.8)$$

Следовательно, на картах вблизи экватора частный масштаб мало отличается от главного и изменяется медленно. В высоких широтах он с удалением от главной параллели изменяется быстро. По этой причине на картах в нормальной проекции в высоких широтах очень большие искажения площадей ($p = M^2$). Искажения длин и площадей в высоких широтах настолько велики, что использование проекции становится невозможным. Это очевидно из выражения (4.3.7), из которого видно, что при $\varphi = 90^\circ$ масштаб $M = \infty$.

Знаменатель экваториального масштаба C_3 (формула 4.3.8) можно выбрать по заданному главному масштабу из табл. 33 МТ-75.

На горизонтальных сторонах рамки карты в нормальной проекции Меркатора разбивается шкала долгот в минутах. Поскольку меридианы на карте параллельны между собой, то длины одной минуты всех параллелей, в том числе и экватора, на карте одинаковы. Это позволяет использовать изображение одной минуты параллели e в качестве единицы длины при различных графических построениях. Она получила название единицы карты и как длина одной минуты экватора на карте равна

$$e = \frac{\Delta 1'_3}{C_3} = \frac{a \text{ arc } 1'}{C_3}, \quad (4.3.9)$$

где $\Delta 1'_3$ — длина одной минуты экватора.

Длину одной минуты параллели на карте e можно рассчитать по формуле

$$e = \frac{r \text{ arc } 1'}{C} = \frac{N \cos \varphi \text{ arc } 1'}{C}, \quad (4.3.10)$$

где r — радиус параллели с широтой φ ;

C — знаменатель частного масштаба в широте φ .

Таким образом, *единицей карты* называется длина изображения одной минуты параллели на карте в меркаторской проекции. Обычно ее выражают в миллиметрах.

При расчете длины отрезка S_{Π} любой параллели на карте, ограниченного меридианами с долготой λ_1 и λ_2 , используется формула

$$S_{\Pi} = e (\lambda_2 - \lambda_1)'. \quad (4.3.11)$$

Для расчета отрезка любого меридиана на карте следует единицу карты умножить на разность меридиональных частей концов отрезка D_1 и D_2

$$S_M = e (D_2 - D_1)'. \quad (4.3.12)$$

Вертикальные (боковые) стороны рамки меркаторской карты являются шкалой широты.

Длина изображения одной минуты меридиана на карте в нормальной меркаторской проекции называется *меркаторской милей*. Меркаторская миля σ выражается в миллиметрах и рассчитывается по формуле

$$\sigma = \frac{\Delta 1'_M}{C} = \frac{M \operatorname{arc} 1'}{C}, \quad (4.3.13)$$

где $\Delta 1'_M$ — длина одной минуты дуги меридиана земного эллипсоида; M — радиус кривизны меридиана.

Заменяя числитель значением $\Delta 1'_M$ по формуле (1.2.1) и выражая σ в миллиметрах, получим

$$\sigma = \frac{1000}{C} (1852,23 - 9,34 \cos 2\varphi). \quad (4.3.14)$$

Формула (4.3.14) показывает, что длина меркаторской мили увеличивается с увеличением широты. Поэтому при измерении длин на карте необходимо пользоваться шкалой вертикальной стороны рамки в том диапазоне широт, в котором находится измеряемый отрезок.

Но и в этом случае при измерении расстояний по вертикальной стороне рамки карты допускается методическая погрешность, вызванная тем, что переменная длина одной минуты дуги меридиана на карте (меркаторская миля) принимается постоянной, равной одной морской миле, т. е. 1852 м. Эта погрешность равна

$$\delta = (1852,23 - 9,34 \cos 2\varphi) - 1852 \approx -9,3 \cos 2\varphi. \quad (4.3.15)$$

Следовательно, если на Земле измерено расстояние S в морских милях, то на карте следует отложить S_K меркаторских миль

$$S_K = S + S \frac{9,3 \cos 2\varphi}{1852} = S (1 + 0,005 \cos 2\varphi). \quad (4.3.16)$$

Таким образом,

$$S_K = S (1 + f), \quad (4.3.17)$$

где $f = 0,005 \cos 2\varphi$.

Величину f , умноженную на 100, можно выбрать из табл. 25-6 МТ-75.

Если требуется снятое с карты расстояние S_K в меркаторских милях перевести в морские мили, то используется формула

$$S = \frac{S_K}{1 + f}. \quad (4.3.18)$$

Анализ выражения (4.3.17) показывает, что значение коэффициента f не превышает $\pm 0,005 S$ (плюс — на экваторе, минус — на полюсах), а в средних широтах $f \approx 0$. Поэтому учет поправки за различие в длине изображения на карте морской и меркаторской мили целесообразен только в экваториальной и приполюсных зонах при измерении расстояний в несколько десятков миль.

§ 4.4. ПОПЕРЕЧНАЯ РАВНОУГОЛЬНАЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКАЯ ПРОЕКЦИЯ МЕРКАТОРА

Для плавания в высоких широтах нормальная проекция Меркатора непригодна, так как частный масштаб карты с приближением к полюсу стремится к бесконечности (формула 4.3.8). Наиболее удобной картографической проекцией для обеспечения плавания в высоких широтах является поперечная равноугольная цилиндрическая проекция Меркатора. Она обладает всеми положительными качествами нормальной проекции Меркатора и обеспечивает минимальные искажения длин вблизи географического полюса. В ней используется разновидность полярной сферической системы координат — так называемая *квазигеографическая система координат* (см. § 1.4). Координатная сетка этой системы является поперечной, т. е. ее полюс отстоит от географического полюса на 90° . Вертикалы играют роль меридианов и называются квазимеридианами, альмукантараты — роль параллелей и называются квазипараллелями (рис. 1.4.2). Начальным квазимеридианом в этой системе является северная часть меридиана 0° — 180° . Меридианы с долготой 90° E и 90° W выполняют роль экватора и называются квазиэкватором. Полюса находятся в точках с координатами: квазисеверный полюс $P_{qN} - \varphi = 0^\circ$, $\lambda = 180^\circ$, квазиюжный полюс $P_{qS} - \varphi = 0^\circ$, $\lambda = 0^\circ$.

Положение точки на Земле, которая в этой системе принимается за шар, определяется квазиширотой и квазидолготой.

Квазиширота (φ_q) определяет положение квазипараллели данной точки и отсчитывается от квазиэкватора в сторону квазисеверного (+) и квазиюжного (—) полюса по дуге квазимеридиана от 0 до 90° .

Квазидолгота (λ_q) определяет положение квазимеридиана данной точки и отсчитывается от начального квазимеридиана в восточном полушарии (+) и в западном полушарии (—) по дуге квазиэкватора от 0 до 180° .

Поперечная меркаторская проекция является двойной проекцией: вначале сфероидические координаты точек переводятся в сферические способом равноугольного изображения сфероида на шаре и последние преобразовываются в квазигеографические, после чего с помощью уравнений проекции осуществляется переход к плоским прямоугольным координатам.

Поперечная меркаторская проекция отличается от нормальной проекции тем, что в ней Земля принимается за шар, а квазигеографическая система координатных линий развернута по отношению к географической сетке на 90° . Поэтому ее уравнения могут быть получены из уравнений нормальной меркаторской проекции (4.3.1). Учитывая, что эксцентриситет для Земли — шара $e = 0$, и заменив в них географические координаты на квазигеографические, получим:

$$\left. \begin{aligned} x &= R \ln \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi_q}{2} \right); \\ y &= R \lambda_q. \end{aligned} \right\} \quad (4.4.1)$$

где R — радиус Земли — шара.

Масштаб в этой проекции $m=n=\sec \varphi_q$. Поскольку квазиширота у географического полюса мала ($0 \dots 5^\circ$), то масштаб изображения близок к единице. Это обеспечивает минимальность искажений расстояний.

Для перехода от географических координат к квазигеографическим используются формулы сферической тригонометрии:

$$\left. \begin{aligned} \sin \varphi_q &= -\cos \varphi \cos \lambda; \\ \operatorname{tg} \lambda_q &= \operatorname{ctg} \varphi \sin \lambda. \end{aligned} \right\} \quad (4.4.2)$$

Для обратного перехода применяются формулы:

$$\left. \begin{aligned} \sin \varphi &= \cos \varphi_q \cos \lambda_q; \\ \operatorname{tg} \lambda &= -\operatorname{ctg} \varphi_q \sin \lambda_q. \end{aligned} \right\} \quad (4.4.3)$$

Меридианы в поперечной меркаторской проекции вблизи полюса изображаются практически прямыми, пересекающимися в географическом полюсе, а параллели — эллипсами, близкими к окружности.

Квазипараллели и *квазимеридианы* изображаются прямыми взаимно перпендикулярными линиями, образуя сетку прямоугольников. Поскольку квазимеридианы изображаются параллельными прямыми, то *квазилоксодромия* изображается в виде прямой линии и пересекает меридианы под углом, равным квазипеленгу K_q или квазипеленгу P_q . Локсодромия изображается в виде кривой линии, обращенной выпуклостью к квазиполюсу.

Ортодромия изображается кривой незначительной кривизны, обращенной выпуклостью к ближайшему полюсу. Угол между направлениями квазилоксодромии и ортодромии в данной точке называется *квазиортодромической поправкой* ψ_q . По аналогии с нормальной проекцией Меркатора она определяется по формуле

$$\psi_q = \frac{\Delta \lambda'_q}{2} \sin \varphi_{qcp}, \quad (4.4.4)$$

где $\Delta \lambda'_q = (\lambda_{q2} - \lambda_{q1})'$ — разность квазидолгот концов отрезков ортодромии и локсодромии;

φ_{qcp} — средняя квазиширота.

Так как в приполюсном районе квазиширота φ_q мала, то поправка ψ_q близка к нулю. Расчеты показывают, что в пределах одного листа карты во многих случаях ортодромию можно без ущерба для точности прикладки заменить квазилоксодромией.

Для перевода направлений из квазигеографической системы координат в географическую и обратно используется *угол перехода* к квазинправлениям Q . Из рис. 4.4.1 видно, что угол Q представляет собой разность между истинным курсом IK и квазипеленгом K_q . Для определения угла перехода Q воспользуемся теоремой синусов, применив ее к сферическому треугольнику $MP_N P_{qN}$

$$\frac{\sin Q}{\sin 90^\circ} = \frac{\sin (180^\circ - \lambda)}{\sin (90^\circ - \varphi_q)}$$

или

$$\sin Q = \frac{\sin \lambda}{\cos \varphi_q}. \quad (4.4.5)$$

Учитывая, что у полюса квазиширота достаточно мала, $\cos \varphi_q \approx 1$. Тогда очевидно, что $Q \approx \lambda$. Методическая погрешность при этом составляет

$$\delta Q = Q - \lambda \leq 0,1^\circ.$$

С учетом равенства $Q = \lambda$ из рис. 4.4.1 можно написать:

$$ИК = K_q + \lambda; \quad K_q = ИК - \lambda;$$

$$ИП = П_q + \lambda; \quad П_q = ИП - \lambda,$$

где K_q и $П_q$ — квазикурс и квазипеленг соответственно.

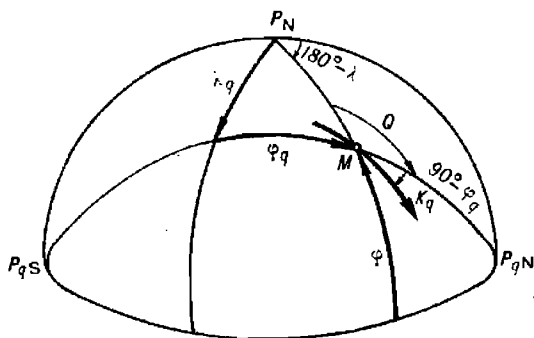


Рис. 4.4.1

В этих формулах следует учитывать знак долготы для восточной *плюс*, для западной — *минус*.

При расчете длин отрезков квазимеридианов S_M и квазипараллелей $S_{П}$ используются те же формулы, что и в нормальной меркаторской проекции:

$$\left. \begin{aligned} S_{П} &= e (\lambda_{q_2} - \lambda_{q_1})'; \\ S_M &= e (D_{N_2} - D_{N_1})'. \end{aligned} \right\} \quad (4.4.6)$$

Однако меридиональные части здесь берутся для шара, а не для эллипсоида. Кроме того, при расчете единицы карты по формуле $e = \rho_0 / C_0$ длина одной минуты параллели шара ρ_0 рассчитывается по формуле

$$\rho_0 = \frac{R_H}{\rho'}, \quad (4.4.7)$$

где R_H — радиус шара, выбранного для равноугольного изображения сфероида на шаре.

На приполюсный район Северного Ледовитого океана издаются карты-сетки в поперечной равноугольной проекции Меркатора обычно в масштабе 1 : 500 000. Нарезка и нумерация карт-сеток показывается на обороте карты.

На каждой карте-сетке красным цветом нанесены квазипараллели и квазимеридианы, а черным цветом — географические меридианы и параллели с двойной оцифровкой красным и зеленым цветом. Двойная оцифровка позволяет использовать карту-сетку в двух районах, симметричных относительно географических меридианов $0^\circ - 180^\circ$ и $90^\circ \text{ E} - 90^\circ \text{ W}$.

Нанесение на карту-сетку точки по квазикоординатам производится так же, как на обычной морской карте. Нанесение точки на карту-

сетку по географическим координатам производится по соответствующей сетке черного цвета интерполированием на глаз или с помощью линейки.

Особенностью карт-сеток является то, что длина l' меридиана на боковой стороне рамки значительно отличается от морской мили. Поэтому при прокладке расстояний следует пользоваться линейным масштабом в морских милях, помещенным на боковом поле рядом с вертикальными сторонами рамки. Здесь же помещен и линейный масштаб в километрах.

На некоторые приполюсные районы Арктического бассейна могут издаваться путевые карты в поперечной равноугольной цилиндрической проекции Меркатора, на которые нанесены глубины, грунты и другая нагрузка, характерная для морских навигационных карт.

§ 4.5. ПОПЕРЕЧНАЯ РАВНОУГОЛЬНАЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКАЯ ПРОЕКЦИЯ ГАУССА

Проекция Гаусса является поперечной равноугольной цилиндрической, т. е. такой же, как и поперечная меркаторская проекция. В ней используется та же поперечная координатная сетка из вертикалов и альмукантаратов, которая изображается на плоскости в виде прямоугольников. Однако в отличие от поперечной проекции Меркатора в проекции Гаусса поверхность земного эллипсоида изображается непосредственно на плоскости (без промежуточного проектирования на шар).

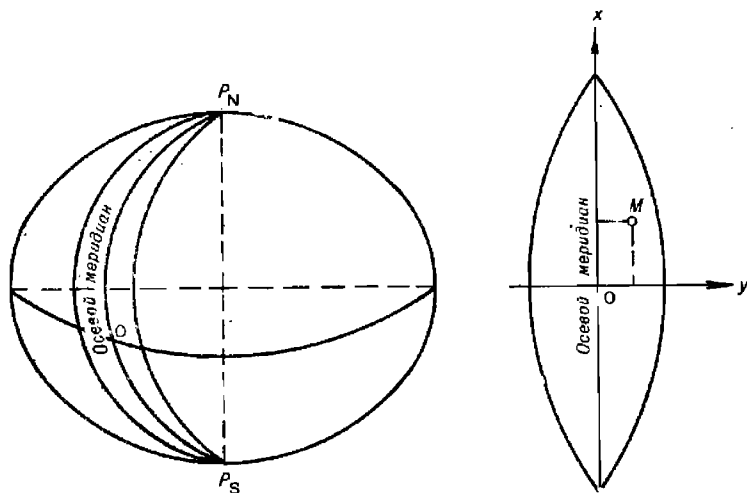


Рис. 4.5.1

Другим отличием ее от проекции Меркатора является то, что изображение поверхности эллипсоида осуществляется шестиградусными зонами. Каждая зона имеет свою обособленную систему координат (рис. 4.5.1). Причем для определения положения точки на эллипсоиде кроме географических координат используются сфероидические прямо-

угольные координаты. Абсцисса X сфероидических прямоугольных координат точки измеряется отрезком дуги осевого меридиана от экватора до геодезической линии, проходящей через точку и пересекающей осевой меридиан под углом 90° (рис. 4.5.2). Ордината Y точки измеряется отрезком геодезической линии (пересекающей осевой меридиан под углом 90°) от осевого меридиана до точки. Обе координаты измеряются в метрах.

Малый круг, плоскость которого параллельна плоскости осевого меридиана, пересекается с меридианом точки под углом γ , который называется сфероидическим сближением меридианов.

Частным случаем сфероидических прямоугольных координат являются сферические прямоугольные координаты. Они могут использоваться в случае, когда допустимо пренебрежение сжатием Земли, и отличаются тем, что в качестве линии ординат Y вместо геодезической линии используется дуга большого круга.

На плоскости проекции положение точки определяется плоскими прямоугольными координатами x, y . Ось абсцисс x является осевой (средний) меридиан зоны, который изображается прямой линией. Ось ординат y — экватор. Для исключения отрицательных ординат y ко всем ординатам прибавляется 500 000 м. Кроме того, перед значением ординаты пишется номер зоны. Например, ордината точки в 12 зоне, лежащей к западу от осевого меридиана, равная $-58\,000$ м, записывается $y = 12\,442\,000$ м, а ордината точки, лежащей к востоку от осевого меридиана, равная $+135\,000$ м, записывается $y = 12\,635\,000$ м.

Счет зон идет от гринвичского меридиана, с которым совпадает западный меридиан первой зоны. Долгота осевого меридиана зоны λ_0 определяется по формуле

$$\lambda_0 = 6N - 3, \quad (4.5.1)$$

где N — номер зоны.

Номер зоны по долготе точки можно определить по формуле

$$N = \left\lfloor \frac{\lambda + 3}{6} \right\rfloor, \quad (4.5.2)$$

где вертикальные линии, ограничивающие правую часть, означают округление ее до ближайшего целого числа.

В пределах шестиградусной зоны искажения длин незначительны и ими, как правило, пренебрегают. В случае крупномасштабных топографических работ с целью уменьшения искажений используют трехградусные зоны.

Как указывалось выше, проекция Гаусса является проекцией сфероида. Однако для вспомогательных картографических расчетов могут

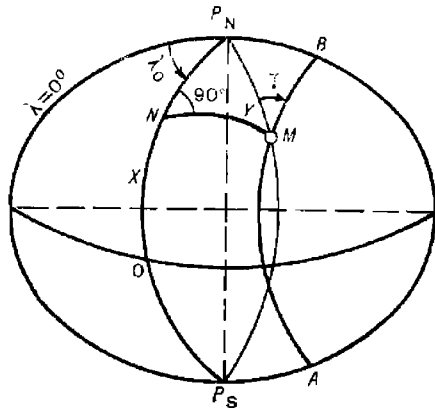


Рис. 4.5.2

использоваться уравнения равноугольной поперечной цилиндрической проекции шара:

$$\left. \begin{aligned} y &= R \ln \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{2} + \frac{Y}{2R} \right); \\ x &= X, \end{aligned} \right\} \quad (4.5.3)$$

где X, Y — сферические прямоугольные координаты точки;
 $R = \sqrt{MN}$ — принятый радиус Земли.

Масштаб такой проекции равен

$$m = n = \sec \frac{Y}{R}. \quad (4.5.4)$$

Уравнения проекции в сфероидических координатах имеют вид степенного ряда

$$\left. \begin{aligned} x &= a_0 + a_2 l^2 + a_4 l^4 + \dots; \\ y &= b_1 l + b_3 l^3 + b_5 l^5 + \dots, \end{aligned} \right\} \quad (4.5.5)$$

где $l = \lambda - \lambda_0$ — разность между долготой точки и долготой осевого меридиана данной зоны;

a, b — коэффициенты, зависящие от широты точки φ .

По формулам (4.5.5) можно вычислить плоские прямоугольные координаты x, y по заданным географическим координатам. Коэффициенты a_i и b_i выбираются по широте из Таблиц для вычисления географических и прямоугольных координат (ТВК). Для удобства расчетов формулы приводятся к виду:

$$\left. \begin{aligned} x &= X + (a_2 10^{-2}) \bar{l}_5^2 + (a_4 10^{-4}) \bar{l}_3^4; \\ y &= (b_1 10^{-1}) \bar{l}_6 + (b_3 10^{-3}) \bar{l}_4^3 + (b_5 10^{-4}) \bar{l}_3^5, \end{aligned} \right\} \quad (4.5.6)$$

где $\bar{l}_i = (\lambda_i - \lambda_0)'' 10^{-4} = l_i' 10^{-4}$;

i — число знаков после запятой, необходимое для получения заданной точности при промежуточных записях.

Для обратного перехода от плоских прямоугольных координат x, y точки к географическим координатам с использованием ТВК применяются следующие рабочие формулы:

$$\left. \begin{aligned} \delta\varphi'' &= (\varphi_0 - \varphi)'' = (A_2 10^{-4}) \bar{y}_6^2 + (A_4 10^{-6}) \bar{y}_3^4; \\ l'' &= (B_1 10^{-3}) \bar{y}_6 + (B_3 10^{-4}) \bar{y}_3^3, \end{aligned} \right\} \quad (4.5.7)$$

где $\bar{y}_i = y_i 10^{-6}$;

i — число знаков после запятой, необходимое для получения заданной точности при промежуточных записях;

φ_0 — сфероидическая абсцисса X , выраженная в угловой мере; выбирается из указанных выше таблиц по заданной абсциссе x .

Коэффициенты A_i и B_i тоже выбираются из таблиц ТВК по широте φ_0 .

Все приведенные формулы дают удовлетворительную точность в пределах одной шестиградусной зоны, т. е. при $l \leq \pm 3^\circ$.

Масштаб проекции Гаусса определяется формулой

$$m = n = 1 + 0,000152 (l^\circ)^2 \cos^2 \varphi. \quad (4.5.8)$$

Прямыми линиями на карте в проекции Гаусса изображаются (рис. 4.5.2):

P_sOP_N — осевой меридиан;

NM — геодезические линии, пересекающие осевой меридиан под углом 90° ;

AMB — эллипсы на поверхности земного сфероид, плоскости которых параллельны плоскости осевого меридиана.

Все эти линии образуют на плоскости проекции сетку квадратов, которая называется сеткой километровых линий, или километровой сеткой.

Меридианы на проекции изображаются изогнутыми линиями, обращенными вогнутой стороной к осевому меридиану (рис. 4.5.3). В силу равноугольности проекции параллели пересекают меридианы под прямым углом. Следовательно, они изображаются кривыми, обращенными выпуклостью в сторону экватора.

Километровые линии x ($y = \text{const}$) пересекаются с меридианами под углом γ , который называется плоским сближением меридианов. Плоское сближение меридианов равно сфероидическому в силу равноугольности проекции (рис. 4.5.4).

Локсодромия на карте в проекции Гаусса изображается кривой линией, обращенной выпуклостью к экватору. Стягивающая ее хорда практически совпадает с ортодромией.

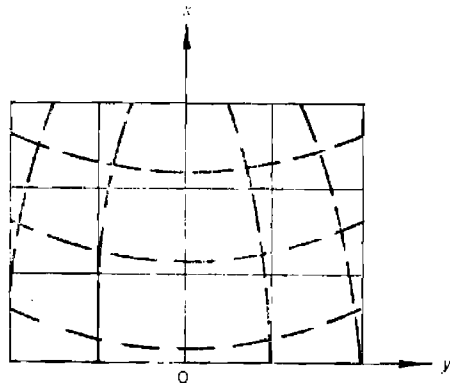


Рис. 4.5.3

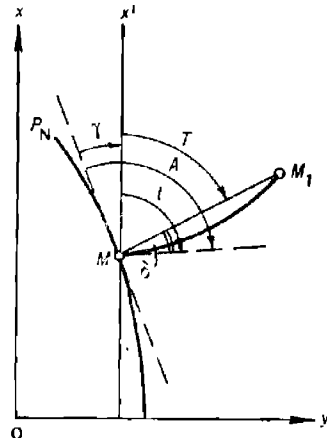
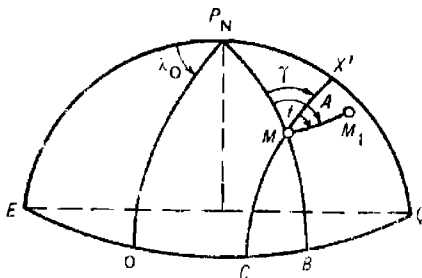


Рис. 4.5.4

Направление на картах (планшетах) в проекции Гаусса удобно измерять дирекционным углом T , т. е. углом между северной частью

линии, параллельной оси x , и прямой линией, соединяющей место наблюдателя M и объекта M_1 . При работе в море для определения направления на ориентир пользуются пеленгом (азимутом). Определим соотношение между дирекционным углом T и азимутом A . На рис. 4.5.4 изображены:

- $P_N B$ — меридиан точки M ;
- $M X'$ — линия пересечения поверхности сфероида плоскостью, параллельной осевому меридиану $P_N O$;
- $M M_1$ — направление по линии кратчайшего расстояния (геодезическая линия);
- A — азимут с точки M на точку M_1 ;
- t, T — сфероидический и плоский дирекционные углы с точки M на точку M_1 ;
- γ — сближение меридианов;
- δ — поправка за кривизну изображения геодезической линии.

Из рисунка видно, что

$$A = T + \gamma + \delta.$$

Величина поправки δ в пределах зоны невелика и поэтому не учитывается. Исходя из этого можно написать

$$A = T + \gamma. \quad (4.5.9)$$

Таким образом, для перехода от азимута к дирекционному углу и обратно необходимо знать величину сближения меридианов. Она определяется по формуле

$$\gamma'' = l'' \sin \varphi = (\lambda - \lambda_0)'' \sin \varphi. \quad (4.5.10)$$

Благодаря таким положительным свойствам, как равноугольность и малые искажения длин, проекция Гаусса нашла широкое распространение в различных областях деятельности. В частности, она применяется при гидрографических исследованиях и навигационно-гидрографическом обеспечении ВМФ. В этой проекции составляются также навигационные речные карты. Километровая сетка этой проекции наносится на морские навигационно-тактические карты.

В процессе использования карт и планшетов возникает необходимость решения таких навигационных задач, как:

- нанесение на карту точек по их прямоугольным координатам;
- снятие с карты прямоугольных координат точек;
- проложение и измерение пеленгов и курсов;
- измерение расстояний.

Первая и вторая задачи решаются обычным порядком по километровой сетке. Если необходимо нанести точки по географическим координатам или снять с карты географические координаты точек, то одновременно на карту (планшет) наносится сетка меридианов и параллелей.

При проложении или измерении пеленга на карте необходимо учитывать связь дирекционного угла и азимута (4.5.9), откуда

$$\begin{aligned} ИП &= T + \gamma; \\ T &= ИП - \gamma. \end{aligned}$$

При этом следует учитывать знак γ — плюс (+) в северо-восточной и юго-западной четвертях зоны и минус (—) в северо-западной и юго-восточной четвертях зоны.

Если корабль следует постоянным курсом, то его путь пройдет по кривой линии (локсодромии) ACB (рис. 4.5.5). Небольшие отрезки

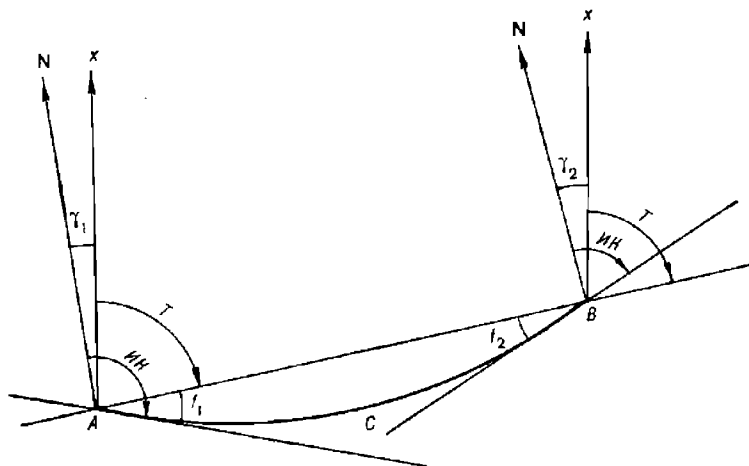


Рис. 4.5.5

локсодромии можно заменить дугами окружности. Тогда углы f_1 и f_2 , которые локсодромия составляет со стягивающей ее хордой, можно считать равными $f_1 = f_2 = f$. Из рисунка видно, что дирекционный угол в точках A и B равен:

$$\left. \begin{aligned} T &= IK - \gamma_1 - f; \\ T &= IK - \gamma_2 + f. \end{aligned} \right\} \quad (4.5.11)$$

Разность равенств (4.5.11) позволяет получить величину угла

$$2f = \gamma_2 - \gamma_1;$$

$$f = \frac{\gamma_2 - \gamma_1}{2}.$$

Подставим полученное значение угла f в первое из выражений (4.5.11). Получим:

$$T = IK - \gamma_1 - \frac{\gamma_2 - \gamma_1}{2} = IK - \frac{\gamma_2 + \gamma_1}{2};$$

$$T = IK - \gamma_{\text{ср}};$$

$$IK = T + \gamma_{\text{ср}}.$$

Изложенное позволяет сделать вывод, что при использовании карт в проекции Гаусса прокладку можно вести точно так же, как и на обычных морских картах в проекции Меркатора, если дирекционные курсы T отсчитывать от положительного направления оси x и вводить в них поправки, равные величине сближения меридианов $\gamma_{\text{ср}}$.

Пройденное или измеренное расстояние прокладывается на карте обычно без изменений, так как разность длины локсодромии и ортодромии является малой величиной третьего порядка.

§ 4.6. ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ДОВЕРИЯ К МОРСКОЙ КАРТЕ И ГРАФИЧЕСКАЯ ТОЧНОСТЬ РЕШЕНИЯ НА НЕЙ НАВИГАЦИОННЫХ ЗАДАЧ

Степень доверия к морской карте определяется точностью отображения на ней навигационно-гидрографической информации, годом ее издания, полнотой нагрузки и масштабом.

Погрешности в положении какой-либо точки на тиражном оттиске карты зависят от масштаба и определяются погрешностями исходных материалов, составительских работ и печати. При этом следует различать погрешности плановой основы карты (картографической сетки и опорных пунктов), погрешности положения контурных точек и погрешности нанесения других элементов нагрузки.

Картографическая сетка на оригиналах морских карт строится весьма тщательно. Средняя квадратическая погрешность положения узловых точек не превышает 0,2 мм. С такой же точностью наносятся опорные пункты и береговые навигационные ориентиры.

На тиражных оттисках из-за деформации бумаги размеры рамок карты могут отличаться от расчетных на 1—2 мм. Поэтому нанесение точек по прямоугольным координатам и снятие их рекомендуется осуществлять не от углов рамки, а от точек пересечения ближайших координатных линий.

Исследования показывают, что положение контурных точек относительно картографической сетки характеризуется средними квадратическими погрешностями порядка 1,0 мм.

Нанесение других видов нагрузки на морские карты производится с меньшей точностью главным образом за счет картографической генерализации.

Важным элементом нагрузки морской карты является рельеф дна, который изображается в виде отметок глубин и изобат.

Точность положения отметок глубин на картах зависит от точности определения места в море гидрографического судна, выполнявшего съемку. На современных картах на прибрежные и морские районы она ориентировочно определяется средней квадратической погрешностью 1,5 мм в масштабе карты. Несколько ниже точность нанесения глубин на карты океанских районов.

Мореплавателю необходимо также учитывать, что и сама глубина имеет погрешность. При измерении глубины современными техническими средствами допускается погрешность не более 1 % от глубины. В связи с тем, что измеренная глубина наносится на карту с погрешностью в ее месте, возникает дополнительная погрешность глубины. Суммарная погрешность нанесенной на карту глубины определяется средней квадратической погрешностью порядка 2 %, а предельная погрешность равна 6 % от глубины.

При определении глубины по карте в промежутке между отметками глубин возникает дополнительная погрешность интерполяции. Она тем больше, чем больше расчлененность рельефа и расстояние между отметками глубин.

Важным критерием при оценке доверия к морской карте является год ее первого издания и источник, по которому она составлена. Карта имеет большую достоверность, если составлена по материалам более поздних гидрографических исследований. При ее составлении используются все современные данные, полученные с помощью новейших технических средств и более совершенными методами.

Полнота нагрузки карты в основном зависит от ее масштаба. Наиболее подробными и достоверными картами одного назначения следует

считать карты наиболее крупного масштаба. При создании карт крупных масштабов предъявляются более высокие требования к точности измерений на местности.

Частота нанесения глубин на карту может служить критерием качества отображения рельефа дна. Следует считать, что в районе, где глубины не нанесены, можно встретить любые малые глубины. Поэтому плавание в районе с «белыми пятнами» сопряжено с опасностью.

Морская карта требует критического подхода к ее изучению с учетом вышеизложенных сведений. Слепое доверие к ней может привести к неверным выводам и даже ошибкам. Если сведения, указанные на карте и приведенные в лоции, не совпадают, предпочтение при прочих равных условиях отдается карте.

При решении навигационных задач на навигационной морской карте следует учитывать точность графических построений. Она зависит в первую очередь от масштаба. Предельно различимый отрезок на бумаге равен 0,2 мм. Линейное расстояние на местности, соответствующее 0,2 мм на данной карте, называется предельной точностью масштаба (ПТМ). Она обычно выражается в метрах. Так как $0,2 \text{ мм} = 0,0002 \text{ м}$, то $\text{ПТМ} = 0,0002C$. Например, для масштаба $1:200\,000$ $\text{ПТМ} = 0,0002 \cdot 200\,000 = 40 \text{ м}$.

Предельная точность масштаба позволяет вычислить погрешности графических построений на карте.

Для нанесения на карту точки по ее географическим координатам или снятия с карты ее координат с помощью параллельной линейки и циркуля используется оцифровка картографической сетки и разбивка рамки на минуты широты и долготы. При этом допускается предельная погрешность до 0,7 мм, что составляет, например, в масштабе $1:200\,000$ 0,8 кбт (140 м).

Если наносить точки по отрезкам параллелей и меридианов, найденным по формулам (4.3.11) и (4.3.12) с использованием для откладывания отрезков масштабной линейки, то можно повысить точность до 0,4 мм. Именно этот способ рекомендуется использовать, когда требуется особо высокая точность нанесения точки на карту (например, нанесение по координатам опорного пункта или навигационного ориентира). Меридиональные части при этом следует выбивать из Картографических таблиц, ибо выборка их из табл. 26 МТ-75 не дает выигрыша в точности, так как меридиональные части даны в них до 0,1'.

Измерение расстояний по карте в милях сопровождается погрешностями, возникающими из-за переменного масштаба карты. Для уменьшения этих погрешностей следует строго придерживаться правил пользования переменным масштабом, а именно, измерять расстояние циркулем-измерителем по шкале вертикальной рамки карты в том диапазоне широт, в котором находится измеряемый отрезок.

Следует учитывать, что при построении картографической сетки карты параллели проводятся через широтные интервалы практически постоянного масштаба. Поэтому при расположении измеряемого отрезка между двумя смежными параллелями карты погрешности из-за изменения масштаба практически отсутствуют.

Предельная случайная погрешность точки, определяющей конец прокладываемого вектора, складывается из погрешности нанесения исходной точки этого вектора и из погрешностей прокладки направления и длины вектора. При использовании штатного прокладочного инструмента предельная погрешность r конца прокладываемого вектора (в миллиметрах) рассчитывается по формуле

$$r = \sqrt{1,25 + (0,0075)^2}. \quad (4.6.1)$$

В табл. 4.5.1 даны погрешности точки r (в кабельтовых) в зависимости от длины вектора S и масштаба карты.

Таблица 4.5.1

Масштаб карты	Длина вектора S на карте, мм				
	100	200	300	400	500
1: 50 000	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0
1: 100 000	0,7	1,0	1,3	1,6	2,0
1: 200 000	1,4	1,9	2,6	3,2	4,0
1: 500 000	3,6	4,9	6,5	8,1	10,0

Предельная погрешность r_{Σ} точки, полученной сложением нескольких векторов r_i , определяется по формуле

$$r_{\Sigma} = \sqrt{r_1^2 + r_2^2 + \dots + r_m^2}. \quad (4.6.2)$$

Приведенные оценки справедливы только при внимательном и аккуратном выполнении графических построений на карте.

Для избежания ошибок все графические построения должны контролироваться обратными или повторными действиями. Так, контроль правильности нанесения точки на карту осуществляется снятием координат нанесенной точки и сравнением их с заданными.

Раздел II

ЭЛЕМЕНТЫ ДВИЖЕНИЯ КОРАБЛЯ И ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОРАБЕЛЬНЫМИ ТЕХНИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ НАВИГАЦИИ

Глава 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ И ПОПРАВОК КУРСУКАЗАТЕЛЕЙ

§ 5.1. СИСТЕМЫ СЧЕТА НАПРАВЛЕНИЙ

Счет направлений может вестись от любого произвольно выбранного начального направления. В кораблевождении за начальные направления принимаются направление меридиана наблюдателя, фиксируемое с помощью курсоуказателей, и направление продольной оси (диаметральной плоскости) корабля.

Системы счета направлений от меридиана наблюдателя называются *географическими*; системы счета направлений от продольной оси корабля, или от диаметральной плоскости корабля, называются *корабельными*.

В зависимости от величины сектора, в котором ведется исчисление направления, системы счета направлений подразделяются на круговую, полукруговую и четвертную.

Круговая система счета — основная в современной навигации.

В *географической круговой* системе счета за начальное направление принимается северная часть меридиана наблюдателя.

В *корабельной круговой* системе счета за начальное направление принимается носовая часть продольной оси (диаметральной плоскости) корабля.

Направления в круговой системе счета отсчитываются от начального направления по ходу часовой стрелки в пределах от 0 до 360°.

Географическая круговая система счета используется в системах курсоуказания и пеленгования. Корабельная круговая система счета используется в приборах зрительного и технического наблюдения, в некоторых системах радиопеленгования, в перископах.

В *полукруговой* системе счета направлений ведется от начального направления в пределах от 0 до 180°.

В *географической полукруговой* системе счета направления отсчитываются как от северной, так и от южной части меридиана наблюдателя в сторону востока или запада. Для исключения неопределенности кроме величины угла указывается наименование части начального меридиана — N или S и сторона увеличения отсчета — E или W. Например (рис. 5.1.1), N 140° E или это же направление: S 40° E.

В *корабельной полукруговой* системе счета направления всегда отсчитываются от носовой части продольной оси (диаметральной плоскости) в сторону правого или левого борта. Например (рис. 5.1.2), 45° пр/б или 160° л/б.

Географическая полукруговая система счета направлений используется в астронавигации, где в северной широте счет направлений ведется от точки N, а в южной — от точки S. Корабельная полукруго-

говая система используется при определении направлений на близлежащие объекты относительно корабля.

Четвертная система счета направлений бывает только географической. В ней счет направлений ведется в пределах от 0 до 90°

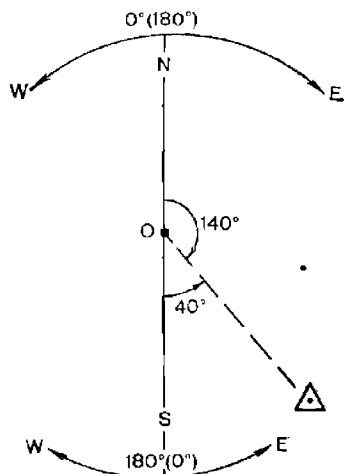


Рис. 5.1.1

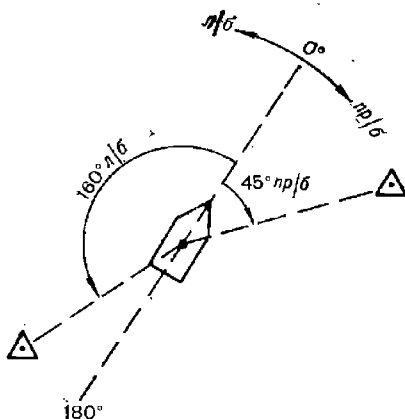


Рис. 5.1.2

от северной или южной части меридиана наблюдателя в сторону востока или запада. Для исключения неопределенности вместе с величиной угла указывается наименование четверти плоскости истинного горизонта, в которой находится данное направление. Например (рис. 5.1.3), NW 52° или SE 85°.

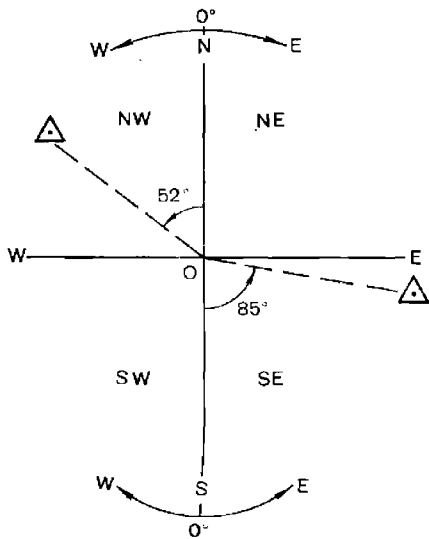


Рис. 5.1.3

Четвертная система счета применяется в морской астронавигации при аналитических расчетах направлений.

В кораблевождении от эпохи парусного флота сохранился старый термин, определяющий направление, — *румб*. Один румб составляет 1/32 часть картушки компаса, т. е. $360° : 32 = 11,25°$. Теперь этот термин чаще используется в обобщающем смысле, т. е. тождествен понятию *направление*.

Переход от одной системы счета к другой осуществляется путем математических операций, основанных на учете старого и нового начальных направлений и пределов счета

направлений в новой системе. Например, направление в четвертном счете SW 60° соответствует направлению $180° + 60° = 240°$ в географиче-

ской круговой системе счета; направление 310° в географической круговой системе счета соответствует направлению $N 50^\circ W$ ($S 130^\circ W$) в географической полукруговой системе счета. Пересчет направлений необходимо производить на основе мысленного или графического моделирования (представления) исходного и искомого направлений.

Географическая система счета направлений определяет два основных понятия в кораблевождении — курс и пеленг.

Курс K — направление продольной оси корабля, измеряемое углом в плоскости истинного горизонта между северной частью меридиана наблюдателя (рассматриваемой точки) и носовой частью продольной оси корабля. Курс отсчитывается в круговой системе счета от 0 до 360° .

Пеленг P — направление на объект (ориентир), измеряемое углом в плоскости истинного горизонта между северной частью меридиана наблюдателя (рассматриваемой точки) и прямой, проведенной с места наблюдателя на объект (ориентир). Пеленг отсчитывается в круговой системе счета от 0 до 360° .

Направление, отличающееся от пеленга на объект на 180° , называется *обратным пеленгом ОП*

$$ОП = P \pm 180^\circ.$$

В зависимости от вида используемого или известного меридиана наблюдателя (точки) различают следующие разновидности курса (пеленга):

— *истинный курс (пеленг) ИК (ИП)* — это курс (пеленг), отсчитываемый от истинного (географического) меридиана наблюдателя;

— *компасный курс (пеленг) КК (КП)* — это курс (пеленг), отсчитываемый от компасного меридиана, т. е. относительно нулевого отсчета, фиксируемого курсоуказателем;

— *гироазимутальный курс $K_{ГА}$* — это курс, отсчитываемый относительно нулевого отсчета шкалы гироскопа;

— *инерциальный курс $K_{инс}$* — это курс, отсчитываемый относительно нулевого отсчета курсоуказателя инерциальной навигационной системы;

— *квазигеографический курс (пеленг) K_q (P_q)* — это курс (пеленг), отсчитываемый относительно квазимеридиана наблюдателя;

— *магнитный курс (пеленг) МК (МП)* — это курс (пеленг), отсчитываемый от магнитного меридиана наблюдателя.

Все направления в корабельной системе счета называют курсовыми углами.

Курсовой угол КУ (q) — это угол в плоскости истинного горизонта между направлением продольной оси (диаметральной плоскости) корабля и направлением на объект.

Курсовой угол отсчитывается в полукруговой или круговой системе счета. Отсчет курсового угла в полукруговой системе счета имеет наименование — *правый борт* или *левый борт*. Курсовому углу правого борта при вычислениях приписывается знак *плюс*, левого борта — *минус*.

Взаимосвязь географической и корабельной систем счета направлений выражается через связь между курсом (пеленгом) и курсовым углом. Непосредственно из рис. 5.1.4 следует:

$$\left. \begin{aligned} P &= K + q; \\ K &= P - q; \\ q &= P - K. \end{aligned} \right\} \quad (5.1.1)$$

Данные формулы алгебраические, т. е. значение курсового угла подставляется в них со своим знаком. Если в результате расчета курсового угла его величина окажется больше 180° , то берется дополнение угла до 360° и знак результата меняется на обратный.

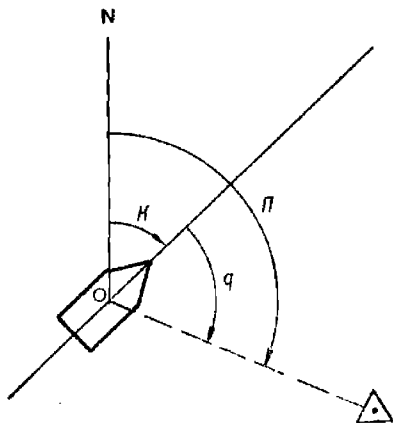


Рис. 5.1.4

Формулы (5.1.1) справедливы для курсов и пеленгов одного вила, если, например, в формулах используется *ИК*, то ему соответствует *ИП*; если используется *КП*, то и курс должен подставляться компасный.

Пример. $ИП = 6,0^\circ$, $q = 30,0^\circ$ пр/б. Определить *ИК*.

Решение: $ИК = ИП - q = 6,0^\circ - (+30,0^\circ) = -24,0^\circ$.

Ответ: $ИК = 360^\circ - 24^\circ = 336,0^\circ$.

Пример. $КК = 265,0^\circ$, $q = 150,0^\circ$ л/б. Определить *КП*.

Решение: $КП = КК + q = 265,0^\circ + (-150,0^\circ) = 265,0^\circ - 150,0^\circ = 115,0^\circ$.

Ответ: $КП = 115,0^\circ$.

Пример. $ИК = 10,0^\circ$, $ИП = 320,0^\circ$. Определить q .

Решение: $q = ИП - ИК = 320,0^\circ - 10,0^\circ = 310,0^\circ$; $360^\circ - 310^\circ = 50^\circ$.

Ответ: $q = -50,0^\circ$ или $q = 50,0^\circ$ л/б.

Курсовой угол 90° любого борта называется траверзом.

Направление, перпендикулярное диаметральной плоскости корабля, называется *траверсным направлением*.

§ 5.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ КУРСУКАЗАТЕЛЕЙ

Для определения направления в море на кораблях используются различные типы курсоуказателей: гирокомпасы (ГК), гироазимуты (ГА), гироскопические курсоуказатели (ГКУ), магнитные компасы (МК), гиромангнитные компасы (ГМК). Направления могут определяться также с помощью инерциальных навигационных систем (ИНС).

Определение направлений с помощью гирокомпаса

Гирокомпасы — это технические системы, определяющие направление относительно меридиана наблюдателя. Работа гирокомпаса основана на использовании свойства гироскопа следить за направлением меридиана в результате прецессии, обусловленной маятниковым эффектом и суточным вращением Земли.

Современные аperiodические гирокомпасы типа «Курс» и «Маяк» имеют следующие технические характеристики:

— время прихода в меридиан 4—6 ч (в зависимости от широты места), ускоренное приведение гирокомпаса в меридиан 0,5—1,0 ч;

— погрешность выработки курса (для вероятности 0,95):

на швартовах — $0,2^\circ$;

при движении корабля постоянными курсом и скоростью (углы качки не превышают 2°) — $0,4 \dots 0,5^\circ$;

при движении корабля постоянными курсом и скоростью (углы качки превышают 2°) — $0,9 \dots 1,0^\circ$;

после циркуляции на 180° при движении со скоростью 20 уз — $1,0 \dots 1,5^\circ$;

при резколерсменном маневрировании — до $4,0^\circ$.

Из приведенных данных следует, что точность выработки направления гиросkompаса зависит от режима движения корабля (от характера маневрирования) и от качки.

Полная погрешность гиросkompаса складывается из систематических и случайных составляющих.

Систематическая постоянная погрешность обусловлена неточностью установки основного прибора гиросkompаса в диаметральной плоскости корабля и неточностью вводимых в скоростной корректор скорости и путевого угла.

Систематическая изменяющаяся по времени погрешность обусловлена воздействием на чувствительный элемент гиросkompаса сил инерции, вызываемых резким маневром — изменением курса или скорости корабля. Эти погрешности называют инерционными. *Инерционная погрешность первого рода* возникает при маневрировании за счет отклонения периода незатухающих колебаний чувствительного элемента гиросkompаса от расчетного. Максимальное значение погрешности наблюдается в момент окончания маневра, а ее затухание происходит в течение 25—30 мин. Инерционная погрешность первого рода частично компенсируется путем автоматической регулировки периода незатухающих колебаний чувствительного элемента. *Инерционная погрешность второго рода* возникает при маневрировании за счет действия сил инерции на жидкость в гидравлическом успокоителе колебаний чувствительного элемента. Эта погрешность достигает своего максимального значения примерно через 25—30 мин после маневра. Для уменьшения инерционной погрешности второго рода в гиросkompасе предусмотрено специальное устройство для выключения успокоителя колебаний чувствительного элемента. Особенно эффективно это устройство при своевременном его включении — до начала маневра.

Случайные погрешности гиросkompаса обусловлены качкой корабля, трением в подвесах гиросмотора, случайным изменением скорости вращения роторов гиросмоторов, неточностью снятия отсчета.

Постоянная систематическая составляющая погрешности учитывается в виде поправки гиросkompаса, а случайная составляющая оценивается в вероятностном смысле.

Из-за наличия погрешностей продольная ось чувствительного элемента гиросkompаса в общем случае отклонена от направления истинного (географического) меридиана в данной точке и фиксирует положение компасного меридиана. В результате с помощью гиросkompаса определяются не истинные, а компасные направления.

Разность истинных и компасных направлений составляет поправку гиросkompаса $\Delta ГК$. Расчет истинных направлений производится по формулам:

$$\left. \begin{aligned} ИК &= K_{ГК} + \Delta ГК; \\ ИП &= П_{ГК} + \Delta ГК. \end{aligned} \right\} \quad (5.2.1)$$

При стоянке корабля в базе или при равномерном движении корабля постоянными курсом и скоростью, когда чувствительный элемент находится в положении равновесия, поправка гиросkompаса $\Delta ГК$ является величиной практически постоянной. При качке или при маневрировании под воздействием сил инерции появляются изменяющиеся по времени систематические погрешности, в результате которых постоянная поправка изменяет свое значение (рис. 5.2.1). После воздействия

сил инерции главная ось чувствительного элемента, совершив колебания (25—45 мин), вновь принимает положение равновесия и поправка гироскопа снова принимает первоначальное постоянное значение.

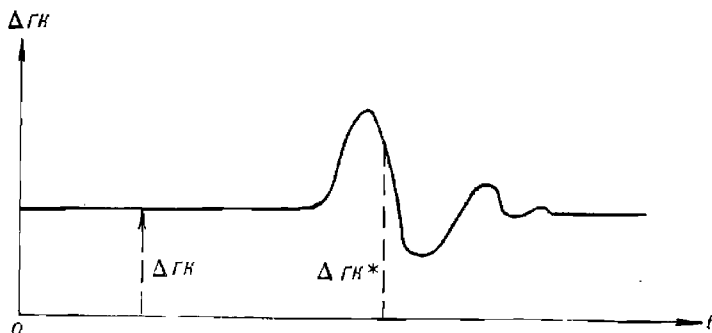


Рис. 5.21

Таким образом, поправка гироскопа, определенная в море, — мгновенная поправка $\Delta ГК^*$ — может отличаться от постоянной поправки $\Delta ГК$, определенной в базе. Величина и знак приращения постоянной поправки гироскопа при маневрировании и на качке зависят от характера маневра и элементов качки. При отсутствии эталонных измерений величина изменения постоянной поправки прогнозируется в вероятностном смысле по результатам предшествующих испытаний гироскопа с данным чувствительным элементом.

Постоянная поправка $\Delta ГК$, определенная в базе, используется для исправления компасных курсов, а поправка $\Delta ГК^*$, определенная в море, — для исправления компасных пеленгов, измеренных в течение короткого интервала времени (до 15 мин), прошедшего после определения мгновенной поправки. Если поправка в море не определялась, то для исправления компасных пеленгов используется постоянная поправка, определенная в базе.

Измеренные с помощью гироскопа пеленги содержат дополнительную погрешность, обусловленную неточностью установки пелоруса в диаметральной плоскости корабля или в плоскости, параллельной диаметральной плоскости, а также неточностью измерения пеленга.

Определение направлений с помощью гироазимута

Гироазимут — это система, предназначенная для сохранения любого заданного азимутального направления. В отличие от гироскопа чувствительный элемент гироазимута не обладает направляющим моментом, позволяющим следить за направлением плоскости меридиана. Главная ось гироскопа гироазимута, будучи установленной по определенному направлению в плоскости горизонта, теоретически должна оставаться в этом направлении вне зависимости от влияния на нее сил инерции, т. е. не реагируя на маневр корабля. Этот факт является основным достоинством гироазимута как курсоуказателя. В плоскости истинного горизонта главная ось чувствительного элемента гироазимута удерживается с помощью горизонтального корректора.

Угловая скорость α_0 изменения направления главной оси гироазимута зависит от скорости суточного вращения Земли ω , от скорости V

перемещения корабля по земной поверхности и от угловой скорости остаточного дрейфа главной оси гироазимута α

$$\dot{\alpha}_0 = \omega \sin \varphi + \frac{1}{R} V \sin \Pi Y \operatorname{tg} \varphi + \dot{\alpha}. \quad (5.2.2)$$

С целью сохранения постоянства направления главной оси гироазимута с помощью специального азимутального корректора вырабатывается принудительное дополнительное движение главной оси с угловой скоростью $\dot{\alpha}'_0 = -\dot{\alpha}_0$. При этом главная ось гироазимута, установленная в плоскости истинного меридиана, будет сохранять это направление. Отсчет направления по шкале гироазимута будет соответствовать курсу корабля.

Известно, что в двух произвольных точках ортодромия пересекает меридианы под углами, отличающимися на угол сближения меридианов $\gamma = \Delta \lambda \sin \varphi_{\text{ср}}$. Скорость изменения этого угла соответствует второму слагаемому выражения (5.2.2). Действительно, принимая $\varphi = \varphi_{\text{ср}}$, имеем

$$\dot{\gamma} = \omega_{\lambda} \sin \varphi = V \sin \Pi Y \sin \varphi / R \cos \varphi = V \sin \Pi Y \operatorname{tg} \varphi / R.$$

Следовательно, если компенсировать только первое слагаемое уравнения (5.2.2), а второе не компенсировать, то направление главной оси гироазимута будет с течением времени изменяться так же, как изменяется угол сближения меридианов, т. е. заданный курс по гироазимуту в каждый данный момент будет соответствовать направлению ортодромии. Это свойство гироазимута используется при плавании корабля по дуге большого круга.

Точность работы гироазимута зависит главным образом от точности выработки азимутальным корректором величины $\dot{\alpha}'_0$. Так как эта величина включает в себя элементы движения корабля V , ΠY и широту места φ , то и точность работы гироазимута определяется погрешностями ввода этих элементов.

Источниками погрешностей гироазимута являются также наклон его главной оси относительно горизонтальной плоскости, смещение центра тяжести гироскопа вдоль его главной оси, отклонение кинетического момента гироскопа от расчетного значения, неполная отбалансированность подвеса и т. п. Характер погрешностей гироазимута определяется характером факторов, формирующих эти погрешности. В общем случае полная погрешность гироазимута содержит случайные и систематические составляющие. Они обуславливают случайный и систематический дрейф главной оси гироазимута. При преобладании случайных погрешностей главная ось гироазимута изменяет свое положение относительно первоначального положения случайным непредсказуемым образом. При преобладании систематических погрешностей дрейф главной оси гироазимута происходит по закону, близкому к линейному. Скорость ухода главной оси от первоначального направления оценивается средней величиной 0,2—0,5 °/ч.

При использовании гироазимута в качестве курсоуказателя его главная ось первоначально по показаниям гирокомпаса устанавливается по направлению истинного (географического) меридиана. В зависимости от режима использования гироазимута истинный курс по показаниям гироазимута рассчитывается следующим образом:

— при плавании по локсодромии (при вводе широтной и скоростной коррекции)

$$ИК = K_{Г_{A_n}} + \Delta GA_0 + \dot{\alpha} (T_i - T_0), \quad (5.2.3)$$

где $K_{Г_{A_n}}$ — локсодромический курс по гироазимуту (т. е. курс, соответствующий направлению локсодромии);

ΔGA_0 — поправка гироазимута, определенная в момент времени T_0 ;

α — скорость систематического изменения поправки за счет остаточного дрейфа главной оси гироазимута;

T_i — момент времени, на который определяется ИК;

— при плавании по ортодромии (без ввода скоростной коррекции)

$$ИК = K_{Г_{A_0}} + \Delta GA_0 + \dot{\alpha} (T_i - T_0), \quad (5.2.4)$$

где $K_{Г_{A_0}}$ — ортодромический курс по гироазимуту (т. е. курс, соответствующий направлению ортодромии).

Если главная ось гироазимута при первоначальной ее установке была отклонена от направления географического меридиана на угол α , то истинный курс рассчитывается по формуле

$$ИК = K_{Г_{A_0}} + \alpha + \dot{\alpha} (T_i - T_0). \quad (5.2.5)$$

При вводе скоростной и широтной коррекции данная формула дает курс для плавания по локсодромии; при вводе только широтной коррекции формула даст курс для плавания по ортодромии.

Определение направлений с помощью двухрежимных гироскопических курсоуказателей

Двухрежимный гироскопический курсоуказатель — это система, работающая в режиме гирокомпаса или в режиме гироазимута.

В режиме гирокомпаса определяется направление географического меридиана и непрерывно автоматически вырабатывается локсодромический курс корабля.

В режиме гироазимута обеспечивается хранение направления меридиана, выработанного в режиме гирокомпаса, или любого другого заданного направления и непрерывная автоматическая выработка направления относительно первоначальной ориентировки главной оси чувствительного элемента.

Гироскопическим курсоуказателям (ГКУ) свойственны положительные качества гирокомпаса — отсутствие систематического дрейфа чувствительного элемента и гироазимута — отсутствие инерциальных погрешностей при маневрировании.

Гирокомпасный режим работы ГКУ имеет два подрежима: подрежим работы с коротким периодом незатухающих колебаний, который используется для приведения ГКУ в меридиан, и подрежим работы с длинным периодом незатухающих колебаний для выработки направлений в любых условиях плавания.

Гироазимутальный режим работы ГКУ также имеет два основных подрежима: один подрежим для плавания по локсодромии, другой — для плавания по ортодромии.

Незначительные инерционные погрешности ГКУ обусловили их широкое использование на кораблях различных классов и в первую очередь на быстроходных кораблях.

Погрешности ГКУ в режиме гирокомпаса несколько меньше, чем в обычном гирокомпасе. Это обусловлено применением принципа косвенного управления чувствительным элементом, при котором вместо чувствительного элемента с маятниковым эффектом используется астатический гироскоп, не подверженный воздействию сил инерции. Компенсация остаточных инерционных погрешностей производится путем увеличения периода незатухающих колебаний до 150—160 мин и демпфированием маятника индикатора горизонта.

Погрешности ГКУ в режиме гироазимута обусловлены главным образом качкой корабля.

Расчет направлений при использовании ГКУ производится по формулам (5.2.1, 5.2.3—5.2.5).

Определение направлений с помощью магнитного компаса

Магнитные компасы на современных кораблях являются резервными курсоуказателями. Принцип их работы основан на использовании свойства свободно подвешенной магнитной пластинки устанавливаться по направлению силовых линий магнитного поля Земли.

Направление силовых линий магнитного поля Земли в данной точке указывает направление магнитного меридиана в этой точке. Магнитные полюса Земли не совпадают с географическими полюсами. Поэтому направление магнитного меридиана в данной точке не совпадает с направлением истинного (географического) меридиана.

Угол в плоскости истинного горизонта наблюдателя между направлениями истинного и магнитного меридианов называется *магнитным склонением* d . Магнитное склонение отсчитывается в географической полукруговой системе счета от северной части истинного меридиана в сторону *Е* и *W* от 0 до 180°. Восточному склонению при расчетах приписывается знак *плюс*, западному — знак *минус*. Информация о магнитном склонении в различных точках Мирового океана указывается на навигационных морских картах.

Магнитное склонение с течением времени (от года к году) изменяется, так как изменяется положение магнитных полюсов Земли. Величина годового изменения магнитного склонения Δd_1 указывается в заголовке карты. Здесь же, кроме того, указывается год, которому соответствует магнитное склонение, обозначенное на карте.

Для приведения магнитного склонения к году плавания к абсолютной величине склонения, указанного на карте, прибавляется (при годовом увеличении склонения) или вычитается (при годовом уменьшении склонения) поправка $\Delta d_n = \Delta d_1 n$, где n — разность лет между годом плавания и годом, которому соответствует склонение на карте, т. е.

$$d = |d_K| \pm \Delta d_n = |d_K| \pm \Delta d_1 n, \quad (5.2.6)$$

где d_K — склонение, указанное на карте.

Под воздействием магнитного поля корабля стрелка магнитного компаса отклоняется от магнитного меридиана на угол δ , называемый *девиацией магнитного компаса*. Направление магнитной стрелки компаса на корабле фиксирует компасный меридиан.

Девиация магнитного компаса δ — это угол в плоскости истинного горизонта наблюдателя между направлениями магнитного и компасного меридианов. Девиация δ отсчитывается в географической полукруговой системе счета от направления северной части магнитного меридиана в сторону *Е* и *W* в пределах от 0 до 180°. Восточной девиации при расчетах приписывается знак *плюс*, а западной — знак *минус*.

Поскольку магнитное состояние корабля зависит от его положения в магнитном поле Земли, то и девиация зависит от курса корабля и от широты плавания.

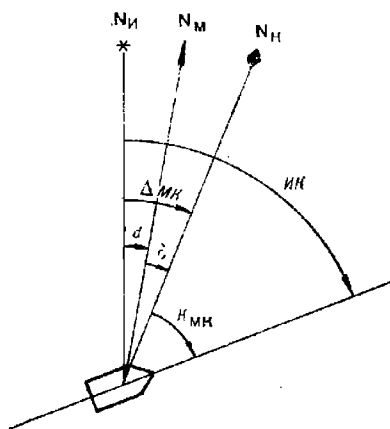


Рис. 5.2.2

$$\Delta МК = d + \delta. \quad (5.2.7)$$

Поправка магнитного компаса рассчитывается на каждом компасном курсе и корректируется по мере изменения склонения.

Для перехода от компасного направления к истинному (исправление направления, измеренного по компасу) используются формулы:

$$\left. \begin{aligned} ИК &= K_{МК} + \Delta МК = K_{МК} + d + \delta; \\ ИП &= П_{МК} + \Delta МК = П_{МК} + d - \delta. \end{aligned} \right\} \quad (5.2.8)$$

Для перехода от истинного направления к компасному (перевод истинного или заданного направления в соответствующее ему компасное направление) используются формулы:

$$\left. \begin{aligned} K_{МК} &= ИК - \Delta МК = ИК - d - \delta; \\ П_{МК} &= ИП - \Delta МК = ИП - d - \delta. \end{aligned} \right\} \quad (5.2.9)$$

Поскольку в данном случае компасный курс (пеленг) является искомой величиной, то в таблицу девиации входят с приближенным аргументом — с магнитным курсом $МК = ИК - d$ и определяют приближенное значение девиации δ' . Затем рассчитывается приближенный компасный курс $K'_{МК} = МК - \delta'$ и по нему из таблицы девиации выбирается новое уточненное значение девиации δ .

Основным достоинством магнитного компаса является простота его устройства и высокая степень автономности и живучести. Главным недостатком магнитного компаса является сравнительно невысокая точность выработки направлений ($0,6-2,5^\circ$). Источниками погрешностей курсоуказания по магнитному компасу являются факторы, определяющие точность определения магнитного склонения и девиации, а также недостаточно высокая чувствительность стрелки магнитного компаса и ее инерционность.

Определение направлений с помощью гиромагнитного компаса

Гиромагнитные компасы — это курсоуказатели, представляющие собой комбинацию гироазимута и магнитного компаса.

Направляющий момент магнитного компаса удерживает ось астатического гироскопа в плоскости компасного меридиана. Колебания магнитных систем датчиков курса на качке и при маневрировании на гироскоп не влияют, и он устойчиво показывает осредненное направление компасного меридиана, определяемое стрелкой магнитного компаса.

При отклонении главной оси гироскопа от направления компасного меридиана к нему прикладывается момент коррекции, возвращающий главную ось в исходное положение.

При отключенной коррекции от магнитного датчика гиромагнитный компас работает в режиме гироазимута.

Компасные направления, вырабатываемые гиромагнитным компасом, переводятся в истинные по общим правилам (формулы 5.2.8).

Достоинством гиромагнитного компаса является его небольшие размеры и малый период прихода системы в меридиан (2—3 мин) после маневра или любого иного возмущения. При отсутствии маневрирования предельная погрешность компасного курса не превышает 2° , на маневрировании — 4° .

§ 5.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПРАВОК КУРСУКАЗАТЕЛЕЙ

Принцип определения поправок любого курсоуказателя ΔK состоит в сравнении компасного направления, измеренного с помощью курсоуказателя, с истинным, или эталонным, направлением

$$\Delta K = IH - KH, \quad (5.3.1)$$

где IH — истинное направление (истинный курс или пеленг);

KH — компасное направление (компасный курс или пеленг).

Средняя квадратическая погрешность поправки курсоуказателя определяется общей формулой

$$m_{\Delta K} = \sqrt{m_{IH}^2 + m_{KH}^2}, \quad (5.3.2)$$

где m_{IH} , m_{KH} — средние квадратические погрешности (СКП) истинного и компасного направлений соответственно.

В зависимости от способа определения истинного направления различают четыре основных способа определения поправок:

- по сравнению пеленгов;
- по створу;
- по сличению курсоуказателей;
- с помощью теодолита.

Способы определения поправок курсоуказателей астрономическими способами изложены в гл. 26.

Определение поправок курсоуказателей по сравнению пеленгов

Применение способа основано на точном знании места корабля (координаты корабля определены по горизонтальным углам или с помощью высокоточной радионавигационной системы ближнего действия) и координат пеленгуемого ориентира.

Сущность способа состоит в пеленговании ориентира с помощью курсоуказателя, поправка которого определяется, и в сравнении полу-

ченного компасного пеленга $KП$ с истинным направлением $ИП$ с корабля на ориентир

$$\Delta K = ИП - KП. \quad (5.3.3)$$

Истинный пеленг (направление A) рассчитывается по формуле (1.6.1). Поскольку точность расчета истинного пеленга зависит от точности координат корабля, то способ чаще всего применяется при определении постоянных поправок курсоуказателей в базе перед выходом корабля в море.

Зависимость средней квадратической погрешности пеленга $m_{ИП}$ от точности места корабля определяется формулой

$$m_{ИП} = 40,5 \frac{M}{D}. \quad (5.3.4)$$

где M — средняя квадратическая погрешность места корабля*;

D — расстояние до ориентира.

Значения $m_{ИП}$ приведены в табл. 5.3.1.

Таблица 5.3.1

M , кбт	Расстояние до ориентира D , мили							
	6	8	10	12	14	16	18	20
0,2	0,13°	0,10°	0,08°	0,07°	0,06°	0,05°	0,05°	0,04°
0,3	0,20	0,15	0,12	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06
0,4	0,27	0,20	0,16	0,13	0,11	0,10	0,09	0,08
0,5	0,34	0,25	0,20	0,17	0,14	0,13	0,11	0,10
1,0	0,67	0,51	0,40	0,34	0,29	0,25	0,22	0,20
2,0	1,35	1,01	0,81	0,67	0,58	0,51	0,45	0,40
3,0	2,02	1,52	1,21	1,01	0,87	0,76	0,67	0,61

С помощью данной таблицы решаются следующие задачи:

— оценивается точность расчета истинного пеленга на ориентир;

— определяется допустимое расстояние до ориентира, обеспечивающее заданную точность расчета истинного пеленга;

— определяется допустимая средняя квадратическая погрешность места, обеспечивающая расчет истинного пеленга с заданной точностью.

Пример. Определить СКП рассчитанного истинного пеленга, если пеленгуемый ориентир находится на расстоянии $D=8,0$ мили, а СКП места корабля $M=0,4$ кбт.

Решение. По $D=8,0$ мили и $M=0,4$ кбт по табл. 5.3.1 определяется искомый результат $m_{ИП} = 0,2^\circ$.

Пример. СКП места корабля $M = 0,4$ кбт. Определить, какое должно быть минимальное расстояние до ориентира, чтобы СКП в истинном пеленге на ориентир не выходила за пределы $m_{ИП} = \pm 0,1^\circ$.

Решение. Из табл. 5.3.1 по $M=0,4$ кбт и $m_{ИП} = 0,1^\circ$ определяется $D \geq 16,0$ мили.

Пример. По условиям выполняемой задачи истинное направление на ориентир ($D = 14$ миль) должно быть известно со средней квадратической погрешностью, не превышающей $m_{ИП} \leq 0,15^\circ$. Определить допустимую СКП места корабля.

Решение. Из табл. 5.3.1 по $D=14$ миль и $m_{ИП} = 0,15^\circ$ (в рабочем поле таблицы) определяем $M \leq 0,5$ кбт.

* В данной книге для оценки точности места корабля употребляется термин *средняя квадратическая погрешность* (для сокращения — СКП) в том же значении, что и термин *радиальная средняя квадратическая погрешность*, указанный в ПШС № 27 и встречающийся в других изданиях по кораблевождению.

При графическом измерении истинного пеленга по карте его точность зависит не только от погрешности в месте корабля, но и от точности измерения пеленга с помощью прокладочного инструмента.

Определение поправки гирокомпаса. Для определения поправки гирокомпаса в базе используется общая формула (5.3.3). С целью уменьшения случайных погрешностей компасного пеленга после прихода гирокомпаса в меридиан производятся многократные измерения пеленгов через каждые 10—15 мин в течение 2,5—3,0 ч. По результатам измерений рассчитывается вероятнейшее значение компасного пеленга

$$КП_{\text{в}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n КП_i \quad (i = 1, 2, \dots, n). \quad (5.3.5)$$

Это значение и подставляется в исходную формулу (5.3.3) для определения постоянной поправки.

Постоянная поправка гирокомпаса в море определяется при равновесном положении чувствительного элемента (при равномерном движении корабля). В момент каждого измерения компасного пеленга выполняется высокоточная обсервация, относительно которой рассчитывается истинный пеленг. Для каждого i -го компасного пеленга рассчитывается соответствующий ему истинный пеленг и поправка компаса $\Delta ГК_i$. Вероятнейшее значение поправки гирокомпаса рассчитывается по формуле

$$\Delta ГК_{\text{в}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta ГК_i. \quad (5.3.6)$$

Средняя квадратическая погрешность постоянной поправки, определяемой в базе, рассчитывается по общей формуле (5.3.2), которая применительно к данному способу приобретает вид

$$m_{\Delta ГК} = \sqrt{m_{\text{ИП}}^2 + m_{\text{КП}_{\text{в}}}^2}. \quad (5.3.7)$$

Величина $m_{\text{ИП}}$ определяется по формуле (5.3.4); СКП вероятнейшего компасного пеленга оценивается приближенной формулой (без учета корреляционной взаимосвязи погрешностей)

$$m_{\text{КП}_{\text{в}}} = m_{\text{КП}} / \sqrt{n}. \quad (5.3.8)$$

При $n \geq 5$

$$m_{\text{КП}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (КП_i - КП_{\text{в}})^2}, \quad (5.3.9)$$

или

$$m_{\text{КП}} = \frac{1}{k \sqrt{n_k}} \sum_{j=1}^k R_j, \quad (5.3.10)$$

где k — количество групп, на которые разбиты все измерения. В каждой группе по n_k измерений ($n_k = 3 \dots 7$);

R_j — размах результатов измерений пеленга в каждой группе;
 $R_j = КП_{\text{max}_j} - КП_{\text{min}_j}$.

При $n < 5$ СКП измерения одного компасного пеленга оценивается априорно

$$m_{\text{КП}} = \sqrt{m_{\text{виз}}^2 + m_{\text{отс}}^2 + m_{\text{дл}}^2 + m_{\text{т}}^2 + m_{\text{д}}^2 + m_{\text{н}}^2}, \quad (5.3.11)$$

где $m_{\text{виз}}$ — СКП визирования ориентира ($0,1-0,2^\circ$);

$m_{\text{отс}}$ — СКП отсчета пеленга по шкале ($0,2^\circ$);

$m_{\text{дл}}$ — СКП выставки репитера гирокомпаса в диаметральной плоскости корабля ($0,2^\circ$);

$m_{\text{т}}$ — СКП трансляции курса от основного прибора ($0,1^\circ$);

$m_{\text{д}}$ — СКП за счет люфта пеленгатора ($0,1-0,3^\circ$);

$m_{\text{н}}$ — СКП за счет наклона пеленгатора ($0,2^\circ$).

Полная СКП одного измерения компасного пеленга составляет $0,3-0,5^\circ$.

Средняя квадратическая погрешность постоянной поправки гирокомпаса, определяемой в море, рассчитывается по формуле

$$m_{\Delta\text{ГК}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (\Delta\text{ГК}_i - \Delta\text{ГК}_n)^2}. \quad (5.3.12)$$

При $n < 5$ и равнооточных наблюдениях

$$m_{\Delta\text{ГК}} = \sqrt{m_{\text{ИП}}^2 + m_{\text{КП}}^2 n}, \quad (5.3.13)$$

где $m_{\text{КП}}$ — априорное значение СКП компасного пеленга, рассчитываемое по формуле (5.3.11).

Средняя квадратическая погрешность мгновенной поправки гирокомпаса, используемой в море, оценивается величиной

$$m_{\Delta\text{ГК}^*} = \sqrt{m_{\Delta\text{ГК}}^2 + m_6^2}, \quad (5.3.14)$$

где $m_{\Delta\text{ГК}}$ — СКП постоянной поправки гирокомпаса;

m_6 — среднее квадратическое значение суммарной баллистической (инерционной) погрешности гирокомпаса ($0,6 \dots 1,7^\circ$).

Таким образом, истинное направление в море с помощью гирокомпаса определяется со средней квадратической погрешностью

$$m_{\text{ИИ}} = \sqrt{m_{\text{КН}}^2 + m_{\Delta\text{ГК}}^2 + m_6^2}. \quad (5.3.15)$$

Среднее статистическое значение этой величины находится в пределах $0,9-1,8^\circ$.

При исправлении поправкой гирокомпаса нескольких компасных пеленгов ее погрешность принимает характер, повторяющийся для этой совокупности пеленгов. Измеренные и исправленные общей поправкой пеленги становятся корреляционно взаимосвязанными. Априорная оценка коэффициента корреляции r рассчитывается по формуле

$$r = m_{\Delta\text{ГК}^*}^2 / (m_{\text{КП}}^2 + m_{\Delta\text{ГК}^*}^2).$$

При отсутствии инерционных погрешностей $m_{\Delta\text{ГК}^*} = m_{\Delta\text{ГК}}$. В этом случае коэффициент корреляции является пренебрежимо малой величиной ($r \approx 0,2$). При наличии баллистических (инерционных) погрешностей величина r находится в пределах $0,3-0,9$.

Определение поправки гироазимута. Поправка гироазимута на момент измерения гироазимутального пеленга $\Pi_{\text{ГА}}$ на ориентир рассчитывается по формуле

$$\Delta\text{ГА} = \text{ИП} - \Pi_{\text{ГА}}. \quad (5.3.16)$$

Средняя квадратическая погрешность этой поправки оценивается величиной

$$m_{\Delta A_0} = \sqrt{m_{\text{ип}}^2 + m_{\text{ПГА}}^2}. \quad (5.3.17)$$

Величина $m_{\text{ип}}$ рассчитывается по формуле (5.3.4). СКП измерения гироазимутального пеленга $m_{\text{ПГА}}$ обусловлена неточностью снятия отсчета по шкале репитера, погрешностью трансляции азимутального курса и погрешностью наведения пеленгатора на ориентир. Полное значение величины $m_{\text{ПГА}}$ составляет 0,05—0,3°.

Поправка гироазимута на любой заданный момент времени T_3 (после последнего определения поправки ΔA_0) прогнозируется с учетом дрейфа главной оси гироазимута по формуле

$$\Delta A = \Delta A_0 + \dot{\alpha} t_3, \quad (5.3.18)$$

где $t_3 = T_3 - T_0$ — разность моментов заданного времени T_3 и времени T_0 , соответствующего последнему определению поправки ΔA_0 ;

$\dot{\alpha}$ — скорость дрейфа (ухода) главной оси гироазимута в горизонтальной плоскости.

Определение скорости ухода $\dot{\alpha}$ производится по изменению поправок ΔA_0 , соответствующих различным моментам времени на интервале 1—5 ч.

При двукратном определении поправок ΔA_{0_1} и ΔA_{0_2} в моменты T_1 и T_2 скорость ухода рассчитывается по формуле

$$\dot{\alpha} = \frac{\Delta A_{0_2} - \Delta A_{0_1}}{T_2 - T_1}. \quad (5.3.19)$$

При многократном (n) определении поправок ΔA_{0_i} через интервалы времени $t_{ij} = T_i - T_j$ скорость ухода рассчитывается по формуле

$$\dot{\alpha} = \frac{\sum^N t_{ij} (\Delta A_{0_i} - \Delta A_{0_j})}{\sum^N t_{ij}^2}, \quad (5.3.20)$$

где $N = n(n-1)/2$ — общее количество интервалов между определениями поправок.

Точность прогнозирования поправки гироазимута ΔA по формуле (5.3.18) оценивается СКП:

$$m_{\Delta A} = \sqrt{m_{\Delta A_0}^2 + t_3^2 m_{\dot{\alpha}}^2}. \quad (5.3.21)$$

При $n=2$ ($\dot{\alpha}$ определяется по формуле 5.3.19) последнее выражение преобразуется к виду

$$m_{\Delta A} = m_{\Delta A_0} \sqrt{1 + 2t_3^2 \dot{\alpha}^2}, \quad (5.3.22)$$

где $t = T_2 - T_1$ — интервал между определениями поправок ΔA_{0_1} и ΔA_{0_2} .

При $n > 2$ ($\dot{\alpha}$ определяется по формуле 5.3.20) СКП поправки ΔA рассчитывается по формуле (5.3.21), в которую подставляется значение $m_{\dot{\alpha}}$, равное

$$m_{\dot{\alpha}} = \sqrt{\frac{\sum^N t_{ij}^2 (\dot{\alpha}_{ij} - \dot{\alpha})^2}{(N-1) \sum^N t_{ij}^2}}. \quad (5.3.23)$$

Для производства расчетов на ПМК используется следующая программа:

В/О	Ф	П	Р	Г					
ИП1	ИП0	—	П4	Fx^2	ИП3	ИП2	—	ИП4	:
П7	×	ИП5	+	П5	ИП4	Fx^2	ИП6	+	П6
ИП4	ИП7	×	Fx^2	ИП8	+	П8	ИП9	1	+
П9	С/П	ИП5	ИП6	:	ПА	ИП8	ИП5	ИПА	×
2	×	—	ИП6	ИПА	Fx^2	×	+	ИП6	ИП9
1	—	×	:	$F\sqrt{}$	ПВ	С/П	(57 шагов)		

ФАВТ.

Реализация программы:

— в ПМК вводятся исходные данные: T_i П1; T_j П0; ΔGA_{0j} П3; ΔGA_{0j} П2; В/О С/П; после ввода каждой серии исходных данных на индикаторе высвечивается номер ввода; всего вводится N серий, число которых равно $N = n(n-1)/2$;

— после ввода последней серии нажимается клавиша С/П и по отработке программы искомый результат высвечивается нажатием клавиш: ИПА \rightarrow α ; ИПВ \rightarrow m_{α} .

Пример. В различные моменты времени определили шесть поправок гироазимута ΔGA_0 . Результаты определений сведены в табл. 5.3.2.

Таблица 5.3.2

N (i, j)	1	2	3	4	5	6
ΔGA_0	+1,0°	+0,9°	+1,6°	+2,0°	+2,9°	+3,5°
T_j (Т ₁)	12 ч 30 мин	13 ч 00 мин	14 ч 12 мин	15 ч 00 мин	16 ч 00 мин	16 ч 54 мин

Рассчитать скорость дрейфа главной оси гироазимута α и ее среднюю квадратическую погрешность m_{α} .

Решение:

— в ПМК вводится первая серия исходных данных $i=2; j=1; T_i=13,0$ П1; $T_j=12,5$ П0; $\Delta GA_{0j}=+0,9$ П3; $\Delta GA_{0j}=+1,0$ П2; В/О С/П; после отработки программы на индикаторе высветится цифра 1;

— вводится вторая серия исходных данных $i=3; j=1; T_i=14,2$ П1; $\Delta GA_{0j}=+1,6$ П3 (значения T_j и ΔGA_{0j} прежние); В/О С/П; после отработки программы на индикаторе высветится цифра 2;

— аналогичным образом вводятся все остальные данные в том сопряжении номеров i и j , которое указано в вертикальных колонках табл. 5.3.3.

Таблица 5.3.3

i	4	5	6	3	4	5	6	4	5	6	5	6	6
j	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	4	4	5

Всего вводится $N = 15$ серий;

— после ввода последней серии исходных данных нажимается клавиша С/П.

Ответ. После отработки программы получим: ИПА $\rightarrow \dot{\alpha} = 0,6004$ °/ч; ИПВ $\rightarrow m_{\dot{\alpha}} = 0,0302$ °/ч.

Вероятнейшие значения поправки гироазимута ΔGA_0 на момент T_n и значение скорости дрейфа можно определить методом наименьших квадратов непосредственно по серии поправок ΔGA_{0i} без расчета частных (единичных) значений $\dot{\alpha}_i$. На основании применения этого метода к обработке n поправок ΔGA_{0i} , соответствующих различным интервалам времени $t_i = T_n - T_i$, где T_n — момент определения последней поправки, можно получить:

$$\left. \begin{aligned} \Delta GA_0 &= (\sum \Delta GA_{0i} \sum t_i^2 - \sum \Delta GA_{0i} t_i \sum t_i) / [n \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2]; \\ \dot{\alpha} &= (-n \sum \Delta GA_{0i} t_i + \sum t_i \sum \Delta GA_{0i}) / [n \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2]. \end{aligned} \right\} (5.3.24)$$

Точность этих величин характеризуется следующими средними квадратическими погрешностями:

$$\left. \begin{aligned} m_{\Delta GA_0} &= m_1 \sqrt{\frac{\sum t_i^2}{n \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2}}; \\ m_{\dot{\alpha}} &= m_2 \sqrt{\frac{1}{n \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2}}, \end{aligned} \right\} (5.3.25)$$

где

$$m_1 = \sqrt{\frac{\sum (\Delta GA_{0i} - \Delta GA_0 + \dot{\alpha} t_i)^2}{(n-2)}}. \quad (5.3.26)$$

Расчет по этим формулам производится с помощью ПМК по следующей программе:

В/О	ФПРГ								
ИП1	ИП3	+	П3	ИП2	Фх ²	ИП4	+	П4	ИП1
ИП2	×	ИП5	+	П5	ИП2	ИП6	+	П6	ИП1
Фх ²	ИП8	+	П8	ИП7	1	+	П7	С/П	ИП3
ИП4	×	ИП5	ИП6	×	-	ИП4	ИП7	×	ИП6
Фх ²	-	П9	:	ПА	ИП6	ИП3	×	ИП5	ИП7
×	-	ИП9	:	ПВ	ИП8	ИПВ	Фх ²	ИП4	×
+	ИП7	ИПА	Фх ²	×	+	ИП5	ИПА	ИП6	×
-	ИПВ	×	ИПА	ИП3	×	-	2	×	+
ИП7	2	-	:	ПО	ИП4	×	ИП9	:	Ф√ ⁻
ПС	ИПО	ИП7	×	ИП9	:	Ф√ ⁻	С/П	(98 шагов)	

ФАВТ.

Реализация программы:

— после определения всех n поправок гироазимута ΔGA_{0i} в ПМК последовательно вводятся следующие данные: ΔGA_{0i} ; П1; $t_i = (T_n - T_i)$; П2; В/О С/П; в результате отработки программы каждого ввода на индикаторе высвечивается номер поправки i ;

— после ввода всех n поправок (на индикаторе число, соответствующее n) нажимается клавиша С/П. После отработки программы на индикаторе высвечивается $m_{\dot{\alpha}}$, а значения других искомых величин получим нажатием клавиш: ИПА $\rightarrow \Delta GA_0$; ИПВ $\rightarrow \dot{\alpha}$; ИПС $\rightarrow m_{\Delta GA_0}$.

Пример. По исходным данным предыдущего примера определить вероятнейшее значение поправки гироазимута на момент последнего измерения гироазимутального пеленга на ориентир, скорость дрейфа и их средние квадратические погрешности.

Решение:

- рассчитываются интервалы $t_i = T_n - T_i$; $t_1 = 4,4$ ч; $t_2 = 3,9$ ч; $t_3 = 2,7$ ч; $t_4 = 1,9$ ч; $t_5 = 0,9$ ч; $t_6 = 0$;
- в ПМК последовательно вводятся исходные данные (ΔGA_0 , и t_i); В/О С/П;
- после ввода всех поправок (на индикаторе число n) нажимается клавиша С/П.

О т в е т. После отработки программы с индикатора списывается значение $m_{\alpha} = 0,05666^\circ/\text{ч}$ и высвечиваются, нажатием клавиш: ИПА $\rightarrow \Delta GA_0 = 3,3642824^\circ$; ИПВ $\rightarrow \dot{\alpha} = 0,6004^\circ/\text{ч}$; ИПС $\rightarrow m_{\Delta GA_0} = 0,1573678^\circ$.

Недостатком предыдущего и данного методов обработки является необходимость накопления информации, т. е. сначала производится все измерения частных поправок ΔGA_{0i} , а затем обработка всех полученных результатов.

Ниже излагается метод, свободный от этого недостатка: после каждого измерения частных поправок ΔGA_{0i} производится расчет их вероятнейшего значения ΔGA_{Bi} с учетом всей имеющейся информации, т. е. производится последовательное уточнение поправки гироазимута и скорости дрейфа. Теоретической основой этого метода является оптимальная фильтрация Калмана.

Расчет в этом случае при равнооточных ΔGA_{0i} производится по следующим рекуррентным формулам:

$$\left. \begin{aligned} \Delta GA_{Bi} &= \left(1 - \frac{1}{i}\right) \left(\Delta GA_{B_{i-1}} + \dot{\alpha}_i t_i\right) + \frac{1}{i} \Delta GA_{0i}; \\ \dot{\alpha}_i &= \dot{\alpha}_{i-1} + \frac{t_i^2}{\sum_i t_i^2} \left(\frac{\Delta GA_{0i} - \Delta GA_{B_{i-1}}}{t_i} - \dot{\alpha}_{i-1}\right); \\ m_{\Delta GA_{Bi}} &= m_{\Delta GA_0} \sqrt{V i}; \\ m_{\dot{\alpha}_i} &= 1,4 m_{\Delta GA_0} \sqrt{V \sum_i t_i^2}. \end{aligned} \right\} \quad (5.3.27)$$

Здесь: i — порядковый номер уточнения (номер цикла уточнения данных);

ΔGA_{Bi} — вероятнейшее (уточненное) значение поправки гироазимута в i -м цикле;

ΔGA_{0i} — измеренное значение поправки гироазимута в i -м цикле;

$t_i = T_i - T_{i-1}$ — интервал времени между двумя последовательными определениями поправок ΔGA_{0i} .

Для расчета по формулам (5.3.27) используется следующая программа вычисления на ПМК:

В/О ФПРГ

ИП1	ИПА	—	ИП2	:	ИПВ	—	ИП2	Fx ²	×
ИП2	Fx ²	ИП4	+	П4	:	ИПВ	+	ПВ	ИП5
1	+	П5	1	ИП5	:	/—/	1	+	ИПА

ИПВ ИП2 \times + \times ИП1 ИП5 : + ПА
 ИП6 ИП5 FV⁻ : ПС ИП3 ИП6 \times ИП4 FV⁻
 : ПД С/П (53 шага)

ФАВТ.

Реализация программы:

— после каждого определения поправки ΔGA_{0i} в память ПМК вводятся: ΔGA_{0i} П1; $t_i = (T_i - T_{i-1})$ П2; 1,4 П3; $m_{\Delta GA_0}$ П6; В/О С/П;

— после каждой отработки программы будем получать последовательно уточняемые результаты: ИПА $\rightarrow \Delta GA_B$; ИПВ $\rightarrow \dot{\alpha}$; ИПС $\rightarrow m_{\Delta GA_B}$; ИПД $\rightarrow m_{\dot{\alpha}}$.

Пример. Условия предыдущего примера (табл. 5.3.2). Принимаем априорную погрешность $m_{\Delta GA_0} = 0,2^\circ$.

Решение:

— после измерения второй поправки гироазимута вводятся первые исходные данные: $\Delta GA_{0_1} = +1,0^\circ$ ПА; $\Delta GA_{0_2} = +0,9^\circ$ П1; $t_1 = (13,00 - 12,30) = 30$ мин = 0,5 П2; 1,4 П3; $m_{\Delta GA_0} = 0,2^\circ$ П6; В/О С/П. После отработки программы получаем результаты первого цикла: ИПА $\rightarrow \Delta GA_B = +0,9^\circ$; ИПВ $\rightarrow \dot{\alpha} = -0,2^\circ/\text{ч}$; ИПС $\rightarrow m_{\Delta GA_B} = 0,2^\circ$; ИПД $\rightarrow m_{\dot{\alpha}} = 0,56^\circ/\text{ч}$;

— после измерения третьей поправки вводятся следующие данные: $\Delta GA_{0_3} = +1,6^\circ$ П1; $t_2 = (14,12 - 13,00) = 1,2$ П2; В/О С/П. После отработки программы получаем результаты второго цикла: ИПА $\rightarrow \Delta GA_B = +1,53^\circ$; ИПВ $\rightarrow \dot{\alpha} = 0,467^\circ/\text{ч}$; ИПС $\rightarrow m_{\Delta GA_B} = 0,141^\circ$; ИПД $\rightarrow m_{\dot{\alpha}} = 0,215^\circ/\text{ч}$;

— после измерения четвертой поправки вводятся следующие данные: $\Delta GA_{0_4} = +2,0^\circ$ П1; $t_3 = (15,00 - 14,12) = 0,8$ П2; В/О С/П. После отработки программы получаем результаты третьего цикла: ИПА $\rightarrow \Delta GA_B = +1,95^\circ$; ИПВ $\rightarrow \dot{\alpha} = 0,5^\circ/\text{ч}$; ИПС $\rightarrow m_{\Delta GA_B} = 0,115^\circ$; ИПД $\rightarrow m_{\dot{\alpha}} = 0,183^\circ/\text{ч}$;

— после измерения пятой поправки вводятся следующие данные: $\Delta GA_{0_5} = +2,9^\circ$ П1; $t_4 = (16,00 - 15,00) = 1,0$ П2; В/О С/П. После отработки программы получаем результаты четвертого цикла: ИПА $\rightarrow \Delta GA_B = +2,66^\circ$; ИПВ $\rightarrow \dot{\alpha} = 0,634^\circ/\text{ч}$; ИПС $\rightarrow m_{\Delta GA_B} = 0,1^\circ$; ИПД $\rightarrow m_{\dot{\alpha}} = 0,153^\circ/\text{ч}$;

— после измерения последней (шестой) поправки вводятся следующие данные: $\Delta GA_{0_6} = +3,5^\circ$ П1; $t_5 = (16,54 - 16,00) = 0,9$ П2; В/О С/П. После отработки программы получаем результаты последнего цикла: ИПА $\rightarrow \Delta GA_B = +3,33^\circ$; ИПВ $\rightarrow \dot{\alpha} = 0,69^\circ/\text{ч}$; ИПС $\rightarrow m_{\Delta GA_B} = 0,09^\circ$; ИПД $\rightarrow m_{\dot{\alpha}} = 0,137^\circ/\text{ч}$.

Расхождение результатов данного метода решения и предыдущего обусловлено введением априорной оценки точности $m_{\Delta GA_0}$.

После определения вероятнейших значений ΔGA_0 и $\dot{\alpha}$ ожидаемое значение поправки гироазимута ΔGA на последующие моменты времени прогнозируется по формуле (5.3.18).

Формула (5.3.21) может быть использована для определения максимального интервала t_{\max} прогнозирования, при котором средняя квадратическая погрешность в прогнозируемой поправке гироазимута $m_{\Delta GA_t}$ не выйдет на заданные (допустимые) пределы $m_{\Delta GA_\Delta}$

$$t_{\max} \leq \frac{1}{m_{\dot{\alpha}}} \sqrt{m_{\Delta GA_\Delta}^2 - m_{\Delta GA_0}^2}, \quad (5.3.28)$$

где $m_{\Delta GA_\Delta}$ — СКП вероятнейшей поправки гироазимута, определенной по результатам сравнения гироазимутальных пеленгов с истинными.

Определение поправки магнитного компаса. Поправка магнитного компаса зависит от магнитного склонения d и от девиации δ : $\Delta MK = d + \delta$. Магнитное склонение изменяется с изменением координат и с течением времени (от года к году), девиация магнитного компаса зависит от курса корабля. Поэтому поправка магнитного компаса, определяемая по сравнению истинного и компасного пеленгов, может быть использована лишь на том курсе, на котором производилось ее определение. В общем же случае поправка магнитного компаса определяется как алгебраическая сумма магнитного склонения d и девиации δ , выбираемой из таблицы девиации.

Остаточная девиация для составления таблицы девиации определяется на основании сравнения истинных и компасных пеленгов с учетом магнитного склонения по формуле

$$\delta_0 = \Delta MK - d = ИП - КП - d. \quad (5.3.29)$$

Девиация определяется на главных и четвертных румбах на ходу корабля или на бочке путем разворота корабля с помощью буксира.

Истинный пеленг рассчитывается по формулам (1.6.1), в которых используются координаты корабля, определяемые высокоточным способом в момент измерения компасного пеленга. При отсутствии на корабле высокоточных систем для определения места компасные пеленги на ориентир измеряются в моменты прохождения корабля (на разных курсах) в непосредственной близости от буя или вежи с точно известными координатами. При развороте корабля, стоящего на бочке, погрешности в истинном пеленге за счет радиуса разворота корабля относительно якоря бочки компенсируются уменьшением длины бриделя и выбором ориентира на таком удалении, при котором погрешность в истинном направлении за счет движения корабля по кругу циркуляции не превышает величины $0,2-0,4^\circ$. Выбор требуемого расстояния производится с помощью табл. 5.3.1. Аргументами для входа в таблицу являются величины $M' = r + M$, где r — расстояние по горизонтالي между магнитным компасом и якорем бочки, и $m_{ИП}$ — допустимая СКП определения истинного пеленга.

Для определения остаточной девиации корабль поочередно приводится на компасные курсы, соответствующие главным и четвертным румбам $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ, 225^\circ, 270^\circ$ и 315° и на каждом из них производится пеленгование ориентира. Пеленгование производится через 2—3 мин после приведения корабля на заданный курс. Определив по формуле (5.3.29) девиацию на каждом курсе, производится расчет сначала коэффициентов девиации, а затем таблицы девиации для курсов, отличающихся на 10° .

Коэффициенты девиации рассчитываются по формулам:

$$\left. \begin{aligned} A &= \left(\sum_{i=1}^8 \delta_{0_i} \right) / 8; & B &= \left(\sum_{i=1}^8 \delta_{0_i} \sin KK_i \right) / 4; \\ C &= \left(\sum_{i=1}^8 \delta_{0_i} \cos KK_i \right) / 4; & D &= \left(\sum_{i=1}^8 \delta_{0_i} \sin 2KK_i \right) / 4; \\ E &= \left(\sum_{i=1}^8 \delta_{0_i} \cos 2KK_i \right) / 4. \end{aligned} \right\} \quad (5.3.30)$$

Здесь δ_{0_i} — девиация, определенная на i -м компасном курсе.

Сглаженное значение девиации рассчитывается по формуле

$$\delta_i = A + B \sin KK_i + C \cos KK_i + D \sin 2KK_i + E \cos 2KK_i. \quad (5.3.31)$$

Априорная оценка точности вычисленной девиации определяется на основе применения правила нахождения СКП функции. Применяя это правило к функции (5.3.31) и учитывая, что $m_A = m_{\delta_0}/\sqrt{8}$; $m_B = m_C = m_D = m_E = m_{\delta_0}/\sqrt{2}$, после преобразований получим

$$m_{\delta_i} = 1,06m_{\delta_0}, \quad (5.3.32)$$

где m_{δ_i} — СКП вычисленной девиации на i -м компасном курсе;

m_{δ_0} — СКП определенной девиации

$$m_{\delta_0} = \sqrt{m_{\text{ИП}}^2 + m_{\text{КП}}^2 + m_d^2}; \quad (5.3.33)$$

m_d — СКП магнитного склонения.

Значение $m_{\text{ИП}}$ рассчитывается по формуле (5.3.4). Средняя квадратическая погрешность компасного пеленга зависит от точности пеленгования и для магнитного компаса составляет $m_{\text{КП}} = 0,5—1,2^\circ$; средняя квадратическая погрешность магнитного склонения оценивается величиной $m_d = 0,5—1,0^\circ$.

Апостериорная оценка точности вычисленной девиации оценивается

$$m_{\delta_i} = 0,4 \sqrt{\sum^8 (\delta_{0_i} - \delta_i)^2}. \quad (5.3.34)$$

Здесь значения наблюдаемой и вычисленной девиации δ_{0_i} и δ_i соответствуют одному и тому же i -му компасному курсу, на котором производилось определение девиации.

Критерием надежности табличной девиации является соблюдение неравенства (для всех 8 наблюдаемых девиаций)

$$(\delta_i - \delta_{0_i}) < 3m_{\delta_i}.$$

Таким образом, точность поправки магнитного компаса, определяемой по формуле (5.2.7), оценивается средней квадратической погрешностью

$$m_{\Delta\text{МК}} = \sqrt{m_{\delta}^2 + m_d^2}. \quad (5.3.35)$$

В реальных условиях $m_{\Delta\text{МК}} = 0,7—1,5^\circ$.

На корабле для каждого магнитного компаса составляются две таблицы девиации: таблица девиации, рассчитанная при выключенном размагничивающем устройстве, и таблица девиации при включенном размагничивающем устройстве.

Определение поправок курсоуказателей по створу

Сущность способа состоит в сравнении компасного пеленга, измеренного на створные знаки в момент пересечения линии створа, с истинным направлением створа, указанным на карте или в навигационном руководстве (люци или книге «Огни и знаки»)

$$\Delta K = \text{ИП}_{\text{ств}} - \text{КП}_{\text{ств}}.$$

Средняя квадратическая погрешность поправки курсоуказателя зависит от СКП истинного направления створа и от СКП компасного пеленга, т. е.

$$m_{\Delta K} = \sqrt{m_{\text{ИП}_{\text{ств}}}^2 + m_{\text{КП}_{\text{ств}}}^2}. \quad (5.3.36)$$

Истинное направление створа, указанное на карте, определяется высокоточным геодезическим способом с пренебрежимо малой погрешностью. Истинное направление створа двух естественных ориентиров, показанных на карте (вершин гор, труб, маяк и т. п.), рассчитывается по формуле (1.6.1) или измеряется по карте с помощью прокладочного инструмента.

Если при расчете направления створа по формуле (1.6.1) использовались координаты створных ориентиров, снятые с карты, то погрешность направления (в градусах), обусловленная графическими погрешностями измерения координат, оценивается СКП

$$m_{\text{ип ств}} = 0,0000123C/d, \quad (5.3.37)$$

где C — знаменатель масштаба карты;

d — расстояние между створными ориентирами, мили.

Средняя квадратическая погрешность направления створа (в градусах), измеренного по карте, рассчитывается по формуле

$$m_{\text{ип ств}} = \sqrt{(23/d_1)^2 + 0,03}, \quad (5.3.38)$$

где d_1 — расстояние между створными ориентирами на карте, мм.

Средняя квадратическая погрешность компасного пеленга створа (в градусах) рассчитывается по формуле

$$m_{\text{кп ств}} = \sqrt{\left(\frac{m_p \cdot 57,3}{D}\right)^2 + m_{\text{кп}}^2}, \quad (5.3.39)$$

где m_p — СКП, обусловленная линейной чувствительностью створа, вычисляемая по формуле

$$m_p = \gamma D \left(\frac{D}{d} + 1\right) / 3438 \sqrt{3}; \quad (5.3.40)$$

γ — разрешающая способность зрительного средства, минуты дуги;

D — расстояние до переднего створного знака (ориентира);

d — расстояние между ориентирами;

$m_{\text{кп}}$ — СКП пеленгования с помощью пеленгатора курсоуказателя, градусы.

Для повышения точности пеленгования визир пеленгатора наводится на задний створный знак (ориентир) еще до подхода корабля к линии створа. Нить визира непрерывно совмещается с этим знаком. Пеленг фиксируется в момент совпадения створных знаков.

Данный способ позволяет произвести только однократное измерение пеленга, что не гарантирует исключение промахов и не позволяет скомпенсировать случайную погрешность компасного пеленга. При этом в общем случае (корабль на ходу) определяется не постоянная, а мгновенная поправка гирокомпаса.

Для определения поправки гироазимута и скорости дрейфа его главной оси необходимо, чтобы корабль пересек линию створа не менее двух раз. Обработка результатов измерений производится так же, как и в случае определения поправки гироазимута по сравнению истинных и гироазимутальных пеленгов.

При определении девиации магнитного компаса корабль маневрирует так, чтобы пересечь линию створа на каждом главном и четвертом румбе. В некоторых пунктах базирования для этой цели сооружаются специальные девиационные створы. Для определения девиации δ_0 на каждом курсе используется формула (5.3.29), а для расчета таблицы девиации — формулы (5.3.31) и (5.3.30).

Определение поправок по сравнению курсоуказателей

Сущность способа основана на сравнении курса K курсоуказателя, поправка которого ΔK определяется, с курсом K_0 курсоуказателя, поправка которого ΔK_0 известна (определена одним из ранее изложенных способов). На основе одновременного сличения курсов производится расчет искомой поправки по формуле

$$\Delta K = K_0 + \Delta K_0 - K. \quad (5.3.41)$$

Обозначив разность $K_0 - K = P$, можно написать

$$\Delta K = P + \Delta K_0. \quad (5.3.42)$$

Для компенсации случайных погрешностей измерения курсов сличения производится многократно ($n=5\dots 7$) и в формулу (5.3.42) подставляется средняя арифметическая разность

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (K_{0i} - K_i) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i.$$

Средняя квадратическая погрешность определения поправки курсоуказателя данным способом рассчитывается по формуле

$$m_{\Delta K} = \sqrt{m_{\Delta K_0}^2 + m_P^2}. \quad (5.3.43)$$

Средняя квадратическая погрешность известной поправки ΔK_0 — величина $m_{\Delta K_0}$ определяется в зависимости от способа ее определения, как указано выше в настоящем параграфе.

Априорная средняя квадратическая погрешность разности курсов равна

$$m_P = \sqrt{\frac{1}{n} (m_{K_0}^2 + m_K^2)}, \quad (5.3.44)$$

где m_K и m_{K_0} — СКП отсчета курса по шкалам курсоуказателей.

Апостериорная средняя квадратическая погрешность разности курсов рассчитывается по формуле

$$m_P = \sqrt{\frac{\sum (P_i - P)^2}{n(n-1)}}, \quad (5.3.45)$$

где P_i — результат i -го сличения.

Формула (5.3.43) свидетельствует о том, что точность определения поправки курсоуказателя по сравнению ниже точности определения поправки по пеленгам; увеличение погрешности обусловлено появлением дополнительной погрешности сличения курсов.

Определение поправок гирокомпаса и гироазимута. При определении поправки одного гирокомпаса по сравнению с другим гирокомпасом формула (5.3.41) приобретает вид

$$\Delta GK = K_{ГК_0} + \Delta GK_0 - K_{ГК} = P + \Delta GK_0.$$

При априорной оценке точности в формулу (5.3.43) подставляется значение

$$m_P = 1,4 m_{ГК} / \sqrt{n}.$$

Средняя квадратическая погрешность однократного измерения компасного курса по гирокомпасу $m_{ГК}$ находится в пределах $0,1-0,2^\circ$.

Поправка гирокомпаса ΔGK_0 должна быть определена непосредственно перед сличением курсов.

Если определение поправки гирокомпаса ΔGK производится на ходу корабля, то полученный результат носит мгновенный характер.

При определении поправки гирокомпаса по сличению с гироазимутом (сличение производится в момент определения поправки последнего) используется формула

$$\Delta GK = K_{ГА} + \Delta GA - K_{ГК} = P + \Delta GA. \quad (5.3.46)$$

Приближенное значение поправки гирокомпаса может быть определено в любой заданный момент времени (в течение 4—5 ч, после определения поправки гироазимута) по прогнозируемой поправке гироазимута

$$\Delta GK = K_{ГА} + \Delta GA_0 + at - K_{ГК}. \quad (5.3.47)$$

Здесь ΔGA_0 — результат последнего определения поправки гироазимута;

t — интервал времени от момента последнего определения поправки гироазимута до данного момента.

Средняя квадратическая погрешность определения ΔGK по формуле (5.3.46) рассчитывается с использованием выражения (5.3.43). Средняя квадратическая погрешность определения ΔGK по формуле (5.3.47) рассчитывается по формуле

$$m_{\Delta GK} = \sqrt{m_{\Delta GA_0}^2 + m_p^2 + t^2 m_a^2}. \quad (5.3.48)$$

Сличение показаний гироазимута и гирокомпаса может быть использовано для определения не только поправки гирокомпаса, но и скорости дрейфа главной оси гироазимута.

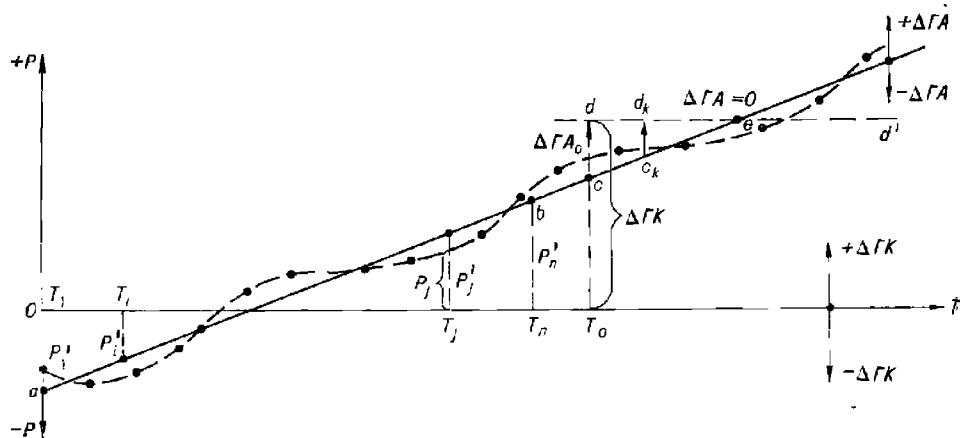


Рис. 5.3.1

Задача решается с помощью графика разностей курсов гироазимута и гирокомпаса. При этом чувствительный элемент гирокомпаса должен находиться в положении равновесия, а гироазимут должен работать в режиме без коррекции от гирокомпаса. В течение 3—5 ч через каж-

дые 10—15 мин одновременно фиксируются курсы по гироазимуту и гирокомпасу и рассчитываются их разности

$$P_i = K_{\Gamma A_i} - K_{\Gamma K_i}.$$

По значениям P_i и T_i (моментам сличения курсов) строится график разности курсов (рис. 5.3.1). При отсутствии инерционных погрешностей гирокомпаса кривая графика аппроксимируется прямой. При несущественных разбросах наносимых на график точек аппроксимирующая прямая проводится на глаз, как ось симметрии нанесенных на график точек. Наклон аппроксимирующей прямой (осредняющей линии) характеризует скорость дрейфа главной оси гироазимута $\dot{\alpha}$. С графика снимаются две ординаты P'_i и P'_j осредняющей прямой, соответствующие любым моментам времени T_i и T_j , и вычисляется скорость дрейфа (в градусах в час) главной оси

$$\dot{\alpha} = - \frac{P'_j - P'_i}{T_j - T_i}. \quad (5.3.49)$$

Знак *минус* перед правой частью равенства обусловлен тем, что знаки изменения величин ΔP и α противоположны (рис. 5.3.2).

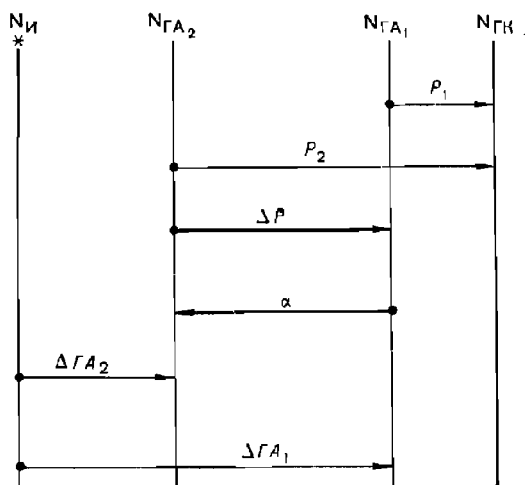


Рис. 5.3.2

Если проведение осредняющей прямой на глаз затруднительно, что может быть при существенном разбросе точек, то при равных интервалах t между сличениями величина $\dot{\alpha}$ определяется непосредственно по результатам измерений, без проведения осредняющей прямой, т. е. аналитически

$$\dot{\alpha} = - \frac{n \sum P_i (t-1) - \sum (t-1) \sum P_i}{nt \sum (t-1)^2 - t [\sum (t-1)]^2}. \quad (5.3.50)$$

где $i=1, \dots, n$ — порядковый номер сличения.

Сглаженная осредняющая прямая в этом случае проводится через две точки a и b (рис. 5.3.1) с координатами $a (T_1, P_1)$, $b (T_n, P_n)$, где

$$\left. \begin{aligned} P_1' &= \frac{\sum P_i \sum (i-1)^2 - \sum P_i (i-1) \sum (i-1)}{n \sum (i-1)^2 - [\sum (i-1)]^2} \\ P_n' &= P_1' - \dot{\alpha} (n-1) \cdot t = P_1' - \dot{\alpha} (T_n - T_1). \end{aligned} \right\} \quad (5.3.51)$$

Сглаженная разность курсов на любой заданный момент времени T_i определяется по формуле

$$P_i' = P_1' - \dot{\alpha} (T_i - T_1). \quad (5.3.52)$$

Если в какой-то момент времени T_0 одним из ранее изложенных способов определена поправка гироазимута ΔGA_0 , то с помощью графика можно определить поправку гирокомпаса. Для этого величина ΔGA_0 откладывается на ординате T_0 от осредняющей прямой (от точки c). Положительные ΔGA_0 откладываются вверх, отрицательные — вниз. В случае, показанном на рисунке, $\Delta GA_0 = cd$ имеет знак плюс. Так как ордината $T_0 c = P_0'$, то на основании формулы (5.3.46) сумма отрезков $T_0 c = P_0'$ и $cd = \Delta GA_0$ дает величину $T_0 d$, численно равную поправке гирокомпаса ΔGK . Если точка d выше оси абсцисс, то поправка гирокомпаса положительная, если ниже — отрицательная (на рис. 5.3.1 ΔGK положительная).

При постоянной поправке гирокомпаса линия dd' , параллельная оси абсцисс, является геометрическим местом концов векторов поправки гироазимута $c_k d_k$. Начало этих векторов — на осредняющей линии.

В точке пересечения осредняющей линии с линией dd' (точка e) поправка гироазимута $\Delta GA = 0$, т. е. точка e — точка изменения знака поправки гироазимута.

Изменение закономерности роста разности курсов P' (P), т. е. изменение направления осредняющей линии служит свидетельством появления инерционных погрешностей гирокомпаса или изменения величины $\dot{\alpha}$. В этом случае необходимо вновь определить поправку гироазимута и сравнить ее с вектором $c_k d_k$, взятым на ординате T_k , соответствующей моменту определения поправки гироазимута. Если $\Delta GA_0 = c_k d_k$, то изменилась поправка гирокомпаса. Если $\Delta GA_0 \neq c_k d_k$, то делается вывод об изменении скорости дрейфа $\dot{\alpha}$ гироазимута. В первом случае определяют новую поправку гирокомпаса ΔGK , во втором — новое значение $\dot{\alpha}$.

Пример. Через 12-минутные интервалы времени ($t = 0,2$ ч) произведено 7 сличений курсов по гироазимуту и гирокомпасу (гироазимут в режиме без коррекции от гирокомпаса). Результаты сличений — разности $P_i = K_{GA_i} - K_{KK_i}$ представлены в табл. 5.3.4.

Определить скорость дрейфа главной оси гироазимута и поправку гирокомпаса, если в $T_0 = 54$ мин после первого сличения по пеленгу светила была определена поправка гироазимута $\Delta GA_0 = -1,5^\circ$. Определить поправку гироазимута ΔGA через 1 ч 18 мин после начала сличения.

Решение с помощью графика:

— на график наносятся значения P_i из табл. 5.3.4 и полученные точки соединяются плавной кривой (рис. 5.3.3);

— на глаз проводится осредняющая линия — прямая AB ;

— рассчитывается скорость дрейфа $\dot{\alpha}$. Для этого с графика снимаются ординаты P' двух произвольных точек, например, точек $a (T_1 = 12 \text{ мин})$ и $b (T_2 = 65 \text{ мин})$: $P_1' = -1,2^\circ$; $P_2' = +4,0^\circ$.

Таблица 5.3.4

N случе- ния i	$P_i = K_{ГА_i} - K_{ГК_i}$	$i - 1$	$P_i (i - 1)$	$(i - 1)^2$
1	2	3	4	5
1	$-1,5^\circ$	0	0	0
2	$-1,5$	1	$-1,5$	1
3	$-1,0$	2	$-2,0$	4
4	$+1,0$	3	$+3,0$	9
5	$+3,5$	4	$+14,0$	16
6	$+4,0$	5	$+20,0$	25
7	$+4,0$	6	$+24,0$	36
Σ	$+8,5$	21	$+57,5$	91

Скорость дрейфа получим по формуле (5.3.49)

$$\dot{\alpha} = -\frac{4,0^\circ - (-1,2^\circ)}{1,1 - 0,2} = -5,8^\circ/\text{ч};$$

— на ординате $T_0 = 54$ мин вниз от точки c осредняющей прямой откладывается отрезок $cd = \Delta ГА_0 = -1,5^\circ$. Отрезок $T_0d = \Delta GK = +1,4^\circ$;

— через точку d проводится горизонтальная прямая dd' и на ординате $T_3 = 1$ ч 18 мин измеряется отрезок $c_1d_1 = \Delta ГА = -3,8^\circ$ (знак минус, т. к. вектор $\vec{c_1d_1}$ направлен вниз).

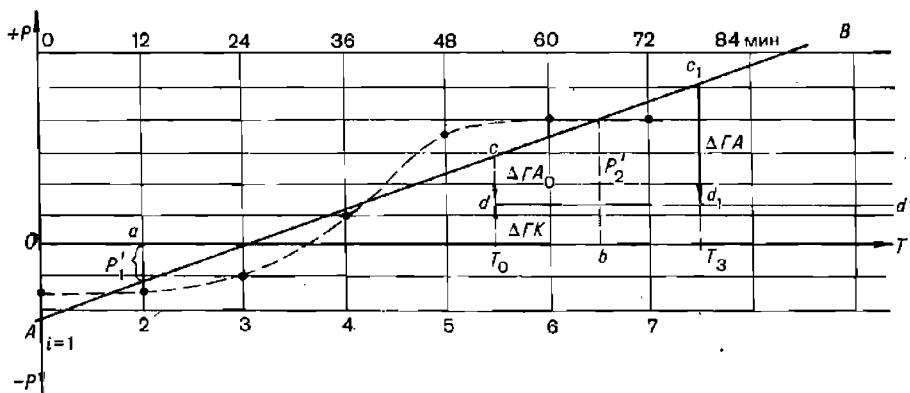


Рис. 5.3.3

Аналитическое решение:

— по формуле (5.3.50) определяется угол дрейфа (используются суммы 3, 4 и 5-й колонок таблицы)

$$\dot{\alpha} = -\frac{7 \cdot 57,5 - 21 \cdot 8,5}{7 \cdot 0,2 \cdot 91 - 0,2 \cdot 21^2} = -5,7^\circ/\text{ч};$$

— по первой формуле (5.3.51) рассчитывается осредненная разность курсов на момент первого сличения

$$P'_1 = \frac{8,5 \cdot 91 - 57,5 \cdot 21}{7 \cdot 91 - 21^2} = -2,2^\circ;$$

— по формуле (5.3.52) рассчитывается разность курсов P'_{54} на момент $T_0 = 54$ мин:
 $P'_{54} = -2,2^\circ - (-5,7^\circ) \cdot 0,9 = +2,9^\circ$;
 — по формуле (5.3.46) рассчитывается $\Delta GK = +2,9^\circ - 1,5^\circ = +1,4^\circ$;
 — по формуле (5.3.18) рассчитывается поправка гироазимута на момент $T_0 = 1$ ч 18 мин: $\Delta GA = -1,5^\circ + (-5,7^\circ) \cdot 0,4 = -3,8^\circ$.

Определение поправки и девиации магнитного компаса. Способ используется при равновесном положении чувствительного элемента гирокомпаса. На каждом главном и четвертном компасном курсе (по магнитному компасу) производится n сличений курсов по гирокомпасу и магнитному компасу и рассчитываются их разности

$$P_i = K_{ГК} - K_{МК} \quad (5.3.53)$$

и средняя арифметическая разность для каждого курса

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i$$

Затем рассчитывается поправка магнитного компаса для каждого курса

$$\Delta MK = \Delta GK + P, \quad (5.3.54)$$

Девиация магнитного компаса для данного курса вычисляется по формуле

$$\delta = \Delta MK - d,$$

где d — приведенное к году плавания магнитное склонение.

Таким же образом могут быть определены поправки и девиации путевого магнитного компаса по сличению его показаний с главным магнитным компасом

$$\Delta MK_{\Pi} = K_{МКГ} - K_{МК\Pi} + \Delta MK_{Г} = P + \Delta MK_{Г};$$

$$\delta = \Delta MK_{\Pi} - d.$$

По полученным на восьми курсах девиациям рассчитывается таблица девиации (так же, как в способе определения девиации по сравнению истинных и компасных пеленгов).

Точность способа оценивается по формулам (5.3.43—5.3.45).

Определение поправок курсоуказателей с помощью теодолита

Способ используется для определения поправок курсоуказателей с высокой степенью точности. Сущность способа состоит в сличении пеленга $K\Pi$, измеренного пеленгатором курсоуказателя на видимый береговой теодолитный пост Π , с дирекционным направлением T с поста на корабль, измеренным теодолитом. Дирекционное направление T отсчитывается в круговой системе счета от северной части направления, параллельного направлению осевого меридиана (рис. 5.3.4). Компасный пеленг на теодолитный пост и дирекционное направление на корабль измеряются одновременно по команде, передаваемой по радио.

Поправка курсоуказателя рассчитывается по формуле

$$\Delta K = И\Pi - K\Pi,$$

Истинный пеленг с корабля на теодолитный пост рассчитывается по измеренному дирекционному направлению T

$$И\Pi = T \pm 180^\circ + \gamma, \quad (5.3.55)$$

где γ — угол сближения (схождения) меридиана точки K , в которой находится корабль, и осевого меридиана.

$$\gamma = (\lambda_K - \lambda_0) \sin \varphi_K. \quad (5.3.56)$$

Здесь λ_0 — долгота осевого меридиана шестиградусной зоны, в которой находится корабль (формула 4.5.1).

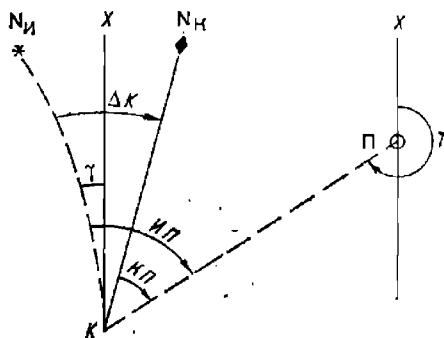


Рис. 5.3.4

Средняя квадратическая погрешность поправки курсоуказателя оценивается по формуле

$$m_{\Delta K} = \sqrt{m_T^2 + m_\gamma^2 + m_{\text{КП}}^2}, \quad (5.3.57)$$

где m_T — СКП измерения дирекционного угла теодолитом ($m_T \approx 1,0'$);

m_γ — СКП определения угла γ ;

$m_{\text{КП}}$ — СКП пеленга, измеренного курсоуказателем на теодолитный пост.

В общем случае величина m_γ рассчитывается по формуле

$$m_\gamma = 0,7 M \operatorname{tg} \varphi, \quad (5.3.58)$$

здесь M — СКП места, мили.

Для повышения точности определения поправки курсоуказателя одновременное взаимное пеленгование корабля и поста производится n раз ($n=5 \dots 7$). Вероятнейшее значение ΔK рассчитывается как среднее арифметическое значение из всех единичных поправок, т. е.

$$\Delta K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta K_i.$$

Использование данного метода определения поправки системы курсоуказания имеет практический смысл в тех случаях, когда репитер курсоуказателя, с помощью которого производится пеленгование, имеет шкалу, позволяющую снимать отсчет пеленга с погрешностью, не превышающей одной дуговой минуты, т. е. при $m_{\text{КП}} \leq (0,2 \dots 0,4')$.

Глава 6

ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕНИ НА КОРАБЛЯХ ВОЕННО-МОРСКОГО ФЛОТА

§ 6.1. ОСНОВЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ НА КОРАБЛЕ

Время на корабле измеряют с целью обеспечить его боевую и повседневную деятельность. Время является важнейшим необходимым элементом навигационной информации, без измерения которого невозможно определить положение корабля и элементы его движения.

Организация и методика работы службы времени на корабле определяются Правилами штурманской службы № 29 (ПШС № 29); ее задачами являются прием информации об эталонном времени по шкале всемирного координированного времени СССР UTC (SU), хранение точного (эталонного) времени в интервалах между приемами радиосигналов времени, передача информации о точном времени на командные пункты и боевые посты корабля.

Требования к точности измерения времени на корабле устанавливаются в зависимости от скорости его движения и от скорости развития или изменения наблюдаемых событий и явлений. При ведении навигационной прокладки установлено моменты наблюдений записывать с точностью до минуты при скорости корабля менее 12 уз, до полминуты при скорости корабля от 12 до 24 уз и до десятой доли минуты при скорости корабля от 24 до 36 уз; при большей скорости движения корабля время следует измерять до секунды. При выполнении астронавигационных измерений время должно быть измерено с точностью до 0,5 с.

Показания времени на морских часах, установленных в помещениях корабля, при стоянке не должны расходиться более чем на 0,5 мин. Во время похода показания морских часов в командных пунктах и боевых постах, связанных с управлением кораблем, не должны отличаться от точного времени более чем на 0,25 мин, а в остальных помещениях — более чем на 0,5 мин.

Судовым временем T_c называется принятая на корабле система счета среднего солнечного времени, по которой ведется навигационная прокладка и осуществляется управление кораблем. В основе счета судового времени лежит поясное время T_N , при этом номер часового пояса устанавливается в отдельном плавании по приказанию командира корабля, в совместном плавании — по приказанию командира соединения кораблей, в операционной зоне флота — приказанию командования флота. Принятый счет судового времени должен обеспечивать как удобство управления боевой и повседневной деятельностью корабля, так и удобство жизни личного состава (соответствие распорядка дня рас-

пределению светлого и темного времени суток, обеспечивающее нормальную жизнедеятельность экипажа корабля). В необходимых случаях управление кораблем и навигационная прокладка могут вестись по единому для всего флота времени (например, по московскому времени), а повседневная жизнь экипажа — по поясному времени района плавания.

Порядок изменения счета времени на флотах определяется приказами и директивами командования. На период перестановки часов не рекомендуется планирование и проведение мероприятий, требующих увязки по времени.

Поясным временем T_N называется время, исчисляемое в пределах часового пояса и численно равное среднему солнечному времени осевого меридиана данного часового пояса. Часовым поясом называется $1/24$ часть поверхности Земли, ограниченная меридианами, отстоящими по долготе на $7,5^\circ$ (30 мин) к востоку и западу от осевого меридиана.

Осевые меридианы расположены через 15° и имеют долготы: $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, \dots, 180^\circ$, а соответствующие им часовые пояса имеют номера: 0, 1, 2, 3, 4, ..., 12 восточного и западного наименования; в 12-м часовом поясе имеется восточная половина (в восточных долготах) и западная половина. Для определения номера часового пояса N долготу места корабля следует обратить во временную меру (пользуясь приложением 3 МАЕ, табл. 39 МТ-75 или соотношениями $15^\circ = 1$ ч, $1^\circ = 4$ мин, $15' = 1$ мин, $1' = 4$ с) и округлить результат до ближайшего целого часа.

В большинстве стран, в том числе и в СССР, правительственными постановлениями границы часовых поясов совмещаются с административными границами, проходящими вблизи теоретических границ часовых поясов. Фактические границы часовых поясов указаны на карте № 90080.

Всемирным временем $T_{гр}$ (UT1) называется среднее солнечное время гринвичского меридиана — осевого меридиана нулевого часового пояса. Поясное время в других часовых поясах отличается от всемирного времени на величину номера данного часового пояса N и вычисляется по правилу *к востоку время старше* с помощью формулы

$$T_N = T_{гр} \pm N_{\text{в}}^E, \quad (6.1.1)$$

где восточный номер пояса прибавляется, а западный вычитается. Счет времени ведется от полуночи в пределах от 0 до 24 ч.

Судовое время как поясное время того часового пояса, по номеру которого N_c установлены часы на корабле, связано с всемирным временем следующим соотношением

$$T_c = T_{гр} \pm N_{\text{св}}^E. \quad (6.1.2)$$

Выше было пояснено, что принятый для счета судового времени номер часового пояса N_c может не совпадать с теоретическим номером часового пояса N в районе плавания.

Судовое время имеет календарную дату по принятому в СССР и в подавляющем большинстве других стран григорианскому календарю, где счет времени ведется средними солнечными сутками; при этом високосные годы (1988, 1992 и т. д.) в феврале имеют 29 сут, а остальные годы в феврале имеют 28 сут и состоят из 365 сут.

Системы счета времени, принятые на территории различных государств по постановлениям их правительств, приведены на карте часовых поясов № 90080, где даны также поправки для перехода от принятого

времени к всемирному. При заходе в иностранные порты необходимо учитывать установленное в них время.

Примечание. В большинстве иностранных государств время, принятое по постановлению их правительства, называется *стандартным временем*.

По всей территории СССР на осенне-зимний период вводится *декретное зимнее время* $T_{дз}$, отличающееся от поясного времени на 1 ч в большую сторону:

$$T_{дз} = T_{гр} + (N + 1^ч). \quad (6.1.3)$$

Декретное зимнее время вводится в 3 ч последнего воскресенья сентября перестановкой часов на 1 ч назад.

На весенне-летний период по всей территории СССР вводится *декретное летнее время* $T_{дл}$, отличающееся от поясного времени на 2 ч в большую сторону:

$$T_{дл} = T_{гр} + (N + 2^ч). \quad (6.1.4)$$

Декретное летнее время вводится в 2 ч последнего воскресенья марта перестановкой часов на 1 ч вперед.

Московское время вычисляется по формулам:

$$\text{зимнее} \dots\dots T_{дмз} = T_{гр} + 3^ч, \quad (6.1.5)$$

$$\text{летнее} \dots\dots T_{дмл} = T_{гр} + 4^ч. \quad (6.1.6)$$

При вычислениях по формулам (6.1.1)—(6.1.6) следует обращать внимание на календарную дату: если из меньшей величины надо вычесть большую, то к меньшему моменту времени надо добавить 24 ч и дату результата уменьшить на единицу; если же при сложении результат получится больше 24 ч, то надо отбросить 24 ч и дату увеличить на единицу. В прочих случаях сохраняется исходная дата.

В СССР декретное время, принятое в данной местности (регионе), в официальных документах, сообщениях и общественно-производственной деятельности принято называть местным временем.

Это понятие не следует смешивать с термином *среднее время места наблюдения* T_m , принятое в астронавигации при решении навигационных задач. Это время, называемое в дальнейшем для краткости *среднее время* T_m , вычисляется по формуле $T_m = T_{гр} \pm \lambda$, где восточная долгота места наблюдения прибавляется, а западная долгота — вычитается.

При пересечении *линии перемены даты*, расположенной вблизи меридиана 180° (она показана на морских картах), руководствуются правилами:

при переходе из восточных долгот в западные долготы с ближайшей полуночи повторяют календарную дату (на корабле двое суток подряд существует одна и та же календарная дата);

при переходе из западных долгот в восточные с ближайшей полуночи пропускают одну календарную дату (на корабле пропадает одна календарная дата).

При соблюдении этих правил счет календарных дат на корабле и в портах захода не разойдется.

Перестановка часов на время нового часового пояса производится по решению командира корабля после доклада штурмана о пересечении границы часового пояса; при движении корабля на восток рекомендуется переставлять часы в ближайшую ночную вахту от 0 до 4 ч (сокращая тем самым ее длительность), при движении на запад рекомендуется переставлять часы после полудня.

Все изменения в счете календарных дат и судового времени отмечаются в вахтенном журнале и в навигационном журнале.

§ 6.2. ПРИЕМ ИНФОРМАЦИИ ОБ ЭТАЛОННОМ ВРЕМЕНИ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПРАВОК КОРАБЕЛЬНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ВРЕМЕНИ

Информация об эталонном времени передается Государственной службой времени и частоты (ГСВЧ) СССР и службами времени других государств. Характеристики и программы передач сигналов времени через радиостанции, телевидение и сеть звукового вещания ежегодно публикуются в бюллетене (серия В) Государственной комиссии единого времени и эталонных частот СССР «Эталонные сигналы частоты и времени», поставляемом на корабли через органы ГУНиО МО.

Эталонным временем служит *атомное время*, имеющее равномерную шкалу *всемирного координированного времени*. Эта шкала по мере необходимости сдвигается ровно на 1^c с целью не допустить расхождения между всемирным координированным временем $T_{в.к.}$ и неравномерным всемирным временем $T_{гр}$ (определяемым на основе астрономических наблюдений), необходимым при решении задач навигации. Для перехода от $T_{в.к.}$ к $T_{гр}$ служит *поправка всемирного координированного времени*

$$\Delta T_{в.к.} = T_{гр} - T_{в.к.}$$

Величина $\Delta T_{в.к.}$, как правило, не превышает 0,7 с; если такая погрешность допустима по условию решаемой задачи, то $T_{гр} \approx T_{в.к.}$

Информация о $T_{в.к.}$ и $\Delta T_{в.к.}$ сообщается передачей эталонных сигналов времени специальными радиостанциями, работающими круглосуточно. Например, радиостанция РВМ (Москва) на частотах 5, 10, 15 МГц в период с десятой по двадцатую минуту каждого часа ежеминутно передает программу, изображенную на рис. 6.2.1: начало минуты маркируется сигналом длительностью 0,5 с, а каждый секундный сигнал имеет длительность 0,1 с. Характерной точкой является начало фронта радиосигнала; характерные точки согласуются со шкалой $T_{в.к.}$ с погрешностью, не превышающей 30 мкс.

Величина и знак $\Delta T_{в.к.}$ сообщаются позиционным кодом. Десятые доли секунды поправки сообщаются:

положительные — маркированием (дополнительным импульсом) n секундных сигналов в интервале от первой до седьмой секунды включительно (например, на рис. 6.2.1: $+0,1 \cdot 4 = +0,4$ с);

отрицательные — маркированием m секундных сигналов в интервале от девятой до пятнадцатой секунды включительно.

Отсутствие маркировочных сигналов от 0 до 15 с означает, что $\Delta T_{в.к.} = 0,0$ с.

Сотые доли секунды поправки сообщаются:

положительные — маркированием p секундных сигналов в интервале от 21 до 24 с;

отрицательные — маркированием q секундных сигналов в интервале от 31 до 34 с (например, на рис. 6.2.1: $-0,02 \cdot 3 = -0,06$ с).

В итоге, в примере: $\Delta T_{в.к.} = +0,1 \cdot n - 0,02 \cdot q = +0,34$ с.

В бюллетенях ГСВЧ СССР обозначают: $\Delta T_{в.к.} = DUT1 + dUT1$. За месяц величина $\Delta T_{в.к.}$ изменяется приблизительно на 0,1 с. Запаздывание радиосигналов времени в коротковолновом диапазоне на расстояниях до 5000 км не превышает 0,002 с.

Информация о $T_{в.к.}$ дается также по радиостанции «Маяк» каждый час посредством передачи вещательных сигналов проверки времени, предназначенных для синхронизации и проверки часов технического

и бытового назначения. Программа передачи этих сигналов (рис. 6.2.1) включает группу из шести радиопульсов длительностью в 0,1 с каждый и с периодом следования 1 с; начало шестого импульса соответствует началу очередного часа:⁰⁰00^с. Сигналы проверки времени согласуются со шкалой UTC (SU) с погрешностью, не превышающей 0,3 с для европейской территории СССР и 0,5 с для других районов страны.

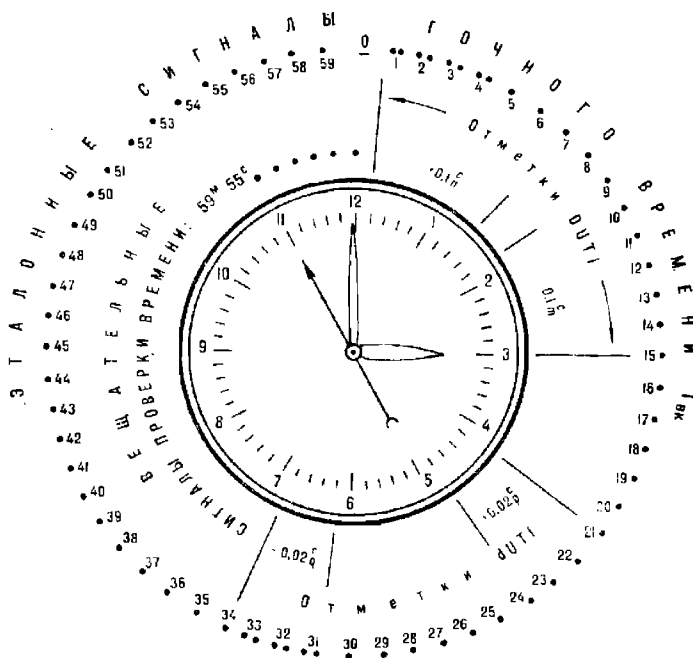


Рис. 6.2.1

Пользуясь специальной приемной аппаратурой на корабле можно принять информацию об эталонном времени с точностью до сотых долей секунды; при обычном решении задач навигации достаточно на слух принимать вещательные сигналы проверки времени.

По принятым радиосигналам времени можно либо синхронизировать электронную корабельную систему времени (СВЭК), либо определить поправки корабельных измерителей времени.

Поправкой измерителя времени (часов) u_{xp} (ч) называют значение интервала времени, которое необходимо придать к показанию измерителя времени, чтобы получить верное время по заданной шкале. Положительная поправка означает, что в момент приема радиосигнала времени измеритель времени был позади верного времени; отрицательная поправка означает, что в момент приема радиосигнала измеритель времени был впереди. В соответствии с этим поправки измерителей относительно всемирного времени $T_{гр}$ найдутся по формулам:

$$\left. \begin{aligned} u_{xp} &= T_{гр} - T_{xp} = T_{в.к.} + \Delta T_{в.к.} - T_{xp}; \\ u_{ч} &= T_{гр} - T_{ч} = T_{в.к.} + \Delta T_{в.к.} - T_{ч}. \end{aligned} \right\} \quad (6.2.1)$$

Поправка часов относительно судового времени определяется по формуле

$$u_c = T_c - T_ч = T_{гр} \pm N_W^E - T_ч. \quad (6.2.2)$$

Поскольку всемирное время отличается от судового времени на величину помера часового пояса, то u_c есть разность шкал $T_{гр}$ и $T_ч$, а u_c есть разность шкал T_c и $T_ч$.

При расчетах по формулам (6.2.1) и (6.2.2) поправка $\Delta T_{в.к.}$ учитывается с ее знаком по мере необходимости.

В случаях необходимости измерять время с точностью до долей секунды часы при приеме радиосигналов времени на точное время не устанавливают; после определения их поправки точное время находят на моменты $T_ч$ приема радиосигналов времени по формулам:

$$T_{гр} = T_ч + u_ч; \quad T_c = T_ч + u_c, \quad (6.2.3)$$

учитывая при этом знаки поправок.

В случаях необходимости измерять время с точностью до долей минуты стрелки часов устанавливают на точное время непосредственно по радиосигналу.

Слуховой прием радиосигнала проверки времени и регистрация момента времени по часам (при длине секундной стрелки не менее 1 см) выполняются со средними квадратическими погрешностями $m_T = 0,2$ с. Результирующая погрешность определения точного времени наблюдений какого-либо явления по формуле (6.2.3), с использованием полученной по радиосигналам поправки часов, не превышает 0,5 с при соблюдении всех требований ПШС № 29.

Пример. 30 июня 1983 г., $T_c = 15^c$ (московское летнее). По предыдущим данным $\Delta T_{в.к.} = +0,34$ с. По шестой точке сигналов проверки времени (рис. 6.2.1) замечен момент по часам $T_ч = 14^h 59^m 55^s$. Определить поправки часов относительно всемирного и судового времени.

	Всемирное координированное время	Судовое время (без $\Delta T_{в.к.}$)
Решение.		
Эталонное время подачи сигнала	$T_{в.к.} = 11^h 00^m 00^s$	$T_c = 15^h 00^m 00^s$
Поправка всемирного координированного времени	$\Delta T_{в.к.} = +0,34$	—
Всемирное время	$T_{гр} = 11\ 00\ 00,34$	—
Момент по часам	$T_ч = 14\ 59\ 55$	$T_ч = 14\ 59\ 55$
Поправка часов	$u_ч = -3^m 59^s 54,66^c$	$u_c = +5^c$

§ 6.3. ХРАНЕНИЕ ВРЕМЕНИ НА КОРАБЛЕ

В данном параграфе в качестве хранителей времени на корабле рассматриваются механические хронометры. Для определения верного времени по формуле (6.2.3) в интервале между приемами радиосигналов времени необходимо учитывать скорость изменения поправки измерителя времени. Обычно учитывают суточный ход измерителя времени ω , который определяют, сравнивая поправку u_1 , наблюдаемую по радиосигналам в момент T_1 , и поправку u_2 , наблюдаемую по радиосигналам в момент T_2 (отстоящий от момента T_1 на 5—10 сут). Тогда суточный ход ω (в секундах в сутки) найдем по формуле

$$\omega = \frac{u_2 - u_1}{T_2 - T_1}. \quad (6.3.1)$$

При вычислениях ω учитывают знаки поправок u_2 и u_1 . Положительный суточный ход показывает, что измеритель времени отстает от равномерного течения эталонного времени; отрицательный — что измеритель времени спешит, опережая эталонное время.

По известному суточному ходу поправка измерителя времени u на любой момент T после последнего приема радиосигналов времени находится по формуле

$$u = u_2 + \omega (T - T_2), \quad (6.3.2)$$

где u_2 — поправка, полученная в момент T_2 последнего приема радиосигналов времени.

Вычисления по формуле (6.3.2) будут надежны, если суточный ход в интервале времени его определения $\tau_1 = (T_2 - T_1)$ и в интервале экстраполирования $\tau_2 = (T - T_2)$ был одинаков. Для выполнения этого условия необходимо хранить измерители времени при температуре $(+20 \pm 5)^\circ\text{C}$. при минимально возможном воздействии электромагнитных полей, перемены давления и влажности воздуха, качки, тряски и вибрации.

При интервале экстраполирования более двух суток и значительных переменах температуры воздуха рекомендуется при расчете суточного хода учитывать температурную поправку

$$\omega = \omega_n + \Delta\omega_t = \omega_n + C(t - t_n) + \frac{S}{256}(t - t_n)^2, \quad (6.3.3)$$

где ω_n — нормальный суточный ход в интервале его определения τ_1 ; находится по средней температуре этого интервала исходя из формулы (6.3.3): $\omega_n = \omega - \Delta\omega_t$;

t — средняя температура в интервале экстраполирования τ_2 ;
 C, S, t_n — температурные коэффициенты и нормальная температура соответственно; выбираются из аттестата измерителя времени.

Признаком высокого качества измерителя времени и правильной его эксплуатации на корабле является постоянство суточного хода. Для СВЭК принято допустимым иметь в среднем $\omega_{\text{св}} \leq (0,015 \pm 0,001)$ с/сут. для механического морского хронометра — $\omega_{\text{хр}} \leq (2 \pm 0,2)$ с/сут, для механических палубных часов — $\omega_{\text{пч}} \leq (9 \pm 1,2)$ с/сут.

§ 6.4. ПЕРЕДАЧА ИНФОРМАЦИИ О ТОЧНОМ ВРЕМЕНИ НА КОМАНДНЫЕ ПУНКТЫ И БОЕВЫЕ ПОСТЫ КОРАБЛЯ

Информация о точном времени может быть передана автоматически на цифровые и стрелочные индикаторы СВЭК. В прочих случаях необходимо сравнить (сличить) в один и тот же момент показания эталонного измерителя времени (поправка которого известна) и показания рабочих часов

$$cA = T_{\text{св}} - T_{\text{ч}} \text{ или } cA = T_{\text{хр}} - T_{\text{ч}}. \quad (6.4.1)$$

Поправка рабочих часов далее найдется как алгебраическая сумма поправки эталонного измерителя времени (например, хронометра) и сличения

$$u_{\text{ч}} = u_{\text{хр}} + cA. \quad (6.4.2)$$

При наблюдениях остается зарегистрировать показания рабочих часов и найти точное время по формуле (6.2.3).

Секундомеры 1 и 2-го классов дают погрешность в показаниях интервала времени, прошедшего после их пуска, не более 1 с за 30 мин работы; поэтому они могут быть использованы для передачи информации о точном времени. Если секундомер пущен в ход при показании хронометра T_{xp} и в дальнейшем по секундомеру зарегистрировано показание $\tau_{сек}$, то всемирное время в момент этого показания будет

$$T_{гр} = T_{xp} + \tau_{сек} + u_{xp}. \quad (6.4.3)$$

В другом варианте можно предвычислить показание хронометра для какого-либо начального момента всемирного времени T_{xp}^n

$$T_{xp}^n = T_{гр}^n - u_{xp}. \quad (6.4.4)$$

В момент наступления T_{xp}^n следует пустить секундомер, который будет непосредственно воспроизводить течение всемирного времени. В какой-либо момент $\tau_{сек}$ всемирное время будет

$$T_{гр} = T_{xp}^n + \tau_{сек}. \quad (6.4.5)$$

Примеры вычислений по формулам данной главы даны в § 9.7 и в разд. VII.

Для реализации требований к точности измерения времени, изложенных в § 6.1, необходимо ежедневно принимать радиосигналы времени; во время похода проверка морских часов, установленных на ходовых боевых постах и командных пунктах, должна производиться каждые четыре часа (после заступления очереди вахты).

Глава 7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТЕЙ И ПРОИДЕННЫХ КОРАБЛЕМ РАССТОЯНИЙ

§ 7.1. ЕДИНИЦЫ ДЛИНЫ И СКОРОСТИ, ПРИНЯТЫЕ В КОРАБЛЕВОЖДЕНИИ

Все расстояния на поверхности земного эллипсоида определяются длинами кривых линий, проходящих через заданные точки. Элементарными частями этих кривых являются дуги, измеряемые угловыми единицами — градусами и минутами. Таким образом, угловые единицы длины являются естественной мерой расстояний на Земле.

Первоначально основной единицей длины для измерения расстояний на море была принята длина одной минуты дуги земного меридиана, названная *морской милей*. Длина эта $\Delta l'_M$ может быть вычислена по формуле (1.2.1) или по формуле

$$\Delta l'_M = 1852,23 - 9,34 \cos 2\varphi. \quad (7.1.1)$$

Как видно из этих формул, длина одной минуты дуги земного меридиана непостоянна и изменяется в зависимости от широты от 1842,9 м на экваторе до 1861,6 м на полюсе. Непостоянство длины минуты дуги меридиана создавало неудобства при измерении расстояний и ведении навигационной прокладки, причем этот недостаток возрастал с повышением точности кораблевождения.

Учитывая сказанное, Международное гидрографическое бюро в 1928 г. рекомендовало принять стандартную длину морской мили (1852 м), что соответствует длине одной минуты дуги земного меридиана в широте примерно 45°. В дальнейшем, когда морская миля, равная 1852 м, была принята повсеместно, пояснение *стандартная* стало излишним и его перестали применять.

Для пересчета расстояний, выраженных в морских милях, в расстояния, выраженные в километрах, используется равенство

$$1 \text{ миля} = 1,852 \text{ км.}$$

Для обратного перехода служит равенство

$$1 \text{ км} = 0,54 \text{ мили.}$$

При измерении сравнительно небольших расстояний (как правило, в пределах дальности технических средств наблюдения) в кораблевождении используется единица длины — *кабельтов* — одна десятая часть морской мили (185,2 м).

В морской артиллерии традиционно используется единица длины — *артиллерийский кабельтов*, равный 182,88 м.

$$1 \text{ кбт} = 1,013 \text{ арт. кбт};$$

$$1 \text{ арт. кбт} = 0,987 \text{ кбт.}$$

За основную единицу скорости в кораблевождении принимается *узел* — скорость, при которой корабль (объект) проходит одну морскую милю за один час времени:

$$1 \text{ уз} = 1 \text{ миля/ч} = 1,85 \text{ км/ч.}$$

При решении задач маневрирования используется единица скорости *кабельтовы в минуту*:

$$1 \text{ кбт/мин} = 6 \text{ уз;}$$

$$1 \text{ уз} = 0,167 \text{ кбт/мин} \approx \frac{1}{6} \text{ кбт/мин.}$$

При расчетах, связанных со скоростью ветра, и в ряде других случаев используется единица скорости *метры в секунду*:

$$1 \text{ м/с} \approx 2 \text{ уз;}$$

$$1 \text{ уз} \approx 0,5 \text{ м/с.}$$

Для перевода скоростей из одних единиц в другие служат табл. 37 и график прил. 9 МТ-75.

§ 7.2. ОТНОСИТЕЛЬНАЯ И АБСОЛЮТНАЯ СКОРОСТИ КОРАБЛЯ

Перемещение корабля относительно земной поверхности (дна моря) происходит под воздействием собственных движителей, течения и ветра.

Под воздействием собственных движителей корабль перемещается относительно воды со скоростью V_0 , которая называется *относительной скоростью*.

Под воздействием течения корабль вместе с массами воды перемещается относительно земной поверхности со скоростью течения v_T . Скорость перемещения корабля под воздействием течения называется *переносной скоростью*.

Под суммарным воздействием движителей, течения и ветра корабль перемещается относительно земной поверхности со скоростью V , которая называется *путевой*, или *абсолютной скоростью*.

При отсутствии дрейфа корабля его вектор относительной скорости направлен вдоль продольной оси корабля (вдоль диаметральной плоскости корабля), т. е. по линии курса. При наличии дрейфа вектор относительной скорости составляет с диаметральной плоскостью корабля некоторый угол α , называемый *углом дрейфа* (рис. 7.2.1). При воздействии ветра в левый борт вектор относительной скорости корабля отклоняется от диаметральной плоскости в сторону правого борта (по ходу часовой стрелки), при воздействии ветра в правый борт — вектор относительной скорости отклоняется в сторону левого борта.

Величина вектора *относительной скорости* складывается из двух составляющих

$$V_0 = V_{06} + v_{др},$$

где V_{06} — скорость, развиваемая кораблем в зависимости от числа оборотов движителей в единицу времени;

$v_{др}$ — скорость корабля за счет воздействия на него силы ветра.

Вектор переносной скорости совпадает с направлением течения K_T , а его величина приближенно равна скорости течения v_T .

Вектор *путевой (абсолютной) скорости* V направлен по равнодействующей векторов V_0 и v_T и равен геометрической сумме этих векторов

$$\vec{V} = \vec{V}_0 + \vec{v}_T = \vec{V}_{об} + \vec{v}_{др} + \vec{v}_T.$$

Линия, по которой перемещается центр массы корабля относительно дна моря (линия, по которой направлен вектор путевой скорости), называется *линией пути*. Она составляет с северной частью истинного меридиана угол, называемый *путевым углом* (ПУ).

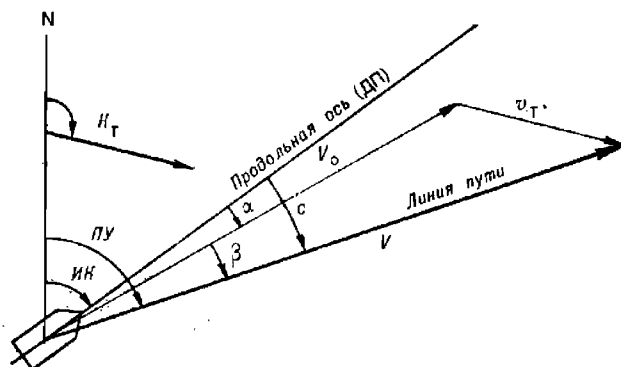


Рис. 7.2.1

Отклонение вектора путевой скорости от направления вектора относительной скорости называется *углом сноса* β . Иными словами, угол сноса — это угол между линией пути при сносе и линией истинного курса или линией пути при дрейфе (при наличии дрейфа).

Отклонение вектора путевой скорости от диаметральной плоскости корабля при наличии дрейфа и сноса течением называется *суммарным углом сноса* $c = \alpha + \beta$.

Величина относительной скорости определяется с помощью относительного лага. Величина абсолютной скорости измеряется с помощью абсолютного лага или инерциальной навигационной системы (ИНС). Величина переносной скорости определяется расчетным способом по показаниям относительного и абсолютного лагов, а также по атласам суммарных течений, с помощью измерителей течений или по наблюдениям.

§ 7.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ СКОРОСТИ И РАССТОЯНИЯ, ПРОЙДЕННОГО ОТНОСИТЕЛЬНО ВОДЫ

В настоящее время используются два основных принципа определения относительной скорости — гидродинамический и индукционный.

Первый принцип — гидродинамический — реализован в гидродинамических лагах. Его сущность состоит в измерении динамического давления, возникающего при движении корабля в водной среде. Это давление p_d пропорционально относительной скорости корабля и, следовательно, $V_0 = f(p_d)$.

Второй принцип — индукционный — реализован в индукционных лагах. Он основан на использовании явления электромагнитной индукции: под днищем корабля вокруг специального электромагнита создается магнитное поле. При перемещении этого поля вместе с кораблем в морской воде, как в проводнике, наводится электродвижущая сила, пропорциональная относительной скорости корабля. По измеренной эдс вычисляется величина относительной скорости V_0 .

Пройденное относительно воды расстояние S_0 за время $t = T_2 - T_1$ вырабатывается путем интегрирования относительной скорости

$$S_0 = \int_0^t V_0 dt.$$

Пройденное расстояние S_0 , определяемое с помощью лага, обозначается символом S_L . Практически оно определяется как разность двух отсчетов лага oL_1 и oL_2 , измеренных по шкале счетчика пройденного расстояния в моменты времени T_1 и T_2

$$рол = oL_2 - oL_1.$$

Из-за наличия инструментальных и различного рода гидродинамических погрешностей разность отсчетов лага $рол$ не соответствует действительному расстоянию, пройденному кораблем относительно воды, т. е. в общем случае $S_0 \neq рол$. Для определения пройденного расстояния используется одна из двух формул:

$$S_L = рол k_L; \quad (7.3.1)$$

$$S_L = рол + \frac{\Delta L}{100} рол = рол \left(1 + \frac{\Delta L}{100} \right), \quad (7.3.2)$$

здесь S_L — пройденное относительно воды расстояние S_0 , рассчитанное по лагу;

$рол$ — разность отсчетов лага;
 k_L — коэффициент лага;
 ΔL — поправка лага, проценты.

Если ΔL — положительная, то $S_L > рол$.

Если ΔL — отрицательная, то $S_L < рол$.

Из сравнения формул (7.3.1) и (7.3.2) следует:

$$k_L = 1 + \frac{\Delta L}{100}; \quad (7.3.3)$$

$$\Delta L = (k_L - 1) \cdot 100. \quad (7.3.4)$$

Последние две формулы используются для пересчета коэффициента лага в поправку лага и наоборот.

Коэффициент k_L и поправка лага ΔL определяются на мерной линии при измерении скоростей корабля и при определении степени их зависимости от частоты вращения движителей (гл. 11). Значение k_L (ΔL) для различных скоростей V_L заносится в таблицу коэффициентов (поправок) лага, которым в дальнейшем и пользуются.

Относительные скорость и пройденное расстояние без учета скорости за счет дрейфа могут быть рассчитаны по частоте вращения

двигателей, т. е. по числу оборотов двигателей в единицу времени:

$$V_{06} = f(N); S_{06} = V_{06}t = V_{06}(T_2 - T_1),$$

где $f(N)$ — функция, характеризующая зависимость скорости данного корабля от числа оборотов двигателей N в единицу времени (определяется по результатам ходовых испытаний на мерной линии);

S_{06} — пройденное кораблем расстояние (относительно воды) за интервал времени t .

Практически это выполняется следующим образом:

— через фиксируемые по секундомеру интервалы времени t_i снимаются отсчеты oc_{q_i} по суммирующему счетчику оборотов двигателей, рассчитываются их разности $roc_{q_i} = oc_{q_2} - oc_{q_1}$ и число оборотов двигателей в единицу времени (как правило, за минуту): $N_i = roc_{q_i}/t_i$; по пяти-семи замерам определяется вероятнейшее значение $N = \Sigma N_i/n$;

— с помощью графика соответствия скорости числу оборотов двигателей $V_{06} = f(N)$ по N определяется относительная скорость V_{06} ;

— рассчитывается пройденное кораблем расстояние за заданный интервал времени t : $S_{06} = V_{06}t$.

Приближенное значение относительной скорости V_0 может быть снято по шкале скорости относительного лага или определено по числу оборотов, фиксируемых тахометрами. Рассчитанное по этой скорости пройденное расстояние используется для выявления промахов в величине S_d , рассчитанной по разности отсчетов лага.

Средняя квадратическая погрешность определения расстояния, пройденного относительно воды по лагу m_{S_d} (в процентах), вычисляется по формуле

$$m_{S_d} = \sqrt{m_{рол}^2 + m_{\Delta л}^2}, \quad (7.3.5)$$

здесь $m_{рол}$, $m_{\Delta л}$ — СКП разности отсчетов лага и поправки лага (в процентах) соответственно.

Ориентировочное значение m_{S_d} составляет 0,1—0,3 %.

Средняя квадратическая погрешность определения расстояния, пройденного по оборотам двигателей $m_{S_{06}}$ (в процентах), вычисляется по формуле

$$m_{S_{06}} = \sqrt{m_t^2 + m_{V_{06}}^2}, \quad (7.3.6)$$

здесь m_t , $m_{V_{06}}$ — СКП измерения времени плавания и определения скорости по числу оборотов двигателей (в процентах) соответственно.

Ориентировочное значение величины $m_{S_{06}}$ при использовании суммарного счетчика составляет 0,5—0,7 ‰, а при использовании тахометра 1,1—1,5 ‰.

Если лаговая скорость считывается непосредственно по шкале указателя скорости лага, то СКП пройденного расстояния, рассчитываемого по этой скорости, существенно больше, чем СКП пройденного расстояния, определяемого по шкале пройденного расстояния лага. Поэтому пройденное расстояние (относительно воды) следует всегда рассчитывать по счетчику пройденного расстояния лага.

При отсутствии дрейфа критерием отсутствия промахов (грубых ошибок) в определении пройденного расстояния является неравенство

$$S_x - S_{об} \leq 3 \sqrt{m_{S_x}^2 + m_{S_{об}}^2} = \Delta S_p. \quad (7.3.7)$$

При использовании суммарного счетчика критическое значение $\Delta S_p = 1,5 - 2,0 \%$; при использовании тахометров или шкалы указателя скорости лага $\Delta S_p = 3,0 - 3,8 \%$.

Вероятнейшее значение пройденного кораблем расстояния S_b при отсутствии промахов (при соблюдении условия 7.3.7) и использовании суммарных счетчиков оборотов определяется по формуле

$$S_b = \frac{S_x m_{S_{об}}^2 + S_{об} m_{S_x}^2}{m_{S_x}^2 + m_{S_{об}}^2} \quad (7.3.8)$$

или

$$S_b = \frac{1}{3} (S_{об} + 2S_x). \quad (7.3.9)$$

Величина $S_{об}$ не учитывает перемещения корабля за счет ветрового дрейфа. Поэтому при наличии дрейфа от ветра, действующего на острых (тупых) курсовых углах, и при отсутствии таблицы поправок скорости при дрейфе в расчет принимается только величина S_x , а значение $S_{об}$ используется в этом случае только для выявления промахов. Если же имеются экспериментальные данные об изменении скорости хода при ветре, то в последние формулы подставляется значение $S_{об} = (V_{об} + \Delta V_{др}) t$, где $\Delta V_{др}$ — поправка скорости корабля при дрейфе.

Пройденное кораблем расстояние учитывается при ведении навигационной прокладки как один из главных ее элементов. При этом решаются две основные задачи: определение уже пройденного кораблем расстояния (по отсчетам лага и по поправке лага) и предвычисление времени и отсчета лага для наперед заданной точки.

Первая задача — *определение пройденного расстояния* — решается в следующей последовательности:

— в заданный момент времени T_2 измеряется отсчет лага $ол_2$ и рассчитывается разность отсчета лага относительно исходной (последней или иной другой) точки, отмеченной временем T_1 и отсчетом лага $ол_1$: $рол = ол_2 - ол_1$;

— по V_x из таблицы поправок (коэффициентов) лага выбирается коэффициент лага k_x и рассчитывается пройденное расстояние $S_x = рол \cdot k_x$;

— по вышеизложенной методике определяется пройденное расстояние $S_{об}$ по числу оборотов движителей N и времени плавания $t = T_2 - T_1$: $S_{об} = V_{об} t$ (при дрейфе с учетом поправки $\Delta V_{др}$);

— по формуле (7.3.7) производится контроль отсутствия промахов. При отсутствии промахов рассчитывается искомое пройденное расстояние S_b по формуле (7.3.8) или (7.3.9).

В условиях напряженного плавания (частые изменения курсов, высокая плотность обсерваций) в качестве пройденного расстояния используется одна величина S_x , т. е. $S_b = S_x$. Контроль отсутствия промахов в этом случае производится сравнением величины S_x с $S_{об} = V_{об} t$: отсутствие существенного расхождения этих величин, т. е. выполнение неравенства (7.3.7), будет свидетельствовать об отсутствии грубых ошибок в величине S_x .

Вторая задача — *предвычисление времени и отсчета лага для наперед заданной точки* — решается в следующей последовательности:

— с карты снимается расстояние S между заданной точкой и ближайшей точкой (обсервацией), отмеченной временем T_1 и отсчетом лага $ол_1$, и рассчитывается время плавания от точки ($T_1, ол_1$) до заданной точки: $t = S/V_0$;

— рассчитывается момент ожидаемого прибытия корабля в заданную точку $T_2 = T_1 + t$;

— предвычисляется *рол* и *ол₂*, соответствующий заданной точке: *рол* = S/k_s ; *ол₂* = $ол_1 + \text{рол}$.

§ 7.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПУТЕВОЙ (АБСОЛЮТНОЙ) СКОРОСТИ И ПУТЕВОГО РАССТОЯНИЯ

При наличии течения путевая (абсолютная) скорость корабля и путевое расстояние — расстояние, пройденное кораблем относительно поверхности Земли, — могут быть определены тремя способами:

— геометрическим суммированием относительного и переносного (под воздействием течения) перемещений корабля;

— с помощью технических средств навигации — абсолютного лага или инерциальной навигационной системы (ИНС);

— по обсервациям (гл. 13).

Принципиальной разницы в терминах *путевая скорость* и *абсолютная скорость* нет. Абсолютную скорость, рассчитанную по относительной и переносной скоростям, принято называть *путевой*, а скорость, определенную с помощью абсолютного лага или ИНС, чаще называют *абсолютной*.

Определение путевой скорости и расстояния по векторам относительного и переносного перемещений

Сущность определения вектора путевой скорости по вектору относительной скорости и вектору скорости течения состоит в построении *скоростного треугольника* (рис. 7.4.1), в котором всегда соблюдается векторная (геометрическая) сумма $\vec{V} = \vec{V}_0 + \vec{v}_T$.

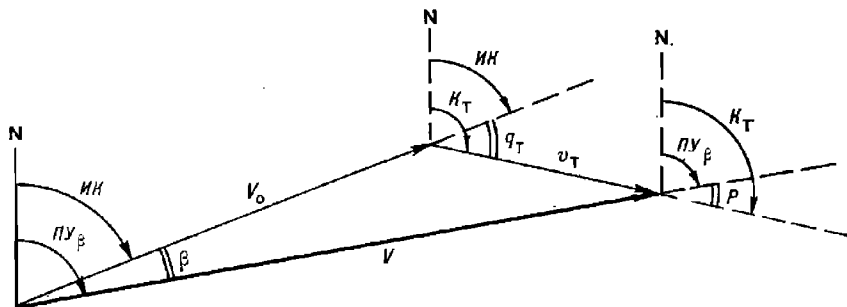


Рис. 7.4.1

Аналитически модуль и направление вектора путевой скорости рассчитываются по формулам:

$$V = \sqrt{V_0^2 + 2V_0 v_T \cos q_T + v_T^2}; \quad (7.4.1)$$

$$\text{ПУ}_\beta = \text{ИК} + \text{arctg} \frac{v_T \sin q_T}{V_0 + v_T \cos q_T}; \quad (7.4.2)$$

здесь $q_T = K_T - \text{ИК}$ (в корабельной полукруговой системе счета).

Средняя квадратическая погрешность путевой скорости оценивается величиной

$$m_V = \sqrt{(m_{V_0} \cos \beta)^2 + (m_{v_T} \cos \rho)^2 + \left[\frac{1}{57,3} V_0 \sin \beta \sqrt{m_{K_T}^2 + m_{ИК}^2} \right]^2}, \quad (7.4.3)$$

здесь β — угол сноса, т. е. угол между направлениями линий пути и истинного курса; $\beta = ПУ_\beta - ИК$;

ρ — угол между направлениями течения и линии пути.

Расчет величин V , $ПУ_\beta$ и m_V с помощью ПМК производится по следующей программе:

```

В/О  F ПРГ
ИП2  ИП0  —   П9  Fcos ИП1  ×   ИП3  ×   2
×     ИП1  Fx²  +   ИП3  Fx²  +   FV- ПА  ИП9
F sin ИП3  ×   ИП9  Fcos ИП3  ×   ИП1  +   ;
F arctg ПВ  ИП0  +   ПС  ИП7  Fx²  ИП8  Fx²  +
FV-  ИП1  ×   ИП4  :   ИПВ  F sin ×   Fx²  ИП9
ИПВ   —   Fcos ИП6  ×   Fx²  +   ИПВ  Fcos ИП5
×     Fx²  +   FV-  ПД  С/П (66 шагов)
    
```

ФАВТ.

Реализация программы:

— в ПМК вводятся исходные данные: ИК П0; V_0 П1; K_T П2; v_T П3; 57,3 П4; m_{V_0} П5; m_{v_T} П6; m_{K_T} П7; $m_{ИК}$ П8;

— нажимаются клавиши В/О С/П и после обработки программы нажатием клавиш высвечиваются на индикаторе искомые величины: ИПА → V , уз; ИПВ → β° ; ИПС → $ПУ_\beta$; ИПД → m_V , уз.

Пример. Корабль следует истинным курсом $ИК=320,0^\circ$, относительная скорость $V_0=10,0$ уз, $v_T=2,0$ уз, $K_T=260,0^\circ$.

Определить направление и модуль путевой скорости корабля и оценить ее точность, если $m_{V_0}=0,1$ уз, $m_{v_T}=0,5$ уз, $m_{K_T}=40,0^\circ$, $m_{ИК}=0,5^\circ$.

Решение: в ПМК вводятся исходные данные: 320 П0; 10 П1; 260 П2; 2 П3; 57,3 П4; 0,1 П5; 0,5 П6; 40 П7; 0,5 П8 и нажимаются клавиши В/О С/П.

Ответ. После обработки программы получим: ИПА → $V=11,135$ уз; ИПВ → $\beta=-8,948^\circ \approx -9,0^\circ$; ИПС → $ПУ_\beta=311,05^\circ \approx 311,0^\circ$; ИПД → $m_V=1,13$ уз.

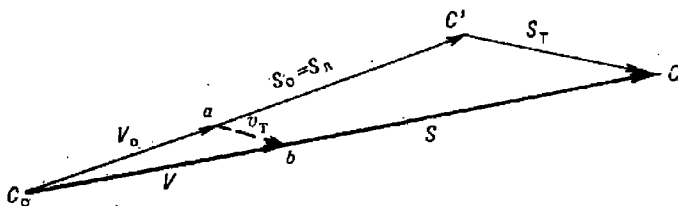


Рис. 7.4.2

Расстояние S рассчитывается путем построения *путевого треугольника* $C_0C'C$ (рис. 7.4.2), подобно скоростному треугольнику C_0ab . Сторонами этого треугольника являются величины: $S_0=S_\lambda$, рассчитываемое по относительному лагу, $S_T=v_T t$ — перемещение корабля под

воздействием течения за рассматриваемый интервал времени t , и иско-
мое расстояние S . При построении путевого треугольника соблюдается
правило

$$\vec{S} = \vec{S}_0 + \vec{S}_T.$$

При известной путевой скорости величина расстояния рассчитыва-
ется по формуле

$$S = Vt.$$

Направление расстояния S совпадает с направлением вектора путе-
вой скорости, т. е. вектор плавания \vec{S} всегда направлен по линии пути
на течения.

Точность пройденного расстояния оценивается СКП, вычисляемой
по формуле

$$m_s = tm_v. \quad (7.4.4)$$

Таким образом, точность путевой скорости и пройденного расстояния,
определяемых векторным сложением относительного и переносного пе-
ремещений, зависит от точности направления и величины этих переме-
щений.

Определение абсолютных скорости и расстояния с помощью абсолютного лага

В гидроакустическом абсолютном лаге реализован доплеровский
принцип измерения абсолютной скорости: скорость корабля относи-
тельно поверхности Земли пропорциональна доплеровскому
сдвигу излученных в сторону
морского дна и отраженных от
него акустических волн.

Гидроакустический лаг изме-
ряет две составляющие абсолют-
ной скорости корабля (рис. 7.4.3):
— продольную V_x — вдоль
диаметральной плоскости, или
продольной оси корабля (перед-
ний ход — V_x положительная,
задний — V_x отрицательная);
— поперечную V_y — перпен-
дикулярно диаметральной пло-
скости корабля (при направле-
нии V_y в сторону правого борта
она положительная, в сторону
левого борта — отрицательная).

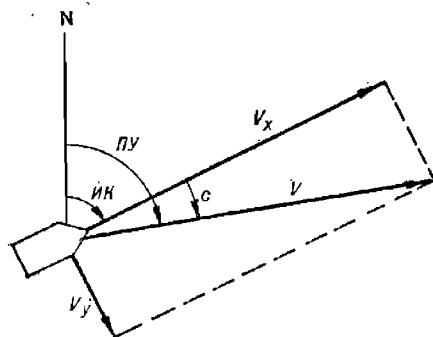


Рис. 7.4.3

Вектор абсолютной скорости равен геометрической сумме его со-
ставляющих, т. е.

$$\vec{V} = \vec{V}_x + \vec{V}_y. \quad (7.4.5)$$

Направление этого вектора совпадает с направлением линии пути,
а модуль определяется выражением

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}. \quad (7.4.6)$$

Суммарный угол сноса $c = \alpha + \beta$ рассчитывается по формуле

$$\text{tg } c = V_y / V_x. \quad (7.4.7)$$

а направление линии пути

$$ПУ = ИК + с. \quad (7.4.8)$$

После калибровки абсолютного лага остаточные систематические погрешности учитываются вводом поправок: коэффициента лага $k_{ла}$ для продольной составляющей и поправки $\Delta V_y = -V_x \sin p$ — для поперечной составляющей, т. е.

$$\left. \begin{aligned} V_x &= V'_x k_{ла}; \\ V_y &= V'_y - V_x \sin p, \end{aligned} \right\} \quad (7.4.9)$$

где V'_x и V'_y — измеренные по лагу составляющие абсолютной скорости;

p — угол отклонения оси вибраторов (антенны) лага от диаметральной плоскости корабля; при отклонении в сторону правого борта угол p положительный, в сторону левого борта — отрицательный.

Значения коэффициента абсолютного лага $k_{ла}$ и угла p определяются при калибровке лага.

Средние квадратические погрешности составляющих вектора абсолютной скорости, полученного по показаниям абсолютного лага, без учета точности системы курсоуказания рассчитываются по приближенным формулам:

$$m_V = \frac{V_x}{V} \sqrt{V_x^2 m_{k_{ла}}^2 + V_y^2 m_p^2}; \quad (7.4.10)$$

$$m_{ПУ} = \frac{57,3 V_x}{V^2} \sqrt{V_x^2 m_p^2 + V_y^2 m_{k_{ла}}^2}, \quad (7.4.11)$$

где m_p — СКП определения угла разворота оси антенны лага, радианы;
 $m_{k_{ла}}$ — СКП определения коэффициента лага.

Величины m_p и $m_{k_{ла}}$ определяются при калибровке лага и обычно составляют порядка: $m_p = 0,1^\circ$; $m_{k_{ла}} = 0,002$.

Если конструкцией абсолютного лага предусмотрены счетчики пройденного расстояния S_x и S_y , то расстояние, пройденное кораблем относительно грунта, рассчитывается по формулам:

$$\left. \begin{aligned} S &= \sqrt{S_x^2 + S_y^2}; \\ S_x &= k_{ла} (ол_{x_2} - ол_{x_1}) = \rho ол_x k_{ла}; \\ S_y &= (ол_{y_2} - ол_{y_1}) - S_x \sin p = \rho ол_y - \frac{S_x p}{57,3}. \end{aligned} \right\} \quad (7.4.12)$$

При отсутствии счетчиков пройденного расстояния путевое расстояние вычисляется по формуле

$$S = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} (T_2 - T_1), \quad (7.4.13)$$

где T_1 и T_2 — предыдущий и заданный моменты измерения скоростей по лагу.

Для исключения случайных погрешностей составляющие скорости V'_x и V'_y определяются по многократным измерениям, т. е. вычисляются как средние арифметические значения по результатам серии нескольких измерений.

Определение абсолютной скорости с помощью инерциальной навигационной системы

В инерциальных навигационных системах абсолютная скорость корабля вырабатывается автоматически на основе математической обработки информации об ускорениях w_x и w_y , которые измеряются акселерометрами по двум взаимно перпендикулярным направлениям x и y в плоскости стабилизированной платформы. Результаты интегрирования этих ускорений, отнесенные к радиусу Земли R , наряду с другими данными содержат информацию о составляющих абсолютной скорости корабля по меридиану V_N и параллели V_E , т. е.

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{R} \int_0^t w_y dt &= \left(\omega + \frac{V_E}{r} \right) \cos \varphi \cos \alpha - \frac{V_N}{R} \sin \alpha; \\ \frac{1}{R} \int_0^t w_x dt &= - \left(\omega + \frac{V_E}{r} \right) \cos \varphi \sin \alpha - \frac{V_N}{R} \cos \alpha, \end{aligned} \right\} \quad (7.4.14)$$

здесь r — радиус параллели φ ;

α — угол между направлением оси x и направлением истинного меридиана в данной точке;

ω — угловая скорость вращения Земли вокруг своей оси.

Выделяя из этих сигналов (путем математической компенсации известных параметров земного эллипсоида и угловой скорости суточного вращения Земли) искомые значения V_N и V_E , можно вычислить элементы вектора абсолютной скорости:

$$\left. \begin{aligned} V &= \sqrt{V_N^2 + V_E^2}; \\ \text{ПУ} &= \text{arctg } V_E : V_N. \end{aligned} \right\} \quad (7.4.15)$$

Средние квадратические погрешности этих величин определяются по формулам:

$$\left. \begin{aligned} m_V &= \frac{1}{V} \sqrt{(V_N m_{V_N})^2 + (V_E m_{V_E})^2}; \\ m_{\text{ПУ}} &= \frac{57,3}{V^2} \sqrt{(V_N m_{V_E})^2 + (V_E m_{V_N})^2}. \end{aligned} \right\} \quad (7.4.16)$$

Средние квадратические погрешности составляющих абсолютной скорости по меридиану и параллели m_{V_N} и m_{V_E} зависят от типа ИНС, точности измерения ускорений, точности работы гироскопических блоков стабилизации платформ, на которых установлены акселерометры, и точности учета угла отклонения отвесной линии от нормаль к земному эллипсоиду в данной точке.

Раздел III
ПОДГОТОВКА К ПОХОДУ

Глава 8

ОСНОВНЫЕ ОБЯЗАННОСТИ ПО КОРАБЛЕВОЖДЕНИЮ ДОЛЖНОСТНЫХ ЛИЦ КОРАБЛЯ И СОЕДИНЕНИЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ К ПОХОДУ

§ 8.1. ОБЯЗАННОСТИ КОМАНДИРА КОРАБЛЯ

Командир корабля отвечает за поддержание корабля в установленной готовности к походу и качественную подготовку к плаванию.

Одним из важных элементов подготовки корабля к походу является навигационная подготовка, включающая комплекс мероприятий, обеспечивающих готовность личного состава и корабельных технических средств навигации к решению задач кораблевождения на походе.

Навигационная подготовка корабля к походу делится на два этапа. Первый этап — *предварительная подготовка* к походу; проводится в течение нескольких суток (часов) — от момента постановки кораблю задачи до момента начала приготовления корабля к походу. Второй этап — *окончательная подготовка*; проводится в течение нескольких часов — от момента начала приготовления к походу до приведения корабля в назначенную готовность к походу.

После получения распоряжения о подготовке корабля к плаванию и уяснения поставленных на поход задач и порядка их выполнения командир корабля обязан организовать подготовку офицеров корабля по изучению с ними морского театра, намеченного маршрута перехода и района плавания в оперативном, мином, навигационно-гидрографическом и гидрометеорологическом отношении, границ территориальных вод, специальных зон, запретных и опасных районов, международных правил плавания и прохода проливов, а также других вопросов, необходимых для качественного выполнения поставленной задачи.

При постановке задачи на поход командир корабля должен указать штурману:

— назначенное время выхода или назначенную готовность к походу и срок, к которому штурманская боевая часть должна быть приведена в эту готовность;

— цель и продолжительность похода, задачи, которые поставлены кораблю; место корабля в строю (ордере) при плавании в составе соединения;

— порядок выхода из пункта базирования;

— маршрут перехода и район предстоящего выполнения задачи;

— конечный пункт похода, контрольные рубежи, районы (точки) встречи с другими кораблями, время прибытия в них или их прохода;

— назначенные и возможные пункты захода, места якорных стоянок и укрытий;

— данные оперативно-тактической, в том числе минной обстановки или изменения в ней, необходимые для учета при выполнении предварительных навигационных расчетов;

— исходные данные для производства предварительных расчетов тактического и боевого маневрирования, если их выполнение возложено на штурманскую боевую часть;

— необходимую точность плавания и выработки навигационных параметров;

— организацию навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения похода, а также порядок заказа и использования дополнительных средств, необходимых для решения задач, поставленных кораблю на поход;

— перечень корабельных технических средств навигации, которыми следует довооружить корабль, порядок и сроки довооружения;

— ограничения в использовании корабельных технических средств навигации на каждом этапе похода;

— документы, которые необходимо разработать при подготовке к походу, и время их представления;

— другие вопросы, исходя из поставленных задач, навигационно-гидрографических и гидрометеорологических условий предстоящего плавания и дополнительной информации, полученной в штабе соединения.

При подготовке корабля к походу командир корабля:

а) лично изучает район предстоящего плавания и указания по навигации штаба соединения;

б) проверяет расчеты штурмана, положенные в основу предварительной прокладки на поход, обращая внимание на:

— соответствие предварительной прокладки поставленной задаче, обстановке и условиям плавания, требованиям навигационных руководств, международных и региональных соглашений по мореплаванию, местным правилам плавания и указаниям по навигации штаба соединения;

— надежность обеспечения навигационной безопасности в сложных районах;

— последние изменения в навигационной обстановке по маршруту перехода и в районе предстоящего плавания;

— наличие всех необходимых навигационных морских карт, топографических карт, руководств и пособий для плавания, в том числе на случай изменения маршрута, справочных материалов;

— правильность выбора штурманом периодичности и средств observations с целью обеспечения заданной точности плавания;

в) проверяет навигационно-тактические расчеты, расчеты маневрирования для выполнения специальных задач, а также предварительные расчеты тактического и боевого маневрирования, если они выполнялись штурманом;

г) утверждает организацию штурманской вахты и варианты использования технических средств навигации в походе, принимает доклад о значениях поправок технических средств навигации;

д) утверждает заявки на дополнительное навигационно-гидрографическое и гидрометеорологическое обеспечение и навигационное ориентирование и подписывает их;

е) утверждает предварительную прокладку и расчеты маневрирования своей подписью на таблице плавания и проектах маневрирования;

ж) планирует и организует, если необходимо, внеочередное определение маневренных элементов и поправок технических средств навигации;

з) лично проверяет штурманскую подготовку офицеров, назначенных (прикомандированных) на поход для исполнения обязанностей в штурманской боевой части и несения ходовой вахты; при положительных результатах допускает их к исполнению соответствующих должностей;

и) организует изучение и проверку знания своими помощниками и офицерами, несущими ходовую вахту, района предстоящего плавания и правил плавания;

к) руководит разработкой графических планов маневрирования корабля для отхода от мест стоянки в пунктах базирования (подхода к ним в пунктах захода) и доводит его до лиц, участвующих в осуществлении этого маневра (командиров боевых частей — штурманской, электромеханической, управления и т. д.).

В зависимости от обстановки, сроков выполнения поставленных задач и установленной готовности к походу командир корабля назначает время начала окончательного приготовления корабля к бою и походу с расчетом закончить его за 10 мин до назначенного времени съёмки с якоря (бочки, швартовов).

Приготовление к бою и походу всегда должно осуществляться в полном объеме независимо от продолжительности плавания (выхода в море), сложности поставленных задач, фактического состояния и прогноза погоды.

§ 8.2. ОБЯЗАННОСТИ ОФИЦЕРОВ ШТУРМАНСКОЙ БОЕВОЙ ЧАСТИ

Предварительная подготовка штурманской боевой части к походу начинается с момента получения штурманом от командира корабля задачи на поход или (и) указания о времени готовности к выходу в море.

Задача, поставленная командиром корабля, может быть дополнена указаниями по навигации штаба соединения или указаниями по специальности (заданием на поход) флагманского штурмана соединения.

Типовыми задачами, которые решает штурманская боевая часть при подготовке к выходу в море, являются:

— анализ навигационно-гидрографической, астронавигационной и гидрометеорологической обстановки, оперативно-тактической, в том числе минной обстановки и международно-правовых условий плавания, а также возможного их влияния на выполнение поставленных задач;

— производство предварительных навигационных расчетов и предварительной прокладки маршрута похода;

— определение вариантов использования технических средств навигации корабля и средств навигационного оборудования района предстоящего плавания;

— подготовка предложений о дополнительных мерах по навигационно-гидрографическому и гидрометеорологическому обеспечению предстоящего плавания.

В некоторых случаях на штурманскую боевую часть дополнительно возлагается выполнение предварительных расчетов тактического и боевого маневрирования корабля, которые проводятся совместно с другими боевыми частями и службами.

План подготовки штурманской боевой части к походу, включающий весь комплекс мероприятий, обеспечивающий готовность личного

состава и технических средств к решению задач кораблевождения на походе, составляется при большом объеме и длительности предварительного приготовления. План подписывает штурман корабля и утверждает командир корабля.

В остальных случаях необходимые мероприятия по подготовке штурманской боевой части к походу включаются в суточные планы боевой подготовки.

После получения задачи на поход штурман должен изучить и оценить район предстоящего плавания с целью подробного анализа обстановки и условий плавания. Дополнительную информацию об обстановке по району плавания (маршруту перехода) штурман корабля должен получить в штабе соединения или в ближайшем подразделении гидрографической службы. В частности, необходимо:

— сверить номера последних из имеющихся на корабле выпусков извещений мореплавателям и навигационных предупреждений, передаваемых по радио (ИМ, ПРИП, НАВИП, НАВАРЕА и др.), с их номерами в ближайшем подразделении гидрографической службы или в штабе соединения, получить или переписать недостающие;

— запросить в ближайшем подразделении гидрографической службы о наличии новых или нового издания навигационных морских карт, руководств и пособий, входящих в обязательный комплект на корабле, о выпуске которых могло быть не объявлено в извещениях мореплавателям, и получить их;

— затребовать в ближайшем подразделении гидрометеорологической службы или получить в штабе соединения долгосрочный прогноз гидрометеорологической обстановки по маршруту предстоящего похода;

— получить в штабе соединения или в ближайшем подразделении гидрометеорологической службы трехсуточный и суточный прогнозы погоды, если их прием по радио при стоянке корабля в базе не предусмотрен.

Штурман должен подготовить и доложить командиру корабля свои выводы и предложения, вытекающие из оценки обстановки в районе предстоящего похода или в отдельных его участках.

Анализ условий предстоящего плавания, подбор и корректура навигационных пособий, а также предварительные навигационные расчеты и прокладка маршрута на путевых картах производятся в соответствии с рекомендациями, изложенными в гл. 9.

При подборе карт в соответствии с задачей на поход, поставленной командиром корабля, необходимо учитывать возможность изменения маршрута в случае постановки дополнительных задач, посещения незапланированных портов, вынужденных заходов для укрытия от шторма, устранения повреждений и т. д.

При подготовке к походу штурман корабля должен доложить на утверждение командиру корабля предложения по вариантам использования технических средств навигации — вариантам работы навигационного комплекса, систем счисления координат, режиму трансляции навигационных параметров потребителям, а также предложения по дополнительному навигационно-гидрографическому и гидрометеорологическому обеспечению и навигационному ориентированию по маршруту перехода и в районе предстоящего плавания. Заблаговременно должен быть сделан доклад командиру корабля о необходимости контрольного (тренировочного) выхода в море для проверки работы технических средств навигации после завершения предварительного приготовления корабля к походу.

Штурман корабля обязан немедленно доложить командиру корабля и флагманскому штурману соединения о любых возникших в ходе подготовки к выходу в море сомнениях в правильности и безопасности назначенного маршрута перехода (района плавания), возможности решения поставленной задачи с использованием штатных технических средств навигации, а также о задержках в приготовлении к выходу в море, их причинах и возможных сроках устранения задержек и окончательного приготовления.

Окончательная подготовка штурманской боевой части к походу представляет собой комплекс мероприятий по приведению личного состава, технических средств, навигационных морских карт, руководств и пособий, командных пунктов и боевых постов в немедленную готовность к походу.

На этом этапе подготовки к походу производятся *регламентные проверки* навигационных приборов и корабельных технических средств навигации на работоспособность в соответствии с эксплуатационными инструкциями. По типовой организации штурманской боевой части выполняются следующие работы:

- рулевая группа (команда, отделение) готовит и проверяет рулевое и размагничивающее устройства, морские часы и прокладочные посты;

- электронавигационная группа (команда, отделение) готовит и проверяет гироскопические курсоуказатели, лаги, автопрокладчики, эхолоты, радиопеленгаторы и корабельные приемопередатчики.

Окончательная подготовка штурманской боевой части производится по специальным графикам подготовки корабля к походу.

Штурман корабля помимо контроля правильности и своевременности приготовления подчиненным личным составом своих заведений *выполняет следующие действия:*

- готовит пост навигационной прокладки на командном пункте штурманской боевой части;

- назначает утвержденные командиром корабля варианты использования технических средств навигации;

- определяет наиболее точным способом место корабля и наносит его на крупномасштабную карту, по которой будет осуществляться выход корабля из пункта базирования;

- определяет постоянные поправки основного и резервного курсоуказателей и вводит в систему счисления исходные данные (координаты ориентиров, поправки курсоуказателей и лагов, коэффициент точности счисления, допустимые погрешности счисления, координаты точек поворота и т. д.);

- проверяет наличие донного освещения магнитных компасов, освещения в ШОП (электрического и от масляных фонарей), работу компенсирующих устройств (КУС) по включению сигнальных лампочек в распределительных щитах КУС;

- выдает исходные данные для ввода в станцию размагничивающего устройства (магнитное склонение и номера зоны магнитной напряженности), в автопрокладчик (координаты исходной точки, масштаб и широту главной параллели карты) и в другие навигационные системы;

- контролирует параметры размагничивающего устройства;

- контролирует правильность транслируемых навигационных данных;

— проверяет готовность к использованию навигационных радиолокационных станций;

— с помощью радиолокатора определяет положение и наносит на карту элементы навигационной обстановки в акватории пункта базирования;

— выясняет навигационную обстановку и режим плавания в близлежащих от предполагаемой линии пути полигонах;

— информирует вахтенного офицера о режиме работы технических средств навигации и о их поправках;

— инструктирует операторов радиолокационных и гидроакустических станций относительно особенностей наблюдения за надводными и подводными объектами;

— производит расчет маневра съемки корабля с якоря (швартовов) и выхода его из пункта базирования; с учетом фактической погоды и реальной обстановки в акватории базирования выбирает наиболее безопасный путь выхода, рассчитывает элементы циркуляции, намечает углы перекладки руля, рассчитывает ожидаемую скорость хода с учетом режима работы двигателей, фактического ветра и течения; расчеты оформляются в виде графического плана маневрирования при выходе из пункта базирования и утверждаются командиром корабля;

— определяет систему контроля навигационной безопасности при выходе корабля из пункта базирования и производит расчет ожидаемой точности выполнения намеченного маневра;

— намечает точки включения лага и автопрокладчика;

— производит инструктаж рулевого относительно особенностей управления рулем при выходе из данного пункта базирования.

При наличии на корабле нескольких офицеров в штурманской боевой части их обязанности при подготовке к походу определяются типовыми расписаниями, графиками и таблицами функциональных обязанностей.

При длительном плавании в районах с благоприятными навигационными условиями на кораблях организуется штурманская вахта как разновидность специальной вахты с подчинением вахтенного штурмана командиру корабля и командиру штурманской боевой части. Назначение штурманской вахты имеет целью обеспечение непрерывного и надежного ведения навигационной прокладки на кораблях с одним штатным штурманом, а также повышение качества практической штурманской подготовки офицерского состава командных специальностей на всех кораблях.

К несению штурманской вахты привлекаются наряду с офицерами штурманских боевых частей офицеры ракетных (ракетно-артиллерийских, артиллерийских), минно-торпедных боевых частей, а также другие офицеры по усмотрению командиров кораблей.

Указанные офицеры — *вахтенные штурмана* — в период предварительной подготовки к походу обязаны:

Изучить:

— организацию штурманской службы на походе и руководящие документы по кораблевождению;

— графический план похода, предварительную прокладку и справочные материалы, разработанные штурманом корабля;

— навигационные условия и режим плавания по всему маршруту;

— правила использования навигационных приборов, расположенных в штурманской рубке и на ходовом мостике, при ведении навигационной прокладки;

- маневренные элементы корабля;
- правила маневрирования для расхождения судов в море;
- правила контроля за работой размагничивающих устройств и перехода на запасные посты управления рулем.

Практически отработать:

- использование морских навигационных карт, руководств и пособий для разработки предварительной прокладки, подъем навигационных карт, подготовку справочных материалов и производство навигационных расчетов по указанию штурмана корабля;
- организацию приема и сдачи штурманской вахты;
- ведение навигационной прокладки (графическое счисление на карте с учетом ветра, течения и определением места зрительными, радионавигационными и астронавигационными способами);
- определение вероятнейшего места;
- расчет точности счисления, наблюдений и вероятнейшего места;
- способы определения поправок навигационных приборов и контроля за работой корабельных технических средств навигации;
- расчеты маневрирования при совместном плавании и расхождении с кораблями (судами) в море;
- документирование решаемых навигационных задач и обстоятельств плавания в навигационном журнале.

§ 8.3. ОБЯЗАННОСТИ ВАХТЕННЫХ ОФИЦЕРОВ

Вахтенные офицеры, допущенные к несению ходовой вахты, *в период предварительной подготовки* к походу обязаны:

Изучить:

- графический план похода;
- навигационные условия по маршруту и режим плавания на отдельных его участках;
- правила контроля за навигационной безопасностью плавания корабля по заданному пути;
- правила маневрирования для уклонения от оружия противника и для предупреждения столкновения кораблей (судов) в море;
- правила маневрирования в строях, ордерах и при использовании оружия;
- маневренные элементы корабля;
- порядок получения гидрометеорологической информации с берега;
- меры, принимаемые при ухудшении погоды, при понижении видимости, а также при приближении тропических циклонов (тайфунов, ураганов).

Практически отработать:

- методы контроля за точным удержанием курса, скорости, места корабля в ордере, а также глубины, режима и рода движения подводной лодки;
- счисление пути корабля с определением его места различными способами; методы контроля счисления по ограждающим линиям положения, створам, плавучему ограждению, глубинам, опасным изобатам;
- измерение навигационных параметров с помощью корабельных технических средств навигации, расположенных на ГКП и ходовом мостике;

— расчеты маневрирования корабля и методы контроля маневра, обращая особое внимание на отработку задач расхождения с кораблями (судами) в море и уклонения от оружия противника;

— действия при переходе на запасные посты управления рулем.

Вахтенные офицеры должны представлять объем работ, производимых при подготовке к походу личным составом штурманской боевой части (§ 8.2), и некоторые работы взять под свой контроль.

Вахтенному офицеру в период окончательной подготовки рекомендуется:

— по рулевому устройству: проверить интервал времени от подачи команды на руль до момента начала перекладки руля, время перекладки руля на 15° , на борт и с борта на борт, а также готовность запасных постов управления рулем;

— по размагничивающему устройству: проверить правильность включения обмоток по магнитным зонам, соответствие силы токов в обмотках установленным величинам для магнитных курсов, установку магнитного склонения;

— по гироскопическим курсоуказателям: следить с момента запуска гирокомпасов за бесперебойной подачей электропитания на гирокомпас; в случае выключения тока принять меры к немедленному его включению; особое внимание обратить на согласование репитеров на ГКЦ и в посту управления рулем с основным прибором; проверить освещение шкал репитеров; перед съемкой с якоря лично определить поправки гирокомпаса и магнитного компаса и сверить их с рассчитанными штурманом;

— по морским часам: не позже чем за 15 мин до съемки с якоря (швартовов) сверить показания часов на постах в районе ходового мостика; различие показаний не должно превышать 0,25 мин;

— по эхолоту: включить эхолот, измерить глубину под килем и, исправив поправкой за базу, сравнить с глубиной, показанной на карте (для приливных морей — с учетом поправки за уровень моря).

Непосредственно перед съемкой корабля с якоря вахтенный офицер обязан:

— проверить обеспеченность прокладочного поста на ГКЦ навигационными морскими картами, руководствами и пособиями для плавания, а также навигационным инструментом;

— определить место стоянки корабля; по данным БИП нанести на карту (планшет) плавучие объекты, находящиеся в зоне предстоящего движения корабля при выходе из базы;

— изучить графический план маневрирования корабля при съемке с якоря, отходе от причала, выходе из пункта базирования;

— ознакомиться с прогнозом погоды и принять меры обеспечения безопасности плавания в неблагоприятных метеорологических условиях.

§ 8.4. ОБЯЗАННОСТИ ФЛАГМАНСКОГО ШТУРМАНА СОЕДИНЕНИЯ

Флагманский штурман соединения при подготовке кораблей соединения к походу обязан давать штурманам выходящих в море кораблей указания по специальности на поход, указания по представлению отчетных материалов после возвращения из похода (по содержанию, форме, срокам представления), проводить предпоходовый инструктаж штурманов, инструктивно-методические занятия с личным составом штурманских боевых частей, проверять и давать заключения о готов-

ности штурманских боевых частей и кораблей в целом (в части касающейся) к выходу в море и выполнению конкретных поставленных задач.

При подготовке к походу соединения или корабля под флагом командира соединения флагманский штурман соединения на основе указаний командира соединения или начальника штаба о цели, предполагаемых времени выхода, маршруте, пунктах захода, ордерах и скорости на переходе обязан:

- изучить маршрут и район плавания;
- подготовить для ФКП навигационные морские карты, руководства и пособия для плавания;
- провести навигационные расчеты и предварительную прокладку на поход; доложить командиру соединения результаты расчетов, выводы из оценки района выполнения задач и предварительную прокладку;
- если маршрут разрабатывается вышестоящим штабом или лично командиром (начальником штаба) соединения — доложить им все необходимые сведения по навигационно-гидрографическим и гидрометеорологическим условиям района плавания;
- разработать и утвердить у начальника штаба предложения по организации определения маневренных элементов и поправок корабельных технических средств навигации, в том числе предложения о необходимости контрольных выходов в море для проверки работы технических средств навигации;
- участвовать в подготовке материалов для решения командира соединения, боевых распоряжений и планирующих документов в соответствии с требованиями руководств и таблицей функциональных обязанностей; быть готовым доложить предложения, вытекающие из оценки района, возможностей технических средств навигации, необходимости дополнительных мер по навигационно-гидрографическому и гидрометеорологическому обеспечению;
- на основе задач, поставленных командиром соединения, и указаний вышестоящего флагманского штурмана разработать и представить на утверждение начальника штаба, а после утверждения выдать командирам кораблей указания на поход по навигации, в которых предусмотреть конкретные меры обеспечения навигационной безопасности плавания, методы использования технических средств навигации и наблюдения, необходимые сведения по навигационно-гидрографическому и гидрометеорологическому обеспечению (указания даются командирам своего и взаимодействующего соединений);
- после утверждения предварительной прокладки и указаний на поход по навигации проинструктировать корабельных штурманов, выдать им рассчитанную таблицу плавания; подготовить материал командиру соединения для инструктажа командиров кораблей;
- провести инструктивно-методические занятия с личным составом штурманских боевых частей по особенностям штурманской службы при выполнении поставленных задач;
- организовать оказание помощи штурманским боевым частям в доукомплектовании личным составом, подготовке технических средств навигации, пополнении ЗИП;
- проверить готовность штурманских боевых частей к походу, выполнению конкретных поставленных задач, а офицерского состава —

к выполнению обязанностей по обеспечению навигационной безопасности плавания; организовать сверку времени между флагманским и остальными кораблями;

— принять доклад от штурмана флагманского корабля о готовности к походу и обеспечению деятельности командного пункта командира соединения.

Результаты проверки и выводы о готовности флагманский штурман докладывает начальнику штаба соединения. В случае неготовности к походу какого-либо корабля флагманский штурман соединения обязан доложить вместе с предложениями о времени, необходимом для дополнительной подготовки.

Глава 9

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ПРЕДСТОЯЩЕГО ПЛАВАНИЯ И ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ РАСЧЕТЫ

§ 9.1. ИЗУЧЕНИЕ РАЙОНОВ И АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ПРЕДСТОЯЩЕГО ПЛАВАНИЯ

Подготовка к выходу в море начинается с уяснения цели и задач похода.

Для подготовки к походу необходима следующая исходная информация:

- район предстоящего плавания, цели и задачи похода (выхода в море); уточнение систем счета времени по маршруту похода;
- время, отводимое на подготовку к походу, или степень готовности к выходу;
- время прибытия в конечный пункт или продолжительность пребывания корабля в море;
- пункты захода и места якорных стоянок;
- состав кораблей, ордера и походные порядки, тактический номер корабля (при совместном плавании группы кораблей);
- выделенные средства навигационно-гидрографического обеспечения;
- требуемая точность кораблевождения при выполнении планируемых задач;
- степень скрытности перехода;
- контрольные рубежи или точки;
- ширина полосы движения;
- оперативно-тактическая обстановка.

После уяснения задач производится изучение географических, навигационно-гидрографических, гидрометеорологических и астронавигационных условий в районах плавания. Цель изучения состоит в оценке условий плавания, обеспеченности картами, руководствами и пособиями и выявлении факторов, влияющих на выбор маршрута перехода и на точность решения задач кораблевождения.

Оценка астронавигационной обстановки по маршруту похода производится согласно рекомендациям, изложенным в § 9.7.

Для изучения географических и навигационно-гидрографических условий плавания используются морские карты, морские навигационные руководства и пособия, рассмотренные в § 4.1 и 4.2, а также:

- морской атлас и атласы океанов;
- извещения мореплавателям ГУНиО МО и гидрографических служб флотов;
- документы, регламентирующие режим плавания на морском театре и правила плавания в полигонах боевой подготовки;

- указания флагманского штурмана по методам кораблевождения.
- При изучении географических и навигационно-гидрографических условий выделяются факторы, влияющие на *безопасность плавания* и *точность кораблевождения*. К числу таких факторов относятся:
 - протяженность района плавания, расположение границ территориальных вод и специальных зон;
 - расположение рекомендованных путей и фарватеров, состав и характеристика средств навигационного оборудования, обеспечивающих безопасность плавания по ним;
 - глубины, наличие подводных и надводных навигационных опасностей и характеристика средств их ограждения;
 - расположение районов с интенсивным судоходством и районов с разделенным движением;
 - характеристика якорных мест и пунктов временного базирования: условия подхода, навигационное оборудование, степень безопасности стоянки на якоре, обеспеченность различными видами снабжения и т. п.;
 - характеристика рельефа дна, опасные и отличительные глубины, степень подробности отображения рельефа дна на картах и возможность его использования для определения места корабля;
 - характеристика береговой полосы и возможность ее использования для определения места корабля;
 - приметные пункты и естественные ориентиры в зонах прибрежного плавания и их дальность видимости;
 - действующие средства навигационного оборудования, расположение наземных станций РНС, характеристика, режим работы и дальность действия СНО;
 - манипуляторные СНО, их характеристика и организация использования;
 - местные правила плавания;
 - напряженность магнитного поля Земли и соответствующие ей величины токов размагничивающего устройства корабля;
 - аномалии магнитного поля Земли в районе плавания и оценка надежности работы магнитных курсоуказателей;
 - закрытые и запретные для плавания районы и полигоны боевой подготовки;
 - степень обеспеченности района плавания навигационными морскими картами, руководствами и пособиями.
- При изучении географических и навигационно-гидрографических условий плавания составляется *карта предварительных расчетов* и готовятся другие справочные материалы.
- В качестве карты предварительных расчетов используется обзорная или генеральная карта, охватывающая весь район плавания или отдельные его части (при больших переходах). На карту наносятся в виде таблиц, графиков и диаграмм обобщенные результаты изучения навигационно-гидрографических и географических условий: границы дальности видимости зрительных СНО, зоны или линии равной точности определения места корабля с помощью различных средств, границы зон напряженности магнитного поля Земли, участки береговой полосы, различаемые на экране РЛС с различных расстояний, ограждающие изобаты и другие необходимые для кораблевождения сведения.
- На нерабочем поле карты или на отдельных листах составляются справочные материалы по навигационно-гидрографической обстановке:
 - таблица средств навигационного оборудования с указанием их наименования, расположения, дальности действия, характеристики огня

и внешнего вида (для маяков и знаков), режима и расписания работы. данных для настройки корабельных приемоиндикаторов (для РТСНО);

— таблица сведений о пунктах базирования и якорных местах, в которой указываются наименование пунктов, номер карты или плана, номера или наименования навигационных пособий, содержащих информацию о данных пунктах, краткая характеристика условий базирования или стоянки, местные правила плавания;

— перечень морских карт, руководств и пособий для плавания с указанием их номеров, нужных страниц и даты последней корректуры.

После изучения географических и навигационно-гидрографических условий плавания производится их анализ, в процессе которого:

— выделяются наиболее сложные участки плавания, насыщенные навигационными и минными опасностями;

— оценивается обеспеченность района плавания средствами навигационного оборудования;

— производится оценка района с точки зрения безопасности плавания на различных глубинах погружения подводной лодки;

— составляется обобщенная характеристика условий на различных участках предполагаемого района плавания.

Для изучения гидрометеорологических условий плавания используются морские гидрометеорологические пособия, рассмотренные в § 4.1, а также:

— руководства по учету влияния гидрометеорологических элементов;

— разделы лоций с описаниями гидрометеорологических условий;

— расписания передач навигационных и гидрометеорологических сообщений для мореплавателей и расписания факсимильных гидрометеорологических передач.

Основная цель изучения гидрометеорологических условий плавания состоит в оценке степени влияния различных гидрометеорологических элементов на безопасность плавания и на эффективность боевой деятельности корабля в море.

При изучении гидрометеорологических условий обращается внимание на следующие вопросы:

— наличие информации о течениях и степень ее достоверности, возможность расчета элементов суммарного течения при счислении пути корабля;

— гидрологический режим на различных участках предстоящего района плавания и возможность использования подводного звукового канала и гидроакустических средств для целей кораблевождения;

— ожидаемую степень влияния ветра и волнения на элементы движения и запланированную деятельность корабля в море;

— вероятность штормов и тропических циклонов;

— вероятную облачность и условия видимости небесных светил, возможность использования астронавигационных способов определения места и поправок системы курсоуказания;

— ожидаемую ледовую обстановку — границу, вид и сплоченность льда на различных участках предстоящего района плавания;

— характеристику визуальной, радиолокационной и гидролокационной видимости;

— организацию оповещения о прогнозах гидрометеорологической обстановки и предупреждениях об опасных и особо опасных метеорологических явлениях (передающих радиостанциях, частотах и времени передач);

— ожидаемое влияние гидрометеорологических условий на работу технических средств наблюдения.

Наиболее важные гидрометеорологические характеристики наносятся на карту предварительных расчетов в виде таблиц, схем или графиков (таблица ожидаемых гидрометеорологических элементов для различных участков, схема гидрологического режима, график глубины залегания оси подводного звукового канала, роза ветров, таблица ожидаемых элементов суммарного течения и т. д.).

В результате изучения гидрометеорологических элементов производится анализ степени влияния каждого из них на точность и безопасность плавания и делается общий вывод об обстановке, в которой оно будет осуществляться. Определяются возможные меры по уменьшению влияния неблагоприятных факторов.

Изученные вероятностные характеристики гидрометеорологических условий уточняются непосредственно перед выходом корабля в море по полученным прогнозам.

На основе анализа географических, навигационно-гидрографических, гидрометеорологических и астронавигационных условий предстоящего плавания, с учетом влияния также оперативно-тактических и международно-правовых условий, определяются возможные пути движения корабля для выполнения поставленных задач.

§ 9.2. ВЫБОР ПУТИ ПЕРЕХОДА

В зависимости от целей и задач похода маршрут движения корабля назначается командованием или разрабатывается штурманом корабля. При планировании перехода из одного пункта в другой определяется наиболее выгодный маршрут — кратчайший путь, обеспечивающий безопасность плавания и наиболее благоприятные условия выполнения задач похода. Наиболее выгодный путь является оптимальным по критерию вероятности успешного выполнения поставленной кораблю задачи в минимальный или заданный срок.

При выборе и расчете наиболее выгоднейшего пути исходят из следующих требований:

— путь корабля должен быть кратчайшим из всех возможных путей, обеспечивающих решение задач похода;

— путь корабля должен проходить через районы, гидрометеорологические условия в которых обеспечивают заданную скорость фактического перемещения корабля и максимальную вероятность выполнения поставленных кораблю задач;

— путь должен проходить через районы, оборудование которых в навигационно-гидрографическом отношении позволяет обеспечить требуемую точность плавания и надежный контроль нахождения корабля на заданной линии пути;

— расстояния между линией пути и навигационными опасностями должны превышать предельную погрешность места корабля, рассчитанную для ожидаемых условий плавания;

— расчет времени движения по маршруту должен производиться с учетом резерва, необходимого на случай вынужденного обхода района с неблагоприятными условиями или на выполнение ранее не учтенных специальных или боевых задач;

— проход через узкости должен осуществляться по фарватерам и рекомендованным путям и по возможности (в мирное время) в светлое время суток;

— для надводных кораблей путь в обход участков со льдами, как правило, является более выгодным, чем путь, проложенный через лед;

— линия пути должна быть удалена от границы территориальных вод иностранных государств на расстояние, превышающее предельную погрешность места на этом участке, или на расстояние, не меньшее установленного командованием;

— график движения корабля должен рассчитываться с учетом строгого выполнения местных правил плавания в проливах, каналах и в других районах, в которых предусмотрены ограничения скорости хода и времени прохода;

— выбор пути для подводного плавания должен производиться с учетом безопасной глубины, заданных пределов погружения подводной лодки, характера рельефа дна, а во льдах с учетом наличия разводий, подледий и возможного углубления льдов (айсбергов).

§ 9.3. РАСЧЕТ НАИВЫГОДНЕЙШЕГО ПУТИ

При планировании перехода через океан определение наивыгоднейшего пути начинается с расчета траектории кратчайшего пути. Кратчайшее расстояние между двумя точками на земном эллипсоиде измеряется по сложной кривой, называемой геодезической линией. Приближенной моделью геодезической линии является дуга большого круга земной сферы, или ортодромия.

Принципиально расстояние по ортодромии всегда короче расстояния по локсодромии. Чем больше разность долгот конечного и начального пунктов, тем больше разница между длинами локсодромии и ортодромии. Особенно существенной эта разница может оказаться при транс-океанских переходах. Поэтому при выборе пути перехода через океан необходимо прежде всего определить целесообразность плавания по дуге большого круга.

Критерием целесообразности плавания по ортодромии является разница длин локсодромии и ортодромии (геодезической линии), т. е. численное значение величины

$$\Delta S = S_{\text{лок}} - S_{\text{орт}} \approx S_{\text{лок}} - S_{\text{г}}$$

где $S_{\text{лок}}$, $S_{\text{орт}}$ и $S_{\text{г}}$ — расстояния по локсодромии, ортодромии и геодезической линии соответственно.

Величина ΔS определяется с помощью табл. 23-б МТ-75 по координатам начального и конечного пунктов.

Пример. Определить разность длин локсодромии и ортодромии между двумя точками с координатами:

$$\varphi_1 = 64^\circ 30,0' \text{ N}, \quad \lambda_1 = 8^\circ 20,0' \text{ W};$$

$$\varphi_2 = 36^\circ 00,0' \text{ N}, \quad \lambda_2 = 73^\circ 50,0' \text{ W}.$$

Решение:

— рассчитывается разность долгот точек

$$\Delta \lambda = \lambda_2 - \lambda_1 = -65^\circ 30,0';$$

— определяются табличные значения $\varphi_{\text{г}} = 60^\circ$, $\varphi_{\text{л}} = 30^\circ$ и $\Delta \lambda_{\text{г}} = 65^\circ$ (ближайшие к заданным, но меньшие их) и по ним из табл. 23-б МТ-75 выбирается основное значение $\Delta S_0 = 93$ мили;

— рассчитываются интерполяционные поправки к ΔS_0 :
за широту начальной точки

$$\delta S_1 = (\varphi_1 - \varphi_{\text{г}}) \frac{\Delta S_{\varphi_1 = 70} - \Delta S_{\varphi_1 = 60}}{10} = 4,5 \frac{112 - 93}{10} = +8,5 \text{ мили};$$

за широту конечной точки

$$\delta S_2 = (\varphi_2 - \varphi_{\text{л}}) \frac{\Delta S_{\varphi_2 = 40} - \Delta S_{\varphi_2 = 30}}{10} = 6,0 \frac{91 - 93}{10} = -1,2 \text{ мили};$$

за разность долгот

$$\delta S_3 = (\Delta\lambda - \Delta\lambda_T) \frac{\Delta S_{\Delta\lambda=70} - \Delta S_{\Delta\lambda=65}}{5} = \frac{0,5(115-93)}{5} = +2,2 \text{ мили};$$

— рассчитывается искомая разность длин локсодромии и ортодромии

$$\Delta S = \Delta S_0 + \delta S_1 + \delta S_2 + \delta S_3 = 93,0 + 8,5 - 1,2 + 2,2 = 102,5 \text{ мили.}$$

После принятия решения о целесообразности плавания по ортодромии производится ее расчет и нанесение на генеральную карту. При этом дуга большого круга заменяется последовательностью ее хорд. Длина каждой хорды соответствует разности долгот $4-6^\circ$. Расчет ортодромии заключается в определении локсодромических направлений хорд. Для этого используются два способа: проф. Н. М. Груздева, основанный на использовании рекуррентной формулы курса, и способ, основанный на применении номограммы.

Расчет направлений хорд дуги большого круга первым способом производится в следующем порядке:

— на генеральной карте в меркаторской проекции проводится локсодромия — прямая, соединяющая начальную и конечную точки (на рис. 9.3.1 точки B_1 и B_2), и определяется ее локсодромическое направление K_0 относительно истинного меридиана;

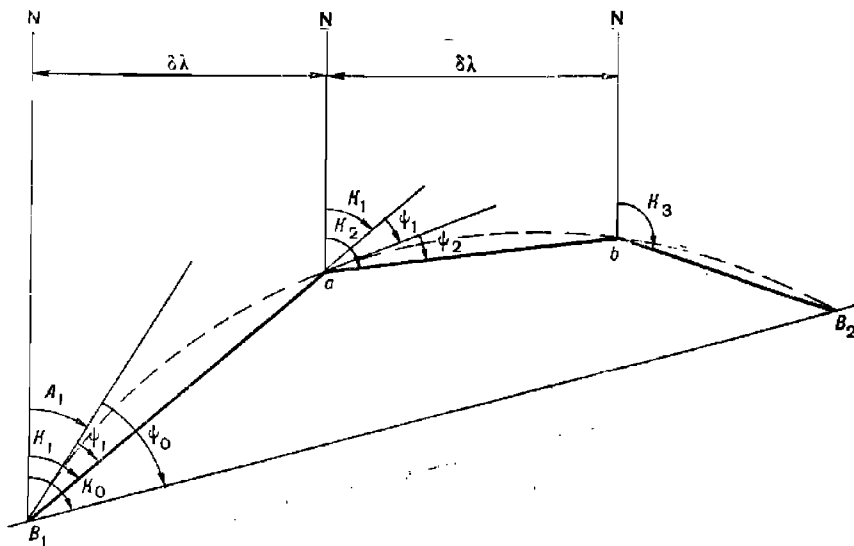


Рис. 9.3.1

— рассчитывается направление ортодромии в начальной точке B_1

$$A_1 = K_0 - \psi_0.$$

Ортодромический угол ψ_0 определяется по табл. 23-6 МТ-75 или рассчитывается с помощью ПМК (§ 1.5) по широтам точек B_1 и B_2 и разности их долгот. В северном полушарии при движении на запад этот угол отрицательный, при движении на восток — положительный;

— рассчитывается направление первой хорды — локсодромии

$$K_1 = A_1 + \psi_1,$$

где ψ_1 — ортодромический угол, определяемый по табл. 23-а МТ-75 по φ_B и $\delta\lambda = 5^\circ$; при движении на запад угол ψ_1 имеет знак минус, при движении на восток — плюс;

— из точки B_1 по направлению K_1 проводится отрезок B_1a (до меридиана $\lambda_a = \lambda_1 + 5^\circ$) — первая хорда дуги большого круга;

— далее из точки a по направлению

$$K_2 = K_1 + \psi_1 + \psi_2$$

проводится вторая хорда ab (до меридиана $\lambda_b = \lambda_a + 5^\circ$). Ортодромический угол ψ_2 определяется так же, как и ψ_1 , но для входа в табл. 23-а используется широта точки a .

Аналогичным образом рассчитываются направления каждой последующей хорды

$$K_i = K_{i-1} + \psi_{i-1} + \psi_i.$$

При использовании второго способа начальное направление дуги большого круга — величина A_1 — определяется с помощью специальной номограммы (адмиралтейский номер 90199). Порядок действий при этом указан в описании номограммы. Дальнейшая методика расчета курсов K_i аналогична методике, изложенной в первом способе.

Рассчитанный кратчайший путь корректируется с учетом гидрометеорологических, географических и оперативно-тактических факторов. Для этого с помощью прогностических карт и гидрометеорологических пособий и на основе опыта плавания на каждом участке маршрута определяются ожидаемое изменение путевой скорости корабля за счет течения и волнения, ледовые условия плавания, условия видимости, вероятность тайфунов, ураганов, штормов, тип гидрологического режима морской среды и т. п. Курсы кратчайшего пути, проложенные в зонах с неблагоприятными гидрометеорологическими или оперативно-тактическими факторами, корректируются таким образом, чтобы маршрут движения корабля был оптимальным по главному критерию — успешности решения поставленной кораблю задачи. Корректурa курса может производиться путем замены двух хорд одной или изменением направления или длины отдельных хорд.

Путь корабля, полученный после корректуры кратчайшего пути, считается наиболее выгодным. Ожидаемый выигрыш оценивается сокращением времени плавания по этому пути и степенью использования благоприятных факторов, определяющих эффективность деятельности корабля в море.

Детальная корректурa линии пути с учетом конкретных навигационных опасностей производится в процессе предварительной прокладки на основе расчета навигационной безопасности плавания.

Предварительная прокладка представляет собой подробное графическое изображение на морских картах планируемого маршрута перехода корабля из исходного пункта в пункт назначения, обеспечивающего наиболее эффективное выполнение кораблем поставленных задач в установленные сроки, его навигационную безопасность, соблюдение навигационных и международно-правовых правил плавания.

Предварительная прокладка первоначально разрабатывается на генеральной навигационной карте, вмещающей весь маршрут перехода.

На карту наносится намеченный в соответствии с замыслом командира путь корабля и все необходимые навигационные данные для оценки обстановки: направления пути, скорость корабля на различных участках, глубины погружения подводной лодки, время прохода заданных рубежей, освещенность горизонта, ожидаемые гидрометеорологические элементы, наименование планируемых для использования СНО, точностные характеристики плавания (СКП обсерваций, коэффициент точности счисления), периодичность обсерваций.

§ 9.4. ГРАФИЧЕСКИЙ ПЛАН ПОХОДА

После утверждения предварительной прокладки на генеральной карте и ее согласования с флагманским штурманом соединения разрабатывается графический план похода, представляющий собой изображение пути корабля на карте с необходимыми пояснениями, касающимися режима и условий плавания.

Графический план похода составляется также на генеральной карте, вмещающей весь маршрут перехода. На карту по данным предварительной прокладки наносятся линия пути корабля и отображаются следующие навигационные сведения, полученные на основе расчета:

- время выхода, прихода в пункт назначения, прохода установленных пунктов, рубежей, контрольных точек или линий; при расчете общей длительности перехода учитывается резерв времени, необходимый для компенсации уменьшения генеральной скорости (непредвиденное маневрирование, шторм и т. п.);
- генеральная скорость перехода и скорости на отдельных его участках;
- участки пути, проходимые в светлое и темное время суток;
- режимные участки похода и регламенты их прохода;
- режим движения подводной лодки;
- ширина полосы движения;
- походные порядки, строи и ордера;
- рекомендации по проходу наиболее сложных участков;
- якорные места и пункты захода;
- средства и меры обеспечения навигационной безопасности плавания;
- плановая таблица похода.

При необходимости на графическом плане может быть показана обстановка по маршруту похода.

В легенде указываются задачи похода, меры безопасности, средства и организация связи, система управления, старший на переходе, состав и задачи взаимодействующих (обеспечивающих) сил или служб, ледокольное обеспечение, пункты укрытий, запасы, прогноз погоды.

На основе утвержденных графического плана и предварительной прокладки на генеральной карте разрабатывается предварительная прокладка на путевых, частных навигационных картах и планах.

§ 9.5. ПОДБОР МОРСКИХ КАРТ, РУКОВОДСТВ И ПОСОБИЙ И ИХ КОРРЕКТУРА

Подбор морских карт, руководств и пособий для плавания производится по откорректированным Каталогам карт и книг ГУНУ МО. Перед выходом в море корабль должен иметь обязательный комплект карт и книг, утвержденный для данного корабля на соединении.

Для выхода из пункта базирования и плавания в узкостях подбираются планы и частные карты (масштаб 1 : 50 000 и крупнее), для при-

брежного плавания — путевые карты масштаба 1 : 100 000— 1 : 300 000, для плавания в открытом море — карты масштаба 1 : 300 000— 1 : 500 000 или карты-сетки.

Все карты заносятся в таблицу в том порядке, в каком они будут использоваться в море. В таблице указываются адмиралтейские и судовые номера карт, их заголовки, масштабы, год издания и даты последней корректуры.

Морские карты, руководства и пособия для плавания выдаются органами Гидрографической службы ВМФ откорректированными на дату последних корректурных документов на момент выдачи. Дальнейшая корректура корабельного комплекта карт и книг выполняется личным составом корабля с того номера ИМ, который указан в корректурном штампе. Командир штурманской БЧ организует корректуру морских карт, руководств и пособий, лично корректирует наиболее важные документы и несет ответственность за своевременность, полноту и правильность корректуры корабельного комплекта карт и книг.

Выход корабля в море с неоткорректированными морскими картами, руководствами и пособиями на район плавания запрещается.

Источниками информации для корректуры морских карт, руководств и пособий являются:

- извещения мореплавателям ГУНиО МО, приложения к ним и извещения мореплавателям гидрографических служб флотов;
- нумерники извещений мореплавателям;
- сводные корректуры к руководствам для плавания;
- дополнения к руководствам для плавания;
- вклейки на отдельные участки морских карт;
- районные предупреждения НАВАРЕА (NAVAREA) — предупреждения, передаваемые по радио на английском и при необходимости на одном из официальных языков ООН, об изменении навигационной обстановки по обширным географическим районам Мирового океана. Районные предупреждения передаются радиостанциями стран, ответственными за передачу по данному району (районными координаторами). Общие требования к порядку передачи НАВАРЕА приведены в пособии «Всемирная служба навигационных предупреждений» (№ 9026);

- навигационные предупреждения НАВИП — предупреждения, передаваемые по радио радиостанциями СССР для советских судов на русском языке, об изменениях навигационной обстановки в водах открытого моря и в прибрежных водах иностранных государств. В НАВИП включается навигационная информация, не вошедшая в НАВАРЕА и полученная по другим источникам. Для удобства районы передачи НАВИП совмещены с районами НАВАРЕА;

- прибрежные предупреждения ПРИП и COASTAL WARNING — предупреждения, передаваемые по радио на русском и английском языках, об изменении навигационной обстановки на ограниченных прибрежных участках. Прибрежные предупреждения передаются радиостанциями стран, ответственными за информацию по данному региону (национальными координаторами);

- местные предупреждения — предупреждения, передаваемые по радио на национальном языке, об изменении навигационной обстановки на акватории, относящейся к юрисдикции портовых властей.

Передача указанных предупреждений ведется в сроки, указанные в Расписании передач навигационных и гидрометеорологических сообщений радиостанциями СССР, а также в расписании аналогичных

передач радиостанциями иностранных государств, изд. ГУНиО МО. Там же приведены схемы районов НАВАРЕА, НАВИП и ПРИП.

Порядок корректуры карт и книг определяется Правилами корректуры морских карт и руководств для плавания на кораблях и судах ВМФ.

Корректур морских карт, руководств и пособий производится, как правило, немедленно с поступлением на корабль корректурных документов. Для кораблей с неограниченным районом плавания корабельный комплект карт и книг по очередности их корректуры может быть разбит на три части, одна из которых корректируется постоянно (используемые в повседневной деятельности), вторая — периодически (используемые эпизодически) и третья — по необходимости.

Перед дальним походом весь корабельный комплект морских карт, руководств и пособий корректируется полностью. При этом корректура начинается с последнего источника в последовательности убывания номеров, что исключает внесение отмененных корректур.

Корректурные исправления на картах производятся по постоянным ИМ красной тушью и по всем остальным корректурным документам — карандашом условными знаками, применяемыми при картосоставлении. О произведенной корректуре делается отметка в нижнем левом углу карты (год и номер ИМ или дата, название и номер источника информации).

Руководства и пособия корректируются по корректурным материалам, опубликованным в III отделе ИМ ГУНиО МО. Для внесения небольших изменений исправляемый текст аккуратно вычеркивается, а новый текст четко вписывается красной тушью. В случае большого объема исправлений корректура производится с помощью вклеек — исправляемый текст вычеркивается, а вырезки или вкладные листы нового текста приклеиваются к внутреннему полю страницы в том месте, где вычеркнут текст. Заклеивать измененный текст не разрешается. На полях книги делается ссылка на год и номер документа, по которому внесена корректура.

Учет корректуры производится в журнале корректуры.

Перед выходом в море в штабе соединения и в подразделении гидрографической службы изучается дополнительная информация об обстановке, запрашиваются суточный и трехсуточный прогнозы погоды, сверяются номера последних из имеющихся на корабле выпусков извещений мореплавателям, ПРИП, НАВИП, НАВАРЕА с номерами, имеющимися в подразделении гидрографической службы, получают недостающие.

§ 9.6. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ РАСЧЕТЫ И ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПРОКЛАДКА

После разработки предварительной прокладки на генеральной карте производятся предварительные навигационные расчеты и разрабатывается предварительная прокладка на откорректированных путевых, частных картах и планах.

В период *предварительной подготовки* рассчитываются следующие величины:

— протяженность маршрута похода и его участков (необходимые данные измеряются по генеральной карте с предварительной прокладкой);

— продолжительность похода и скорости корабля на различных участках (скорости рассчитываются исходя из условий плавания, нави-

гационной безопасности и с учетом выполнения поставленной задачи в заданный срок);

- требуемая точность плавания;
- ожидаемая точность плавания и необходимая периодичность обсерваций;
- элементы освещенности, возможность наблюдения светил для определения места корабля;
- элементы приливов;
- оптимальная глубина погружения подводной лодки;
- характеристика якорных мест;
- элементы течений (по навигационным пособиям и Атласам течений).

При подготовке корабля к походу производятся и другие навигационно-тактические расчеты, необходимые для успешного решения поставленных задач.

Предварительная прокладка на путевых, частных картах и планах выполняется с целью детального расчета планируемых элементов движения корабля с учетом всех факторов и условий обстановки, влияющих на навигационную безопасность плавания. В процессе ее разработки производится уточнение и конкретизация расчетов, выполненных по предварительной прокладке на генеральной карте.

Особое внимание обращается на детализацию прокладки частных курсов плавания. Кратчайшее расстояние D между линией проложенного на карте пути и ближайшей навигационной опасностью (рис. 9.6.1) должно удовлетворять неравенству

$$D \geq RM,$$

где R — коэффициент, определяемый по заданной вероятности безопасного плавания ($P \geq 95\%$) с помощью табл. 1-в МТ-75 (для $e = 1,0$);

M — СКП места корабля, рассчитанная для точки на линии пути, расположенной на кратчайшем расстоянии от навигационной опасности.

На карты последовательно наносятся все линии пути; в зависимости от условий плавания и указанной в графическом плане генеральной скорости назначается скорость хода на данном участке и рассчитывается время плавания по линии пути. Вдоль каждой линии пути (рис. 9.6.2) надписываются: направление пути, скорость хода (для подводных лодок — положение и глубина погружения), длина каждой линии пути и в скобках нарастающим итогом общая длина пути от начальной точки плавания. Для различных участков маршрута указываются периодичность (интервалы дискретности) обсерваций, намеченные для использования СНО, точность планируемых обсерваций, коэффициенты точности счисления.

В точках поворота (без учета циркуляции) указывается оперативное время поворота, отсчитываемое от начальной точки движения, и координаты точки поворота (в таблице на свободном месте карты).

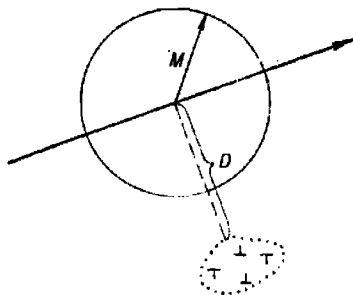


Рис. 9.6.1

На путевые карты, кроме того, наносятся границы полос движения, данные для перехода на очередную карту, данные об освещенности горизонта, время прохода сложных для плавания районов, время прохода рубежей донесения, сведения о течениях, магнитное склонение, приведенное к году плавания.

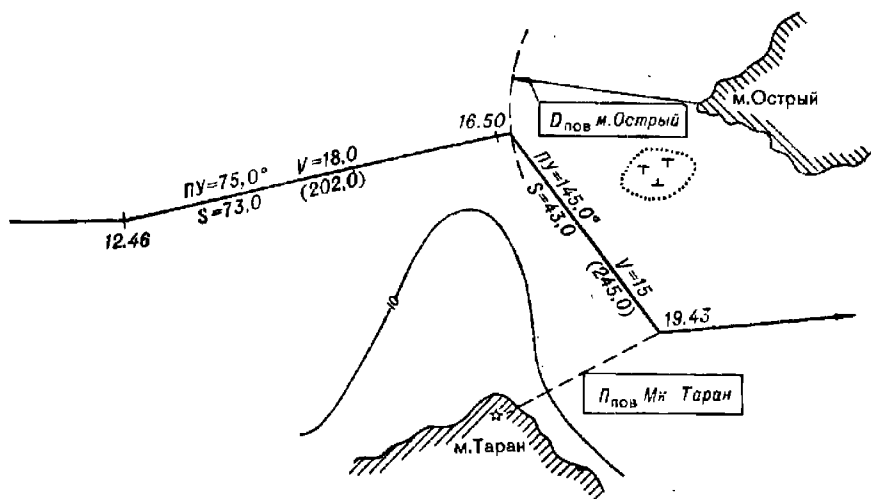


Рис. 9.6.2

Для точек поворота выбираются ориентиры, относительно которых будут измеряться навигационные параметры поворота. Изолинии навигационных параметров поворотов должны пересекать старую линию пути под углом, близким к прямому. Конкретное значение параметров поворотов заранее определять нецелесообразно, а в ряде случаев и недопустимо, так как даже незначительное отклонение фактического пути корабля от планируемого может привести к существенному изменению параметра поворота, а неучет этого обстоятельства чреват созданием аварийной ситуации (рис. 9.6.3).

В процессе выполнения предварительной навигационной прокладки разрабатываются типовые графические планы и проекты маневрирования при отходе корабля от причала (якорной точки) и осуществляется детальное изучение навигационной обстановки в районах, прилегающих к проложенному маршруту.

Производится *подъем путевых карт*, предназначенных для плавания, для чего на картах выделяются сведения, имеющие важное значение для обеспечения безопасности плавания. При этом на картах выполняется следующее:

- на участках маршрута, расположенных в непосредственной близости от навигационных опасностей, проводятся ограждающие изолинии, соответствующие границе безопасного района плавания и отвечающие определенному значению навигационного параметра;

- наносятся районы, опасные от мнн, запретные для плавания районы и полигоны, фарватеры, рекомендованные пути, точки разрешенных якорных стоянок;

- выделяются (красным цветом) опасные глубины и обводятся окружностями отдельно лежащие навигационные опасности (радиус

окружности должен соответствовать предельной погрешности места корабля на этом участке для $P \geq 95 \%$);

— выделяются (красным цветом) естественные и искусственные ориентиры для определения места корабля и измерения навигационных параметров точек поворота, проводятся и оцифровываются линии створов естественных ориентиров, которые могут быть использованы для контроля местоположения корабля и для определения поправок курсоуказателей;

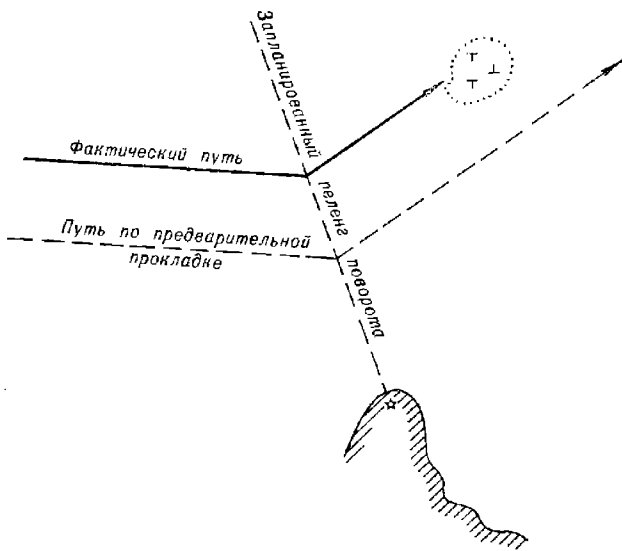


Рис. 9.6.3

— выделяются (коричневым цветом) участки побережья, отображаемые на экране радиолокатора (определяются по опыту плавания);

— выделяются участки с характерным рельефом дна, пригодные для определения места корабля;

— проводятся границы назначенной кораблю полосы движения;

— отмечаются точки или линии, в которых производится переключение тока в обмотках размагничивающего устройства, указываются номера зон, максимальная сила тока в обмотках РУ;

— приводится к году плавания магнитное склонение (указывается через $0,2^\circ$ на горизонтальных рамках карты) и выделяются зоны с магнитными аномалиями;

— проводятся смещенные меридианы и параллели для прокладки радиопеленгов от радиомаяков, находящихся за пределами данной карты;

— наносятся (желтым цветом) линии дальности видимости навигационных ориентиров;

— отмечаются места отдания воинских почестей;

— наносятся (черным цветом) границы советских и зарубежных территориальных вод и других зон с установленным режимом плавания в них.

Дополнительные сведения, наносимые на карту, не должны ухудшать ее читаемость и наглядность.

При подъеме карт-сеток производится оцифровка меридианов, нанесение навигационных опасностей и ограждающих изобат, зоны переключения токов в размагничивающем устройстве. При необходимости на карты-сетки наносится и другая информация о режиме и условиях плавания.

В результате выполнения предварительной навигационной прокладки разрабатываются или рассчитываются справочные материалы, основные типовые формы которых приведены в табл. 9.6.1—9.6.7.

Таблица 9.6.1

Предварительные расчеты перехода из в

Время		Путь	Расстояние по пути, мили	Время дежания на пути при скорости				Наименование ориентиров, используемых для измерения навигационных параметров точек поворотов
оперативное	судовое			...уз	...уз	...уз	...уз	

Таблица 9.6.2

Список морских навигационных карт, руководств и пособий на поход

Порядковый номер использования в походе	Судовой номер	Адмиралтейский номер	Наименование карты, книги	Примечание

Таблица 9.6.3

Сведения о местах укрытия, якорных местах, бухтах, гаванях и портах

Наименование мест укрытия, якорных мест и т. д.	Номер карты, плана	Ссылка на лоцию и другие пособия, где дано описание пункта. Дополнительные данные	Местные правила плавания, особенности системы ограждения опасности и сигналов о погоде

Таблица 9.6.4

Справка о гидрометеорологической обстановке в районе плавания

Наименование района, участка маршрута перехода	Гидрометеорологические явления	Прогноз			Данные лопни
		суточный	на 1 сут	на 5—7 сут	
	Ветер: — направление — сила (скорость) Волнение моря Температура: — воздуха — воды Видимость Облачность Ледовая обстановка Осадки Тип поля ветра				

Таблица 9.6.5

Таблица приливов в основных пунктах маршрута похода

Дата	Наименования пунктов							
	
	ПВ	МВ	ПВ	МВ	ПВ	МВ	ПВ	МВ

Примечания: 1. Данные в таблице приводятся в виде дроби: в числителе — моменты наступления полной или малой воды, в знаменателе — высота прилива.
 2. Для участков маршрута, при проходе которых нужно учитывать высоту прилива, высоты прилива приводятся на каждый час.

Таблица 9.6.6

Таблица элементов суммарного течения

Дата	Район (участок) плавания	Судовое время начала и конца учета течения	Элементы течения			
			приливного	ветрового	постоянного	суммарного

Таблица 9.6.7

Таблица соответствия водных (лунных) часов Атласа течений судовому времени

Судовое время полной воды в основном пункте	Водные (лунные) часы													
	-VI	-V	-IV	-III	-II	-I	0	+I	+II	+III	+IV	+V	+VI	

Кроме приведенных форм подготавливаются:

— схемы и графические планы маневрирования для обеспечения безопасного отхода от причала (с якорного места) и прохода узкостей;

— график или таблица освещенности (§ 9.7);

— комплект схем или справочно-информационные карты проливов, фарватеров или их участков с подписанной навигационной обстановкой, сетками изолиний и выписками из правил плавания (для главного командного пункта);

— карта навигационной обстановки по маршруту похода, на которую наносятся границы специальных зон, режимных районов, районов боевой подготовки, время и содержание проводимых в них мероприятий и другая информация об ограничениях плавания.

При необходимости могут разрабатываться и другие справочные материалы по маршруту похода, в частности:

— таблица средств навигационного оборудования;

— таблица радиотехнических средств навигационного оборудования;

— схема расстановки плавучих предостерегательных знаков в узкостях, проливах и капалах;

— таблица ожидаемых гидрометеорологических элементов;

— графики гидрологических режимов и др.

§ 9.7. ОЦЕНКА И ОТОБРАЖЕНИЕ АСТРОНАВИГАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ ПО МАРШРУТУ ПОХОДА

Астронавигационная обстановка определяется естественной освещенностью по маршруту похода в заданный период времени года, характером видимого суточного движения светил и видимого движения навигационных искусственных спутников Земли. При вычислениях моментов наступления явлений освещенности и сроков наблюдений светил учитываются принятую на корабле систему счета судового времени (гл. 6).

Сведения об астронавигационной обстановке отображают по мере надобности в практически удобной форме на графическом плане похода, на картах при выполнении предварительной прокладки, в таблицах освещенности и видимости светил, в таблицах целеуказания светил, на графиках освещенности.

При необходимости вычисления могут быть выполнены на ЭКВМ «Списка», штурманском вычислительном комплексе (ШВК) «Электроника МК-52-Астро», а также на ПМК с использованием Астронавигационного альманаха. Решение табличным методом обеспечивается МАЕ, ВАС—58 и МТ—75. Правила машинного решения изложены в технических описаниях ЭКВМ и ШВК, а также в Астронавигационном альманахе. Поэтому ниже рассматриваются только решения по МАЕ, ВАС—58 и МТ—75 применительно к оценке освещенности по заданному маршруту похода.

При выполнении предварительных расчетов по маршруту похода обычно достаточно вычислять судовое время наступления явления освещенности и сроки астронавигационных наблюдений с погрешностью до 5 мин, уточняя их на переходе по мере надобности до 1 мин. Поэтому многие задачи оценки астронавигационной обстановки могут решаться с помощью звездного глобуса (гл. 22).

Оценка и отображение обстановки наблюдений навигационных искусственных спутников рассмотрены в гл. 25, оценка и отображение условий наблюдений небесных светил — в гл. 21 и 22.

Естественную освещенность необходимо оценивать и учитывать при решении оперативно-тактических задач, при определении места корабля по небесным и наземным ориентирам, при выборе благоприятного времени для радиосвязи и использования радионавигационных систем, при выполнении МПСС и визуальном сигналопроизводстве.

Солнечная освещенность в данный период года зависит от широты района плавания и склонения Солнца (гл. 22), а в данный день — от высот и азимутов Солнца. При наблюдениях с уровня моря в момент восхода (захода) верхнего края Солнца истинная высота его центра равна $h^{\odot} = -50,3'$; при средней высоте глаза над уровнем моря $e = 12$ м получается $h^{\odot} = -57,8' \approx -1^{\circ}$; в большинстве случаев восход Солнца наблюдается не более чем на 1—2 мин раньше (заход — позже) времени этого явления, вычисляемого по МАЕ для $e = 0$ м.

Лунная освещенность в дату наблюдений зависит от конфигурации (возраста) и фазы Луны (гл. 21), ее высоты и азимута. Полная Луна освещает перпендикулярную к ее лучам поверхность в 35 раз слабее Солнца. В квадратурах блеск Луны составляет 20 % ее блеска в полнолуние. Высота Луны при восходе (заходе) ее верхнего края над видимым горизонтом принимается равной 0° , но само это явление непосредственно не наблюдается из-за сильного поглощения лунного света атмосферой при малой высоте Луны.

Освещенность горизонта Луной оптимальна для наблюдений высот звезд при фазе Луны $\Phi = 0,5 \dots 1$ и $h^{\text{л}} = 10 \dots 40^{\circ}$.

Расчет моментов наступления солнечных и лунных явлений, связанных с видимым суточным движением светил (восход, заход, продолжительность сумерек и др.), в широтах от 74° N до 60° S ведется обычно в два этапа (табл. 9.7.1): вначале находят среднее время явления T_m на меридиане заданного места (действия 1—5), а затем переводят его в судовое время T_c (действия 6—9).

Если точность расчета солнечных явлений до 5 мин достаточна, то удобнее всего пользоваться приложением 10 к МТ-75 или аналогичными графиками в Морском атласе и в Атласах океанов, которые сразу дают T_m ; останется лишь выполнить действия 6—9 из табл. 9.7.1.

В Арктике солнечную освещенность можно оценивать по специальным Таблицам восхода и захода Солнца для северных широт 74° — 90° , УГС ВМФ, 1962 г.

За пределами принятой в МАЕ широтной зоны моменты наступления солнечных и лунных явлений вычисляют согласно § 22.2, пользуясь методом последовательных приближений по времени и по району плавания корабля: исходные данные вначале берут грубо на заданную дату, затем их уточняют для полученного в первом приближении момента судового времени и повторяют вычисления. Если второе приближение дает результат, отличающийся от первого на величину менее допустимой погрешности искомого момента T_c , то вычисления заканчивают. Удобнее всего такие вычисления выполнять на ПМК по программе, помещенной в табл. 22.2.2.

Судовое время кульминации светила вычисляется по правилам, аналогичным изложенным в табл. 9.7.1. При этом поправки ΔT_d и ΔT_φ здесь не нужны, а для Солнца не учитывается и поправка ΔT_λ по малости, т. е. принимают $T_m = T_k$, указанному в МАЕ для Гринвича. Для Луны и планет исходным принимают $T_\tau = T_k$ и после введения поправки ΔT_λ получают T_m кульминации на данном меридиане. Найденное время T_m обычным порядком (действия 6—9 табл. 9.7.1) переводят в судовое время T_c .

Меридиональные высоты при необходимости вычисляют согласно § 21.4.

Азимуты восхода и захода Солнца получают по табл. 20-а или 20-б МТ-75, азимуты восхода и захода Луны — по приложению 7 к МТ-75. В обоих случаях склонение светила берут для величины $T_{гр}$ из п. 7 табл. 9.7.1; полученные азимуты переводят в круговой счет и записывают их как пеленги.

Таблица 9.7.1

Программа вычисления судового времени солнечных и лунных явлений по МАЕ и приложению 10 к МТ-75

Номер действия	Символ	Содержание и правила выполнения действия
1	T_τ	Табличный момент явления из МАЕ по всемирному времени. Выбирается по календарной дате в табличной широте φ , ближайшей меньшей относительно заданной φ
2	ΔT_d	Поправка за дату. Указана в ежедневной таблице МАЕ для Солнца, если заданная дата не равна табличной
3	ΔT_φ	Поправка за разность заданной и ближайшей меньшей табличной широты $\Delta\varphi = \varphi - \varphi_\tau$. Выбирается из приложения 1, А МАЕ входом по табличному интервалу широты, разности широт $\Delta\varphi$ и разности моментов явления в таблице Δ при перемене широты от табличной в сторону заданной
4	ΔT_λ	Поправка за долготу места. Выбирается из приложения 1, Б МАЕ входом по долготе места и по изменению табличного времени явления за сутки (сут. изм.), которое указано в таблице (для Луны знак суточного изменения определяется в зависимости от возрастания или убывания моментов к предыдущим или последующим суткам). В восточной долготе сут. изм. смотрят слева от исходного момента T_τ , а в западной долготы — справа. Знак поправки соответствует характеру изменения табличных моментов
5	T_m	Момент явления в заданном пункте по среднему времени $T_m = T_\tau + \Delta T_d + \Delta T_\varphi + \Delta T_\lambda$
6	λ	Долгота заданного места; восточную — отнять, западную — прибавить
7	$T_{гр}$	Момент явления в заданном пункте по всемирному времени $T_{гр} = T_m \pm \lambda$
8	N_c	Номер часового пояса, принятый на корабле для счета судового времени; восточный — прибавить, западный — отнять
9	T_c	Момент явления в заданном пункте по судовому времени $T_c = T_{гр} \pm N_c$

Поправки к рассчитанным моментам восхода и захода при небольших изменениях времени и места получают умножением взятой из табл. 9.7.2 величины на соответствующую переменную высоты $\Delta h'$, широты $\Delta \varphi'$ или склонения $\Delta \delta'$.

Таблица 9.7.2

Изменения моментов восхода и захода светил (в минутах времени) при перемене высоты h , широты места φ или склонения δ на $1'$

A или q	φ или δ					
	0°	20°	40°	60°	80°	85°
10°	0,4	0,4	0,5	0,8	2,2	4,4
30	0,1	0,1	0,2	0,3 (0,2)	0,8 (0,7)	1,5 (1,3)
60	0,1	0,1	0,1	0,2 (0,1)	0,4 (0,2)	0,9 (0,4)
90	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,8

Примечания: 1. При перемене высоты h и широты места φ вход в таблицу по φ и A. При перемене склонения δ вход в таблицу по δ и q, выбираемому из Таблиц ВАС-58.

2. В скобках указаны изменения моментов для перемены φ и δ , когда они отличаются от изменения моментов для перемены h .

Пример. Вычислен момент восхода светила (с координатами $\delta = 26^\circ \text{ N}$ и $q = 30^\circ$) в широте $\varphi = 60^\circ \text{ N}$, происходящий по азимуту $A = 30^\circ$. Найти с помощью табл. 9.7.2 изменение момента этого восхода, если широта изменилась на $\Delta \varphi = 30'$, склонение на $\Delta \delta = 40'$ и высота на $\Delta h = 32'$.

Решение:

— для широты по $\varphi = 60^\circ$ и $A = 30^\circ$ из таблицы выбираем 0,2 мин, следовательно, $\Delta T_\varphi = +30 \cdot 0,2 = +6$ мин;

— для склонения по $\delta = 26^\circ$ и $q = 30^\circ$ из таблицы выбираем 0,15 мин, следовательно, $\Delta T_\delta = +40 \cdot 0,15 = +6$ мин;

— для высоты по $\varphi = 60^\circ$ и $A = 30^\circ$ из таблицы выбираем 0,3 мин, следовательно, $\Delta T_h = +32 \cdot 0,3 = 10$ мин.

Ответ. Момент восхода светила изменится на $\Delta T = \Delta T_\varphi + \Delta T_\delta + \Delta T_h = 6 + 6 + 10 = 22$ мин.

Смещение места наблюдений на величину $\Delta \omega$ по отшествию или на $\Delta \lambda = \Delta \omega \sec \varphi$ по долготе создает при расчете T_c по T_m погрешность, равную $\Delta \lambda$, выраженной во временной мере. В малых и умеренных широтах явления восхода (захода) наблюдаются практически одновременно в пределах видимого горизонта (в радиусе 5—7 миль от расчетной точки); при допустимой точности расчетов ± 5 мин этот радиус возрастает в 5—10 раз в зависимости от азимута явления.

Таблица и график освещенности для заданного района составляются на бланках формы Ш-25 изд. ГУНиО обычно на месяц. Промежуточные расчеты ведут по схемам табл. 9.7.1. Границы зоны действия графика освещенности оцениваются по табл. 9.7.2; аналогично оценивается изменение времени наступления явления вследствие перемены высоты светила на величину $\Delta h = \Delta h_a + \Delta h_t + \Delta h_v$ при изменении высоты глаза, температуры и давления воздуха (гл. 22).

При составлении таблицы освещенности и отображения освещенности на графическом плане похода расчеты ведутся с учетом изменения среднего времени явления T_m в разные календарные даты

(табл. 9.7.1), изменения координат корабля и системы счета судового времени на походе (гл. 6). Расчеты носят предварительный характер и выполняются с точностью до 5 мин по методу последовательных приближений, а затем на походе ежедневно уточняются по мере необходимости. Для предварительных расчетов наиболее удобно пользоваться ПМК, штурманским вычислительным комплектом (ШВК) «Электроника МК-52-Астро», приложением 10 МТ-75 или картами 74 и 75 Морского атласа, т. II. Порядок выполнения последовательных приближений (табл. 9.7.3) следующий:

1) в заданную дату для средней широты заданного района начала похода по графику следует найти среднее время T_m явления и, в первом приближении, принять $T_c = T_m$ (при работе с МАЕ можно принять $T_c = T_T$). Для T_c по предварительной прокладке найти координаты первой расчетной точки C_1 ;

2) вычислить среднее время прохождения кораблем точки C_1

$$T'_m = T_c \mp N_{cW}^E \pm \lambda_W^E; \quad (9.7.1)$$

3) уточнить среднее время наступления явления в точке C_1 (при работе с МАЕ $T_m = T_T + \Delta T_o + \Delta T_i$) (табл. 9.7.1);

4) сравнить T'_m из п. 2 с величиной T_m из п. 3; если разность окажется меньше 5 мин, то перевести T_m в T_c ,

$$T_c = T_m \mp \lambda_W^E \pm N_{cW}^E \quad (9.7.2)$$

и расчеты для точки C_1 будут закончены;

5) если же разность $\Delta T_1 = T'_m - T_m$ окажется больше 5 мин, то уточнить момент $T_c = T_c \pm \Delta T_1$ и найти новую расчетную точку C_2 ; знак у ΔT_1 ставится в зависимости от того, раньше или позже наступления явления проходит корабль точку C_1 ;

6) по формуле (9.7.1) вычислить момент T'_{m_2} прохождения кораблем точки C_2 ; аналогично п. 3 вычислить T_{m_2} явления в точке C_2 . Сравнить T'_{m_2} и T_{m_2} и продолжать последовательные приближения до тех пор, пока не получим ΔT меньше 5 мин; перевести последний момент T_m в T_c .

В таблице освещенности на поход (табл. 9.7.4) на каждую календарную дату по судовому времени указываются начало и конец сумерек, моменты и азимуты восхода и захода Солнца и Луны, а также отображаются условия наблюдений Луны и планет, полученные из МАЕ.

На графическом плане похода условными знаками или цветными карандашами отображаются распределение дневного, сумеречного и ночного времени суток, моменты восхода и захода Солнца и Луны (рис. 9.7.1). На карте стрелками отмечаются азимуты их восхода или захода.

В некоторых случаях может оказаться более удобным составить таблицы и графики освещенности на несколько календарных дат для основных пунктов похода (например, для пунктов предполагаемых заходов); работа выполняется по форме Ш-25 с учетом правил, изложенных в табл. 9.7.1.

Таблица 9.7.3

Расчеты освещенности по маршруту похода методом последовательных приближений (пример по маршруту о. Медвежий — о. Ньюфаундленд с 26 июля по 30 июля; $N_c = 3 \text{ E}$)






Пособия	Предварительная прокладка					График или МАЕ					МАЕ	МТ-75
	Расчетная точка	T_c (дата)	Долгота места λ и $-(N_c - \lambda)$	T_m (дата)	Широта места φ	T_m явления (дата)	Разность времен (7) — (5)	Гражд. сумерки	Навиг. сумерки	Склонение Солнца		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Граница полярного дня	1	15,8* (26)	0,3* (-2,7*)	13,1* (26)	69,7°N	12,1* (26)	-1,0*	—	—	—	—	
☉	2	00,0 (27)	0,1 (-3,1)	20,9 (26)	67,6	22,3 (26)	+1,4	—	—	—	—	
☉	3	04,0 (27)	0,3 (-3,3)	00,7 (27)	66,4	22,0 (26)	-2,7	—	—	—	—	
☉	4	02,0 (27)	0,2 (-3,2)	22,8 (26)	67,0	22,1 (26)	-0,7	—	—	—	—	
☉	5	01,5 (27)	0,2 (-3,2)	22,3 (26)	67,2	22,3 (26)	0	2,2*	—	19,4°N	334°	
☉	6	05,5 (27)	0,4 (-3,4)	02,1 (27)	65,7	02,5 (27)	+0,4	—	—	—	—	
☉	7	05,9 (27)	0,4 (-3,4)	02,5 (27)	65,6	02,5 (27)	0	2,2*	—	19,4°N	33°	
☉	8	01,0 (28)	1,1 (-4,1)	20,9 (27)	61,6	20,9 (27)	0	1,2	2,0*	19,2°N	316°	
☉	9	07,4 (28)	1,4 (-4,4)	03,0 (28)	59,8	03,6 (28)	+0,6	—	—	—	—	
☉	10	08,0 (28)	1,4 (-4,4)	03,6 (28)	59,6	03,6 (28)	0	1,1*	2,4*	19,1°N	48°	

Продолжение табл. 97.9

Пособия	Предварительная прокладка						График или МАЕ					МАЕ	МГ-75
	Расчет- ная точка	T_c (дата)	Долгота места λ и — ($N, c - \lambda$)	T_m (дата)	Широта места φ	T_n явления (дата)	Разность времен (7) — (5)	Гражд. сумерки	Навигат. сумерки	Склонение Солнца	Азимут захода или восхода		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
⊙	11	01,0* (29)	2,0* (-5,0*)	20,0* (28)	55,4°N	20,2* (28)	+0,2*	—	—	—	—		
⊙	12	01,2 (29)	2,0 (-5,0)	20,2 (28)	55,3	20,2 (28)	0	0,8*	1,2*	18,9° N	306°		
⊙	13	09,0 (29)	2,2 (-5,2)	03,8 (29)	53,3	04,2 (29)	+0,4*	—	—	—	—		
⊙	14	09,4 (29)	2,2 (-5,2)	04,2 (29)	53,2	04,2 (29)	0	0,7*	1,1*	18,9° N	56°		
⊙	15	01,2 (30)	2,7 (-5,7)	19,5 (29)	49,1	19,7 (29)	+0,2*	—	—	—	—		
⊙	16	01,4 (30)	2,7 (-5,7)	19,7 (29)	49,0	19,7 (29)	0	0,6*	0,9*	18,7° N	300°		
⊙	17	10,2 (30)	3,0 (-6,0)	04,2 (30)	46,6	04,6 (30)	+0,4*	—	—	—	—		
⊙	18	10,6 (30)	3,0 (-6,0)	04,6 (30)	46,5	04,6 (30)	0	0,6*	0,7*	18,6° N	61°		

Таблица 9.7.4

Освещенность на походе (пример по маршруту о. Медвежий — о. Ньюфаундленд;
 $N_c = 3 \text{ E}$)

Характеристика явления	Календарные даты (по судовому времени)				
	26 июля	27 июля	28 июля	29 июля	30 июля
Начало утренних навигационных сумерек	Полярный день	—	04,5 ^а	07,6 ^а	09,3 ^а
Начало утренних гражданских сумерек	То же	Сумерки всю ночь	06,9	08,7	10,0
Восход Солнца	—	05,9 ^а	08,0	09,4	10,6
Азимут восхода Солнца	—	33°	48°	56°	61°
Заход Солнца	—	01,5 ^а	01,0 ^а	01,2 ^а	01,4 ^а
Азимут захода Солнца	—	334°	316°	306°	300°
Конец вечерних гражданских сумерек	Полярный день	Сумерки всю ночь	02,2 ^а	02,0 ^а	02,0 ^а
Конец вечерних навигационных сумерек	То же	—	04,2	03,2	02,9
Восход Луны	—	02,3 ^а	04,9	07,2	09,6
Азимут восхода Луны	—	38°	46°	53°	59°
Заход Луны	20,1 ^а	21,6 ^а	22,9 ^а	24,0 ^а	
Азимут захода Луны	321°	317°	310°	303°	
Возраст Луны	24 ^а	25 ^а	26 ^а	27 ^а	28 ^а
Фаза Луны					
Поправка для перехода от судового времени к пояскому в районе плавания	—3 ^а	—3 ^а	—4 ^а	—5 ^а	—6 ^а
Планеты	Венера	Марс	Юпитер	Сатурн	
Период видимости каждые сутки	Вечерние сумерки	От полуночи до утра	Слуптя 2—3 ^а после захода Солнца	Всю ночь	
Блеск m	—3,3	+1,7	—1,6	+1,1	

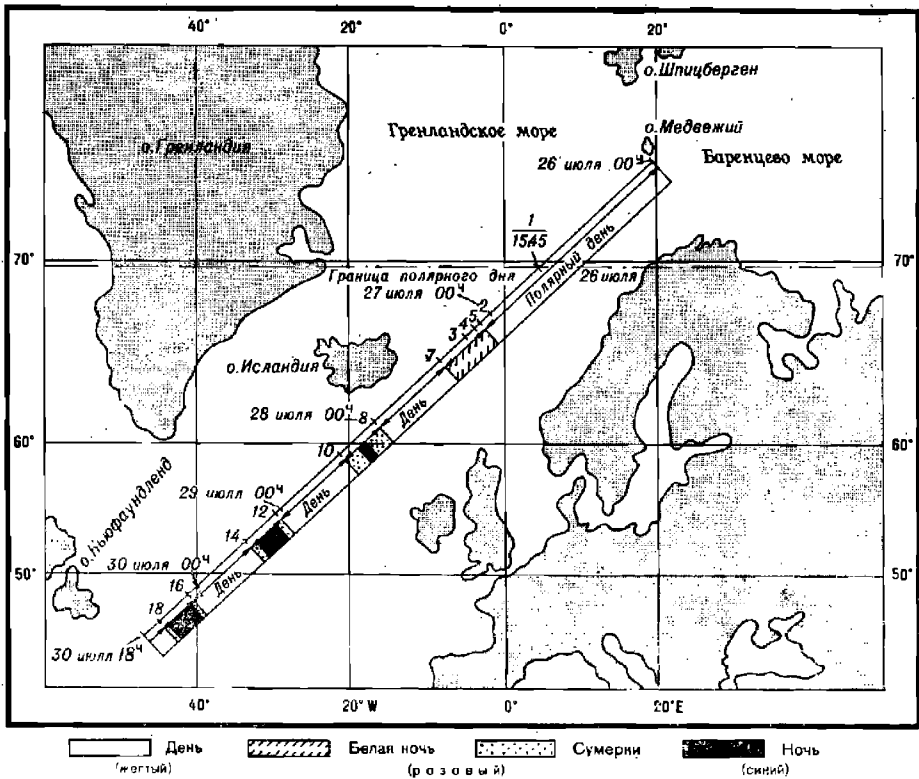


Рис. 9.7.1

§ 9.8. РАСЧЕТ НАВИГАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПЛАВАНИЯ

Навигационная безопасность плавания в рассматриваемом районе оценивается вероятностью прохода этого района по чистой воде без соприкосновения с неподвижными надводными и подводными навигационными препятствиями с известными координатами.

При отсутствии промахов в определении места корабля и при исправном состоянии используемых корабельных технических средств навигации и средств навигационного оборудования вероятность P безопасного плавания на рассматриваемом участке среди навигационных опасностей (рис. 9.8.1) рассчитывается по приближенной формуле

$$P = \prod_{i=1}^n P_i, \quad (9.8.1)$$

здесь P_i — вероятность беспрепятственного прохода i -й навигационной опасности, расположенной на удалении D_i от линии пути корабля;

n — общее количество навигационных опасностей.

Вероятность P_i беспрепятственного прохода i -й навигационной опасности рассчитывается по формуле

$$P_i = 1 - \exp\left(-\frac{D_i}{M_i}\right)^2, \quad (9.8.2)$$

где D_i — кратчайшее расстояние до i -й навигационной опасности;
 M_i — СКП места в точке на линии пути, расположенной на кратчайшем расстоянии от i -й навигационной опасности.

$$M_i = \sqrt{M_0^2 + (0,7K_c t)^2}, \quad (9.8.3)$$

здесь M_0 — СКП последней обсервации, мили;
 K_c — коэффициент точности счисления;
 t — интервал счисления от последней обсервации до данной точки, ч.

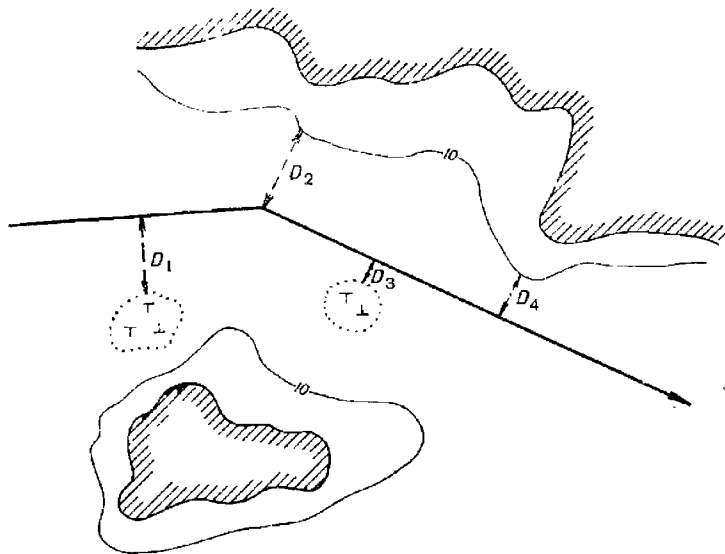


Рис. 9.8.1

Пример. Ближайшие навигационные опасности расположены в следующих расстояниях от линии пути: $D_1 = 1,2$ мили, $D_2 = 0,8$ мили, $D_3 = 1,5$ мили. Временные интервалы между обсервацией в точке 1 ($M_1 = 0,5$ мили) и точками на линии пути, находящимися на указанных расстояниях от опасностей, равны: $t_1 = 36$ мин, $t_2 = 42$ мин.

Определить вероятность P безопасного плавания, если $K_c = 1,0$.

Решение:

— рассчитываются СКП мест, соответствующих кратчайшим расстояниям до опасностей:

$$M_2 = \sqrt{0,5^2 + (0,7 \cdot 1 \cdot 0,6)^2} = 0,65 \text{ мили};$$

$$M_3 = \sqrt{0,5^2 + (0,7 \cdot 1 \cdot 0,7)^2} = 0,70 \text{ мили};$$

— с помощью табл. 1-в МТ-75 (колонка $e \neq 1,0$) рассчитываются вероятности безопасного прохода каждого навигационного препятствия:

$$R_1 = \frac{1,2}{0,5} = 2,4; \quad P_1 = 0,997; \quad R_2 = \frac{0,8}{0,65} = 1,23; \quad P_2 = 0,78; \quad R_3 = \frac{1,5}{0,70} = 2,14; \quad P_3 = 0,99;$$

— по формуле (9.8.1) рассчитывается искомая вероятность $P = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 = 0,997 \cdot 0,78 \cdot 0,99 = 0,77$.

Ответ: $P = 0,77$.

При плавании между двумя навигационными опасностями (рис. 9.8.2), расположенными на расстояниях D_1 и D_2 от корабля, вероятность P безопасного плавания рассчитывается по формуле

$$P = 0,5(P_1 + P_2), \quad (9.8.4)$$

где P_1 и P_2 — вероятности, определяемые по табл. 1-6 МТ-75 по аргументам $z_1 = 1,4D_1/M$, $z_2 = 1,4D_2/M$ соответственно.

Пример. В точке на линии пути, расположенной между двумя навигационными опасностями, точность места корабля оценивается величиной $M = 1,2$ мили. Определить вероятность безопасного прохода узкости, если расстояние до опасностей от указанной точки $D_1 = 1,6$ мили и $D_2 = 3,4$ мили.

Решение:

— рассчитываются величины

$$z_1 = \frac{1,4D_1}{M} = 1,86; \quad z_2 = \frac{1,4D_2}{M} = 3,96;$$

— по значениям z_1 и z_2 из табл. 1-6 МТ-75 выбираются величины $P_1 = 0,937$ и $P_2 = 1,0$;

— по формуле (9.8.4) рассчитывается вероятность $P = 0,5(0,937 + 1,0) = 0,97$.

Ответ: $P = 0,97$.

Если намеченный путь корабля проходит вблизи одной навигационной опасности (расстояния до других ближайших навигационных опасностей $D \geq 3M$), то вероятность P безопасного плавания рассчитывается по формуле

$$P = 0,5(1 + P_1), \quad (9.8.5)$$

где P_1 — вероятность, определяемая по табл. 1-6 МТ-75 по аргументу $z = 1,4D/M$.

Пример. Кратчайшее расстояние от линии пути до отдельно лежащей навигационной опасности $D = 9$ кбт. СКП места корабля на данном участке плавания $M = 6$ кбт. Определить вероятность P безопасного прохода данной навигационной опасности.

Решение:

— рассчитывается $z = 1,4D/M = 2,1$;

— из табл. 1-6 МТ-75 по значению z выбирается величина $P_1 = 0,964$;

— по формуле (9.8.5) рассчитывается вероятность $P = 0,5(1 + 0,964) = 0,982$.

Ответ: $P = 0,982$.

Расчет вероятностей P безопасного плавания производится для всех точек линии пути, кратчайшее расстояние от которых до ближайшей навигационной опасности соответствует величине $D < 3M$. По рассчитанным вероятностям строится график (рис. 9.8.3). Осью абсцисс этого графика является оперативное или судовое время плавания T , осью ординат — вероятность безопасного плавания P . Анализ графика позволяет сделать обоснованное суждение о навигационной безопасности плавания.

При заданной вероятности P_s безопасного плавания минимальное расстояние D_{\min} линии пути от навигационных опасностей должно рассчитываться по формулам:

— при плавании среди навигационных опасностей

$$D_{\min l} = RM_{\rho},$$

где R определяется по табл. 1-в МТ-75 ($e = 1,0$) по заданной величине P_s ;

— при плавании в районе, в котором навигационные опасности расположены по одну сторону линии пути

$$D_{\min_i} = \frac{z M_1}{1,4},$$

где величина z определяется по табл. 1-6 МТ-75 по аргументу $P=2$ ($P_3 = 0,5$).

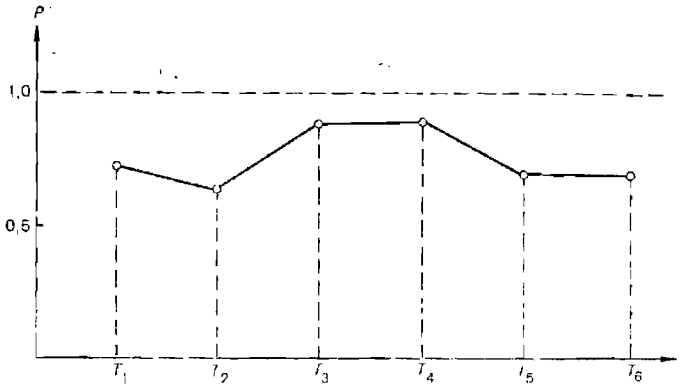


Рис. 9.8.3

В том случае, если вероятность безопасного плавания задана, а изменение линии пути невозможно, то производится расчет допустимой и ожидаемой точности плавания.

При плавании среди навигационных опасностей допустимая СКП места на участке, где минимальное расстояние до ближайшей опасности равно D , рассчитывается по формуле

$$M_1 \leq \frac{D}{R}, \quad (9.8.6)$$

где R — значение, определяемое из таблицы 1-в МТ-75 по заданной вероятности безопасного плавания P_3 в колонке $e=1,0$.

При проходе узкости, в которой навигационные опасности расположены симметрично по обе стороны линии пути, допустимая СКП места рассчитывается по формуле

$$M_1 \leq \frac{1,4D}{z}, \quad (9.8.7)$$

где z — значение, определяемое из табл. 1-6 МТ-75 по заданной вероятности P_3 ;

D — минимальное расстояние до опасности.

При наличии одной навигационной опасности величина M_d рассчитывается по формуле

$$M_d = \frac{1,4D}{z}, \quad (9.8.8)$$

где z — значение, определяемое из табл. 1-6 МТ-75 по аргументу $P=2$ ($P_3 = 0,5$).

Ожидаемые погрешности места рассчитываются по формуле

$$M = \sqrt{M_0^2 + M_c^2(t)},$$

где M_0 — ожидаемая СКП запланированной на данном участке обсервации;

$M_c(t)$ — СКП счисления, соответствующая интервалу времени от момента последней обсервации до данного расчетного момента.

Величина M_0 зависит от способа обсервации и определяется по формулам, приведенным в гл. 15—20, 23—25, или вычисляется на ЭКВМ «Спика».

Величина $M_c(t)$ в милях рассчитывается по коэффициенту точности счисления K_c и по времени плавания по счислению по формулам, приведенным в § 12.11.

Сравнивая величины M_d и M , делают вывод об обеспечении заданной вероятности безопасности плавания.

Для определения допустимого времени t_d плавания по счислению (в часах) используются формулы:

— при плавании вблизи берегов и навигационных опасностей

$$t_d \leq \frac{1,4}{K_c} \sqrt{M_d^2 - M_0^2}; \quad (9.8.9)$$

— при плавании в открытом море

$$t_d \leq \frac{1}{K_c^2} (M_d^2 - M_0^2). \quad (9.8.10)$$

СКП M_d и M_0 в этих формулах выражаются в милях.

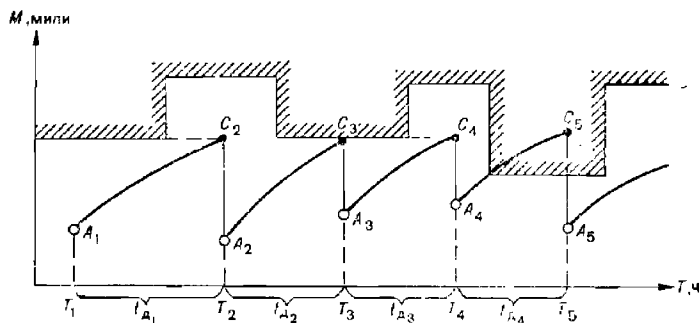


Рис. 9.8.4

Наглядный анализ надежности навигационно-гидрографического обеспечения плавания производится по графикам допустимой и ожидаемой точности плавания. Они строятся на миллиметровой бумаге следующим образом:

— проводятся координатные оси (рис. 9.8.4): ось средних квадратических погрешностей места M в милях — ось ординат и ось времени T в часах — ось абсцисс;

— для каждого курса, проходящего вблизи навигационных опасностей, по формулам (9.8.6—9.8.8) рассчитываются допустимые средние квадратические погрешности места M_d и по ним строится график (на рис. 9.8.4 ломаная линия со штриховкой);

— для исходной точки предварительной навигационной прокладки, соответствующей времени T_1 , рассчитывается ожидаемая средняя квадратическая погрешность M_1 , соответствующая запланированной на этот момент обсервации или осредненному месту;

— на ординате точки T_1 откладывается отрезок $T_1A_1=M_1$;

— по формуле (9.8.9) или по формуле (9.8.10), в зависимости от условий плавания, рассчитывается допустимый интервал плавания по счислению t_d . При этом за величину M_0 принимается значение M_1 , а за M_d — минимальная ордината M_{d_1} , снимаемая с графика допустимых погрешностей на интервале $T_1 + 2$ ч (при плавании вблизи навигационных опасностей или береговой черты) или на интервале $T_1 + 4$ ч (при плавании в открытом море). Величина t_d определяет точку T_2 — момент производства второй обсервации для коррекции счисления;

— на ординате точки T_2 откладывается отрезок $T_2C_2=M_{d_1}$, и из точки A_1 проводится линия нарастания погрешности места от момента T_1 до момента T_2 — линия A_1C_2 ;

— по значению средней квадратической погрешности M_2 , соответствующей наиболее точному способу определения места в момент T_2 , на график наносится отрезок ординаты $T_2A_2=M_2$. Отрезок C_2A_2 соответствует величине уменьшения погрешности счислимого места в момент T_2 .

Далее действия повторяются: точка A_2 принимается за исходную и относительно нее производятся расчеты и построения, аналогичные вышеизложенным.

В результате получается пилообразная линия $A_1C_2A_2C_3A_3C_4 \dots$, характеризующая ожидаемую точность плавания по выбранному или назначенному пути.

График ожидаемой точности плавания подводной лодки в подводном положении строится так же; в некоторых случаях значения интервалов между обсервациями не рассчитываются, а определяются заданными моментами подвсплывтий.

Совмещение графиков допустимой и ожидаемой точности плавания позволяет произвести обоснованный анализ надежности навигационной безопасности плавания: если линия ожидаемой точности плавания не пересекает линию допустимой точности, то на всем маршруте обеспечивается вероятность безопасного плавания не ниже заданной; если линия ожидаемой точности плавания пересекает линию допустимой точности, то на участке, соответствующем неравенству $M > M_d$, заданная вероятность безопасного плавания не обеспечивается (на рис. 9.8.4 заданная вероятность безопасного плавания не обеспечивается на интервале T_4T_5). В этом случае для достижения заданной надежности плавания необходимо спланировать дополнительную обсервацию или сделать заявку на установку дополнительных маневренных средств навигационного оборудования.

Графики допустимой и ожидаемой точности плавания являются основой для составления плановой таблицы обсерваций и для обоснования необходимости дополнительного навигационно-гидрографического обеспечения.

В плановой таблице обсерваций на каждый снятый с графика момент коррекции счисления указываются: время производства обсервации, допустимая и ожидаемая погрешности счислимого места, основной и резервный способы определения места, погрешность обсервации или осреднения нескольких обсерваций, ориентиры, относительно которых измеряются навигационные параметры.

Таблица обсерваций является одним из основных рабочих документов, регламентирующих работу штурмана по обеспечению навигационной безопасности плавания.

Таким образом, с помощью графиков допустимой и ожидаемой точности плавания решаются следующие задачи:

- производится количественная оценка надежности навигационно-гидрографического обеспечения по выбранному маршруту;
- выявляются участки маршрута, на которых не обеспечивается заданная вероятность безопасного плавания;
- обосновывается необходимость дополнительных средств навигационного оборудования;
- определяется время производства обсерваций.

§ 9.9. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАВИГАЦИОННОЙ ЭКВМ «СПИКА» ДЛЯ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ ПЛАНИРУЕМЫХ ОБСЕРВАЦИЙ

В зависимости от длины маршрута количество планируемых обсерваций может исчисляться десятками или даже сотнями. Поэтому расчет их точности связан с большим объемом вычислений, что ставит задачу автоматизации расчетов.

Использование навигационной электронной клавишной вычислительной машины (ЭКВМ) «Спика» для расчета ожидаемой точности плавания интенсифицирует вычислительный процесс, повышает его точность и надежность, существенно сокращает вероятность промахов и способствует повышению качества проработки маршрута предстоящего плавания.

В навигационной ЭКВМ «Спика» отдельной штатной программы для оценки ожидаемой точности места не предусмотрено. Задачу расчета средней квадратической погрешности обсервации она решает в комплексе с определением вероятнейших координат по измеренным навигационным параметрам.

Предлагается два способа решения задачи: градиентный и численного навигационного параметра.

Градиентный способ. Сущность способа состоит в ручном расчете градиентов и средних квадратических погрешностей линий положения и в автоматическом расчете искомой точности обсерваций путем решения штатных машинных задач № 10 и 11.

Способ реализуется в следующей последовательности.

Для точки предварительной прокладки, в которой планируется производство очередной обсервации, рассчитываются направления τ и модули g градиентов тех навигационных параметров, по которым будет производиться обсервация. Для расчета используются следующие формулы:

при пеленговании: $\tau = A - 90^\circ$; $g = 57,3/D$;

при измерении расстояний: $\tau = A \pm 180^\circ$; $g = 1$;

при измерении высот светил: $\tau = A$; $g = 1$;

при использовании разностно-дальномерных радионавигационных систем:

$$\tau = \frac{A_1 + A_2}{2} \pm 90^\circ; \quad g = 2 \sin \frac{A_2 - A_1}{2}.$$

Азимуты (пеленги) с данной точки на ориентиры (A) или на наземные станции (A_1 и A_2) и расстояния до ориентиров (D в милях) измеряются по навигационной морской карте. Азимуты небесных светил определяются по звездному глобусу.

При наличии карт с сетками навигационных изолиний направление градиента τ снимается с карты по направлению перпендикуляра к навигационной изолинии, проходящей через данную числимую точку; при этом перпендикуляр направляется от изолинии с меньшим числом к изолинии с большим числом. Модуль градиента g также рассчитывается по нанесенным изолиниям: $g = \Delta/L$, где L — кратчайшее расстояние между соседними изолиниями вблизи рассматриваемой точки, Δ — разность цифровок этих изолиний.

По априорным СКП навигационных параметров m_{U_i} рассчитываются СКП линий положения: $m_i = m_{\lambda_i} = m_{U_i} / g$.

Производится ввод рассчитанных данных и переносов линий положения l в ЭКВМ:

```

НУ ЗАДАЧА 10  $\varphi_c$  . . .  $\lambda_c$  . . .  $m_1$  . . .  $l_1$  . . .  $\tau_1$  . . . ПУСК
                 $m_2$  . . .  $l_2$  . . .  $\tau_2$  . . . ПУСК
                . . . . .
                 $m_n$  . . .  $l_n$  . . .  $\tau_n$  . . . ПУСК
    
```

Координаты точки φ_c и λ_c вводятся с точностью до градуса, а значения l — произвольные в пределах от 1 до 9 дуговых минут.

Решается задача № 11, в результате определяется искомая точность обсервации:

ЗАДАЧА 11 ПУСК

После высветки в правой части цифрового индикатора знака Γ фиксируется ответ:

НУ М ПУСК — на индикаторе СКП места в метрах,

ММ ПУСК — на индикаторе СКП места в милях,

а М ПУСК — на индикаторе большая полуось среднего квадратического эллипса погрешностей в милях,

б М ПУСК — на индикаторе малая полуось среднего квадратического эллипса погрешностей в милях,

а ПУСК — на индикаторе большая полуось этого же эллипса в метрах,

б ПУСК — на индикаторе малая полуось этого же эллипса в метрах,

т ПУСК — на индикаторе направление большой оси эллипса погрешностей (градусы, минуты, секунды и десятые доли секунды).

Пример. Рассчитать ожидаемую точность вероятнейшего места корабля, если в точке с координатами $\varphi_c = 69^\circ 42,0' N$, $\lambda_c = 33^\circ 36,0' E$ планируется обсервация по трем радиопеленгам на следующие радиомаяки:

РМк Цып-Наволоцкий, $\varphi = 69^\circ 43' 54'' N$, $\lambda = 33^\circ 06' 06'' E$, $m_U = 0,8^\circ = 48'$;

РМк Сеть-Наволоцкий, $\varphi = 69^\circ 23' 54'' N$, $\lambda = 33^\circ 30' 24'' E$, $m_U = 0,8^\circ = 48'$;

РМк Тернберский, $\varphi = 69^\circ 15' 06'' N$, $\lambda = 35^\circ 09' 30'' E$, $m_U = 1,5^\circ = 1'30''$.

Решение:

— по навигационной карте измеряются числимые пеленги на расстояния (числимая точка — ориентиры)

$$\begin{aligned}
 P_1 &= 280^\circ, & D_1 &= 10,6 \text{ мили,} \\
 P_2 &= 186^\circ, & D_2 &= 18,3 \text{ мили,} \\
 P_3 &= 129^\circ, & D_3 &= 42,6 \text{ мили;}
 \end{aligned}$$

— рассчитываются градиенты радиопеленгов:

$$\begin{aligned}
 \tau_1 &= 280^\circ - 90^\circ = 190^\circ, & g_1 &= 57,3/10,6 = 5,41 \text{ }^\circ/\text{мили,} \\
 \tau_2 &= 186^\circ - 90^\circ = 96^\circ, & g_2 &= 57,3/18,3 = 3,13 \text{ }^\circ/\text{мили,} \\
 \tau_3 &= 129^\circ - 90^\circ = 39^\circ, & g_3 &= 57,3/42,6 = 1,34 \text{ }^\circ/\text{мили;}
 \end{aligned}$$

— рассчитываются СКП линий положения:

$$\begin{aligned}
 m_1 &= 0,8/5,41 = 0,15 \text{ мили} = 9,0'', \\
 m_2 &= 0,8/3,13 = 0,25 \text{ мили} = 15,0'', \\
 m_3 &= 1,5/1,34 = 1,11 \text{ мили} = 1'07''.
 \end{aligned}$$

— производится ввод исходных данных в ЭКВМ:

НУ ЗАДАЧА 10 $\varphi_c 69h^\circ \lambda_c 33h^\circ$ $m 9,0S''$ $l 2m'$ $\tau 190h^\circ$ ПУСК,
 $m 15,0S''$ $l 2m'$ $\tau 96h^\circ$ ПУСК,
 $m 1m'7S''$ $l 2m'$ $\tau 39h^\circ$ ПУСК;

— производится автоматический расчет искомой точности: ЗАДАЧА 11 ПУСК.
 После индикации нефиксируемого числа со знаком \square определяется точность места:

НУ ММ ПУСК — 0,290 — СКП наблюдения в милях,
 а М ПУСК — 0,249 — большая полуось среднего квадратического эллипса погрешностей в милях,

б М ПУСК — 0,147 — малая полуось среднего квадратического эллипса погрешностей в милях,

т ПУСК — $102^\circ 51' 34,4''$ — направление большой оси эллипса погрешностей.

Способ счислимого навигационного параметра. Для точки предварительной прокладки, в которой планируется производство очередной наблюдения, или для любой рядом лежащей точки определяются счислимые значения навигационных параметров относительно ориентиров, по которым будет производиться наблюдение. Далее эти счислимые навигационные параметры принимаются за наблюдаемые и по ним с помощью ЭКВМ обычным порядком, т. е. путем решения задач № 1—7 (в зависимости от вида навигационного параметра) и задачи № 8 автоматически определяются вероятнейшие координаты (они фиксируются лишь для контроля правильности расчетов) и их точность — СКП наблюдения и элементы среднего квадратического эллипса погрешностей.

Счислимые навигационные параметры измеряются по навигационной карте или по карте с сеткой навигационных изолиний для той точки, в которой планируется производство наблюдения. При отсутствии карт счислимые навигационные параметры могут быть рассчитаны с помощью ЭКВМ путем решения штатных для данной машины задач: № 12 — пеленги и расстояния, № 16, 17 и 18 — высоты и азимуты светил, № 20 — радионавигационные параметры всех РНС (кроме РНС Декка), № 21 — радионавигационный параметр РНС Декка.

Пример. Определить точность наблюдения по трем радиопеленгам (исходные данные предыдущего примера).

Решение:

— по карте измеряются счислимые пеленги с заданной точки на радиомаяки: $P_1 = 280^\circ$, $P_2 = 186^\circ$, $P_3 = 129^\circ$;

— производится ввод счислимых радиопеленгов в ЭКВМ:

НУ ЗАДАЧА 3 ЛП 1 $\varphi_c 69h^\circ 42m'$ $\lambda_c 33h^\circ 36m'$ $B 1 69h^\circ 43m' 54S''$ $L 1 33h^\circ 6m' 6S''$ $m 48m'$ $P 280h^\circ$ ПУСК — результат не фиксируется;

НУ ЗАДАЧА 3 ЛП 2 $\varphi_c R$ $\lambda_c R$ $B 1 69h^\circ 23m' 54S''$ $L 1 33h^\circ 30m' 24S''$ $m 48m'$ $P 186h^\circ$ ПУСК — результат не фиксируется;

НУ ЗАДАЧА 3 ЛП 3 $\varphi_c R$ $\lambda_c R$ $B 1 69h^\circ 15m' 6S''$ $L 1 35h^\circ 9m' 30S''$ $m 1h^\circ 30m'$ $P 129h^\circ$ ПУСК — результат не фиксируется;

— рассчитывается ожидаемая точность планируемой наблюдения:

НУ ЗАДАЧА 8 ЛП 123 ПУСК — после высветки на индикаторе знака \square фиксируется искомая точность:

НУ ММ ПУСК — 0,290 — СКП наблюдения в милях,
 а М ПУСК — 0,251 — большая полуось среднего квадратического эллипса погрешностей в милях,

б М ПУСК — 0,145 — малая полуось среднего квадратического эллипса погрешностей в милях,

т ПУСК — $101^\circ 58' 25,1''$ — направление большой оси эллипса погрешностей.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ, РЕМОНТ И ПОДГОТОВКА К ПОХОДУ КОРАБЕЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НАВИГАЦИИ

§ 10.1. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ КОРАБЕЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НАВИГАЦИИ

Технические средства навигации считаются готовыми к использованию, если они исправны, полностью укомплектованы ЗИП, у них определены инструментальные поправки, точность измерения и выработки навигационных параметров соответствует требованиям технических условий (формуляров).

Под техническим обслуживанием (ТО) понимается совокупность работ и организационно-технических мероприятий, направленных на поддержание ТСН в исправном состоянии и обеспечивающих необходимую эффективность использования их по назначению.

Техническое обслуживание проводится в целях проверки работоспособности (правильности функционирования) ТСН, определения соответствия основных параметров приборов и систем требованиям технических условий (формуляров), а также своевременного выявления и устранения неисправностей и отказов.

Основными видами технического обслуживания являются:

- ежедневные осмотры и проворачивания ТСН;
- периодические осмотры, проверки и работы по ремонту.

Ежедневное техническое обслуживание ТСН проводится во время, предусмотренное расписанием дня, в соответствии с расписанием личного состава БЧ-1 по заведованиям. Перечень выполняемых действий при осмотре и проворачивании ТСН указывается в инструкциях по их эксплуатации. В БЧ-1 на основе требований эксплуатационной документации и особенностей размещения приборов на корабле, как правило, для каждого боевого номера разрабатывается инструкция по ежедневному осмотру и проворачиванию ТСН.

К периодическому техническому обслуживанию относятся осмотры, проверки и работы, проводимые с ТСН в соответствии с инструкциями по эксплуатации еженедельно, ежемесячно, ежеквартально, каждые полгода и один раз в год. Периодические проверки выполняются по планам и графикам, составленным командиром БЧ-1 и утвержденным командиром корабля, силами личного состава боевых частей корабля.

К периодическому ТО относится также предпоходовое, межпоходовое и послепоходовое техническое обслуживание.

Ежемесячное (ежеквартальное) техническое обслуживание проводится в базе при подготовке корабля к длительному плаванию, к за-

ступлению в дежурство и при подготовке к выполнению огневых задач, главным образом в виде регламентных работ.

Под регламентными работами понимаются мероприятия по техническому обслуживанию и ремонту, регламентированные по срокам, последовательности и объему выполняемых работ независимо от наличия или отсутствия повреждений и отказов. На кораблях ВМФ регламентные работы, как правило, проводятся силами БЧ-1 с привлечением в необходимых случаях специалистов гидрографической службы флота (флотилии).

Объем и порядок проведения регламентных работ определяются специальными руководствами и инструкциями по эксплуатации ТСН и правилами эксплуатации электрооборудования кораблей.

Регламентные работы подразделяются на следующие виды:

- проверка и регулировка точности работы узлов, приборов, систем и выходных данных комплексов;
- определение и компенсация систематических погрешностей приборов и систем путем учета инструментальных поправок;
- проверка и согласование ТСН с диаметральной плоскостью корабля и центральной корабельной площадкой (плоскостью);
- проверка и регулировка синхронных передач навигационных параметров внутри комплекса, приборов и систем;
- проверка приборов и систем на функционирование (работоспособность);
- чистка и смазка узлов приборов и систем, измерение сопротивления изоляции, замена изношенных элементов и т. д.

Проверки ТСН на точность функционирования, проводимые через строго установленные интервалы времени (неделя, месяц и т. д.) и перед выполнением поставленной кораблю задачи, называются регламентными проверками.

Регламентные проверки являются составной частью регламентных работ, проводимых с ТСН.

При проведении регламентных работ в межпоходовый период используются типовые ведомости и типовые сетевые графики. Выполнение регламентных работ по этим документам обязательно и не зависит от наличия отказов и неисправностей.

В межпоходовый период проводятся следующие типовые регламентные работы с техническими средствами:

- осмотр и чистка приборов снаружи и внутри, подтягивание креплений, проверка уплотнительной резины;
- осмотр электрического монтажа и проверка сопротивления изоляции;
- устранение обнаруженных неисправностей, замена неисправных элементов;
- чистка контактов и коллекторных колец;
- чистка и смазка кинематических линий;
- замена поддерживающей жидкости, а при необходимости, и чувствительного элемента (у гирокомпасов);
- чистка контактов штепсельных разъемов;
- проверка герметичности гидравлической части приборов (у гидродинамических лагов);
- проверка герметичности трубопроводов воздушного дутья и охлаждения, очистка воздушных фильтров;
- юстировка оптической системы, проверка системы осушки и осушка прибора (у астронавигационных перископов).

У машинных преобразователей производится:

- осмотр и очистка наружной поверхности корпуса от загрязнений;
- проверка исправности амортизаторов (отсутствие трещин и отслоений резины, механических повреждений) и заземлений;
- замер сопротивления изоляции преобразователей относительно корпуса;
- проворачивание преобразователя вручную и его пробный пуск;
- проверка и регулировка щеток и траверс;
- продувка преобразователя сжатым воздухом;
- проверка контактных соединений и исправности конденсаторов;
- промывка, протирка и просушка коллектора, контактных колец и контактных соединений;
- проверка исправности крышек и уплотнительных прокладок;
- пуск и проверка преобразователя по прямому назначению (отсутствие искрения на коллекторе и кольцах, исправность работы подшипников, отсутствие вибрации и чрезмерного прогрева машины);
- замена подшипников; в случае необходимости проверка их работы в течение 20—30 мин;
- замена смазки подшипников;
- проверка и регулировка пускорегулирующей аппаратуры.

В соответствии с типовой ведомостью регламентных работ радиотехнических средств проводится:

- осмотр электромеханического монтажа, проверка надежности соединений, качества заземления, состояния электроэлементов и устранение обнаруженных неисправностей;
- проверка и чистка разъемов и контактов, очистка и промывка переключателей;
- проверка кинематических линий и замена смазки.

Если продолжительность плавания корабля превышает сроки проведения очередных регламентных работ, то они должны быть выполнены перед предстоящим походом.

Правильная эксплуатация и техническое обслуживание ТСН обеспечиваются допуском к работе с навигационной техникой специалистов, хорошо знающих устройство, правила эксплуатации приборов и систем, требования по технике безопасности; строгим соблюдением всех мероприятий по техническому обслуживанию ТСН, указанных в правилах, наставлениях и инструкциях; точным соблюдением требований инструкций по эксплуатации ТСН, своевременным восстановлением боеготовности ТСН путем немедленного устранения отказов и неисправностей; своевременным и качественным определением поправок, контролем за их стабильностью, плановыми проверками КИП; полным комплексованием ЗИП и расходными материалами.

Командир БЧ-1 отвечает:

- за правильную эксплуатацию и содержание ТСН;
- за своевременное проведение осмотров и регламентных работ;
- за специальную подготовку личного состава боевой части, планирование и систематическое проведение тренировок, частных и общих учений БЧ-1 по использованию и техническому обслуживанию ТСН;
- за своевременное определение маневренных элементов корабля и поправок приборов и систем.

Командир БЧ-1 обязан не реже одного раза в месяц лично проверять состояние и учет технических средств навигации и гидрометеорологических приборов и следить за выполнением личным составом мер безопасности. Командир БЧ-1 должен лично участвовать в проведении

периодических осмотров, выполнении регламентных работ, в подготовке ТСН к длительным походам и решению кораблем специальных задач. Командир БЧ-1 направляет работу командиров групп, которые несут непосредственную ответственность за техническое состояние ТСН группы, полное, своевременное и качественное техническое обслуживание, а также за организацию проведения ремонта ТСН. Командир группы обязан знать в совершенстве ТСН, правила их технического обслуживания, состояние и организацию эксплуатации, лично участвовать в проведении осмотров и регламентных работ. Командир группы должен не менее двух раз в месяц лично проверять состояние ТСН, расход ЗИП и своевременное его пополнение, выполнение личным составом мер безопасности при техническом обслуживании ТСН, проведении тренировок, учений и регламентных работ; организовывать правильное бережение, хранение и учет ТСН; заполнять формуляры ТСН; проверять полноту и правильность ведения эксплуатационной документации ТСН.

Командир группы отвечает за специальную подготовку личного состава группы, точное выполнение требований инструкций по эксплуатации ТСН, за подготовку личного состава к борьбе за их живучесть.

Техническое состояние ТСН должно своевременно и полно учитываться путем ведения записей результатов наблюдений и осмотров в формуляре, журналах и других предусмотренных документах. Сделанные записи должны периодически анализироваться, а выводы из анализа учитываться при выполнении технического обслуживания и в период эксплуатации ТСН.

Эффективность принятой системы технического обслуживания определяется технической квалификацией личного состава, обслуживающего ТСН, и обеспеченностью необходимыми контрольно-измерительными приборами и ЗИП.

§ 10.2. РЕМОНТ КОРАБЕЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НАВИГАЦИИ И ПОРЯДОК ЕГО ПРОВЕДЕНИЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ К ПОХОДУ

Ремонт ТСН представляет собой комплекс мероприятий, направленных на восстановление работоспособности, исправности и технического ресурса навигационных приборов и комплексов. Он является составной частью системы технического обслуживания и проводится на кораблях преимущественно в форме текущих ремонтных работ.

Ремонт технических средств навигации подразделяется на следующие виды:

- ежемесячный планово-предупредительный навигационный ремонт;
- межпоходовый ремонт;
- внеплановый оперативный ремонт;
- внеплановый аварийный ремонт;
- плановый текущий, средний или капитальный ремонт;
- гарантийный ремонт;
- доковый ремонт.

Планово-предупредительный ремонт имеет целью выявление и устранение неисправностей в работе приборов ТСН, а также предупреждение их преждевременного выхода из строя. Ремонт выполняется личным составом корабля по плану, разработавшему командиром БЧ-1 и утвержденному командиром корабля. Если планируется производство работ, которые не могут быть выполнены личным составом корабля или плавмастерских, то ремонтные работы передаются специалистам гидрографической службы флота. Ремонтные ведомости

представляются в гидрографическую службу флота в трех экземплярах в сроки, указанные для планового ремонта.

Заявки на выполнение регулировочных и наладочных работ на корабле подаются так же, как и на оперативный ремонт.

Межпоходовый ремонт — это плановый ремонт ТСН по результатам технического диагностирования и дефектования приборов и систем после длительного похода корабля. Сроки проведения межпоходового текущего планово-предупредительного ремонта определяются штабом соединения и проводятся по плану, разрабатываемому командиром БЧ-1 и утверждаемому командиром корабля. Межпоходовый ремонт проводится личным составом БЧ-1 обычно с привлечением специалистов промышленности, а также представителей гидрографической службы флота.

Внеплановый оперативный ремонт направлен на восстановление работоспособности ТСН в случае внезапного эксплуатационного отказа, поломки, аварии или повреждения приборов и систем. Внеплановый оперативный ремонт выполняется специалистами гидрографической службы флота (флотилии) по решению и заявке флагманского штурмана соединения.

Внеплановый аварийный ремонт выполняется, как правило, ремонтными органами гидрографической службы флота (флотилии). В зависимости от складывающейся обстановки и сложности он может проводиться личным составом БЧ-1 или специалистами промышленности. Решение на проведение аварийного ремонта принимается на основании акта комиссии, которая устанавливает обстоятельства и причины выхода из строя приборов (систем), лиц, виновных в аварии, и объем ремонтных работ, подлежащих выполнению.

Плановые ремонты направлены на восстановление ресурса ТСН и заключаются в замене или восстановлении отказавших, изношенных или частично поврежденных элементов, узлов и приборов.

Плановые ремонты проводятся через интервалы времени, определяемые технической документацией, устанавливающей нормы выработки ресурса ТСН, или их фактическим техническим состоянием.

Плановые ремонты в зависимости от трудоемкости ремонтных работ, степени повреждения и износа приборов подразделяются на текущие, средние и капитальные.

Текущий ремонт проводится в целях устранения отказов и неисправностей ТСН путем замены или восстановления отдельных быстроизнашивающихся деталей и элементов или восстановления их работоспособности с последующим выполнением регулировочных работ. Текущий плановый ремонт — это минимальный по объему ремонт, который может обеспечить нормальную эксплуатацию ТСН до очередного планового ремонта силами личного состава БЧ-1 корабля, плавмастерских и ремонтных предприятий ГС флотов.

Средний ремонт предназначается для частичного восстановления ресурса ТСН после длительной эксплуатации. Средний ремонт заключается в восстановлении параметров и характеристик ТСН путем замены изношенных и поврежденных частей приборов и обязательной проверки технического состояния остальных составных частей приборов с устранением выявленных неисправностей.

При среднем ремонте, составляющем до 60 % для ТСН и до 70 % для гидрометеорологических приборов от объема капитального ремонта, производится, как правило, замена элементов, монтажа и функциональных узлов, комплексная проверка и регулировка системы без ее полиой

разборки. Однако может производиться полная разборка и капитальный ремонт отдельных узлов, блоков и приборов.

Средний ремонт выполняется в штурманских мастерских, в специализированных цехах судостроительных предприятий или плавмастерских.

Капитальный ремонт предназначается для полного восстановления ресурсов ТСН путем замены элементов, монтажа и функциональных узлов более чем у 50 % приборов, входящих в данное ТСН.

При капитальном ремонте производится полная разборка приборов, устранение неисправностей, сборка приборов, регулировка и комилдские испытания в соответствии с требованиями технических условий.

Капитальный ремонт ТСН выполняется в штурманских мастерских и на заводах-изготовителях.

Плановый ремонт ТСН производится обычно в сроки планового ремонта корабля в целом.

Ремонтные ведомости на плановый ремонт ТСН составляются в трех экземплярах и представляются в ГС флота для рассмотрения и утверждения в следующие сроки:

- за 25 суток при выполнении межпоходового ремонта;
- за 3 месяца до постановки корабля в текущий ремонт;
- за 4 месяца до постановки корабля в средний ремонт;
- за 6 месяцев до постановки корабля в капитальный ремонт;
- за месяц до постановки корабля в док.

Работы по ремонту ТСН, выполняемые судоремонтными предприятиями, согласовываются с гидрографической службой флота и включаются в общекорабельные ремонтные ведомости.

Судоремонтные предприятия выполняют следующие ремонтные работы:

- замену кабелей, рассчитанных на работу в условиях высокого давления;
- ремонт и регулировку электродвигателей и преобразователей с пускорегулирующей аппаратурой;
- ремонт и опрессовку трубопроводов и арматуры систем охлаждения гирокомпасов и гироазимутов, трубопроводов и арматуры гидродинамических лагов;
- ремонт, опрессовку и испытание герметичных емкостей пеленгаторных реалтеров и корпусов датчиков дистанционных магнитных компасов;
- установку и опрессовку рамочных антенных устройств (типа ПР-1 и др.).

Гарантийный ремонт проводится в целях устранения производственных или конструктивных дефектов ТСН, выявленных в процессе гарантийного срока их эксплуатации.

Гарантийный ремонт выполняется специалистами промышленности.

Доковый ремонт проводится при нахождении корабля в доке. Подлежащие ремонту ТСН включаются в общекорабельную ведомость, которая представляется командиром корабля в техническое управление флота за месяц до постановки корабля в док. Выявленные дефекты после постановки корабля в док включаются в акт докового осмотра.

По ТСН судоремонтные предприятия проводят корпусные и электромонтажные работы по демонтажу и установке вибраторов эхолотов, антенн гидроакустических лагов и ИППС индукционных лагов; ремонт трубопроводов и забортной арматуры систем охлаждения гирокомпасов и гироазимутов; ремонт и замену неисправных трубопроводов и клапанов штевневового приемного устройства лагов; проверку на герметич-

ность (опрессовку) трубопроводов гидравлических систем лагов, систем охлаждения гирокомпасов и лагов; ремонт клинкетов лагов.

Ведомости на ремонт в мастерских ГС флота вибраторов эхолотов составляются в трех экземплярах и представляются в ГС флота не позднее чем через двое суток после постановки корабля в док.

При подготовке и выполнении ремонтных работ командир БЧ-1 обязан:

- руководить заполнением и своевременно представлять карточки учета отказов и неисправностей ТСН;

- своевременно составлять ведомости на производство ремонтных работ;

- следить за своевременным оформлением и сдачей контрольно-измерительной аппаратуры для поверки;

- руководить опытной эксплуатацией ТСН;

- руководить ремонтными работами, выполняемыми личным составом БЧ-1, и контролировать проведение ремонтных работ специалистами и средствами предприятий промышленности и гидрографической службы флота;

- контролировать выполнение личным составом мер техники безопасности;

- руководить выработкой рекомендаций предприятиям промышленности.

Командир БЧ-1 принимает личное участие в работе комиссии гидрографической службы флота (флотилии) по определению необходимости проведения планового ремонта, в составлении программ испытаний и отчетов по опытной эксплуатации ТСН и КИП и, при необходимости, в выполнении текущего ремонта ТСН. Он должен обобщать опыт эксплуатации и ремонта ТСН, анализировать эксплуатационную надежность.

Командиры групп БЧ-1 обязаны:

- участвовать в подготовке и отправке ТСН в ремонт, контролировать проведение ремонтных работ силами предприятий промышленности и лично участвовать в ремонтах, выполняемых подчиненным личным составом;

- контролировать и организовывать выполнение мер безопасности при проведении технического обслуживания и ремонта, при проведении регламентных работ и учений;

- изучать причины отказов и неисправностей, принимать меры по их предупреждению;

- своевременно заполнять формуляры ТСН группы, проверять полноту и правильность ведения эксплуатационной документации.

Командиры групп отвечают за практическую подготовку личного состава к борьбе за живучесть ТСН и личное выполнение им инструкций по эксплуатации.

§ 10.3. ПРАВИЛА ХРАНЕНИЯ, УЧЕТА И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗИП

При выполнении задач технического обслуживания и ремонта ТСН на кораблях используются запасные части, инструменты и принадлежности (ЗИП).

В зависимости от назначения ЗИП подразделяется на одиночный, групповой и ремонтный. Корабельный одиночный ЗИП состоит из одиночных комплектов ЗИП, поставляемых в объеме, предусмотренном комплектацией на поставку. Этот ЗИП предназначается для обеспечения постоянной готовности ТСН к использованию путем проведения силами личного состава БЧ-1 регламентных работ, устранения отказов

и повреждений. Он должен использоваться только во время плавания корабля. Ответственность за правильность расходования одиночного ЗИП возлагается на командира БЧ-1 (командира группы).

Одиночный ЗИП комплектуется предприятиями промышленности по ведомости ЗИП и передается заказчику одновременно с кораблем. Он является принадлежностью корабля и хранится на корабле (или частично на береговой базе).

Групповой комплект ЗИП состоит из оборудования в сборе или в виде отдельных частей этого оборудования в объеме, предусмотренном документацией на поставку. Он предназначен для обеспечения выполнения только аварийного ремонта ТСН.

Групповой ЗИП принадлежит флоту (флотилии) и хранится на береговой базе. Он заказывается из расчета один комплект на 10 единиц каждого проекта или по одному комплекту на группу кораблей (судов) проекта, если строящаяся серия составляет 10 единиц. В других случаях поставка группового ЗИП определяется договором с заказчиком.

Ремонтный комплект ЗИП состоит из оборудования в сборе (или составных частей этого оборудования) в объеме, предусмотренном документацией на поставку. Он предназначен для производства восстановительного ремонта ТСН после выработки ими установленного срока службы, а по конструкциям — для проведения одного среднего (заводского) ремонта.

Ремонтный комплект ЗИП заказывается центральным управлением заказчика согласно документации на поставку.

Ремонтный ЗИП принадлежит ремонтному предприятию гидрографической службы флота и хранится на береговой базе.

На корабле в БЧ-1 находится одиночный ЗИП для каждого технического средства навигации, который используется для ремонта этого средства в процессе эксплуатации. Корабельный ремонт каждого ТСН сводится к замене вышедших из строя элементов, устройств и плат аналогичными, имеющимися в одиночном ЗИП.

Одиночный ЗИП является расходным. Он размещается как можно ближе к приборам и системам, в комплект которых входит.

Составные части ЗИП упаковываются и хранятся в укладочных ящиках под определенными шифрами, указанными в ведомости. Замена неисправных устройств, элементов и частей осуществляется с помощью инструментов, находящихся в ЗИП.

Об использовании запасных частей и принадлежностей производится запись в разделе технического формуляра «Учет неисправностей при эксплуатации». С 1983 г. введена новая форма учета расхода и пополнения ЗИП — на оборотной стороне ведомости ЗИП, где указываются позиция, что израсходовано, дата и основание, количество израсходованного, когда, кем и в каком количестве пополнен ЗИП.

Если после замены неисправных устройств запасными работоспособность ТСН не удастся восстановить, то для их ремонта приглашаются специалисты ремонтных предприятий гидрографической службы флота или представители промышленности.

Записи, сделанные в техническом формуляре или на оборотной стороне ведомости об использовании ЗИП, являются основанием для составления внутрикорабельного акта о расходовании ЗИП, который составляется комиссией и утверждается командиром корабля. На основании акта составляется и высылается к 1 сентября в отдел (район) гидрографической службы флота заявка на пополнение ЗИП. В заявку включаются не только израсходованные запасные части, принадлеж-

ности и инструмент, но и подлежащие (по опыту эксплуатации) расходованию в течение ближайшего года эксплуатации ТСН.

Одиночный, ремонтный и групповой ЗИП должны пополняться в возможно короткие сроки в соответствии с требованиями действующих приказов и положений.

В случае необходимости использования для ремонта ТСН запасных частей и принадлежностей из группового или ремонтного ЗИП командир БЧ-1 обращается к флагманскому штурману соединения или через него к флагманскому штурману объединения. После замены неисправный узел (блок) возвращается флагманскому штурману соединения, который направляет его в гидрографическую службу флота для ремонта и подает заявку на пополнение группового и ремонтного ЗИП.

§ 10.4. ПОДГОТОВКА КОРАБЕЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НАВИГАЦИИ К ПОХОДУ

В соответствии с требованиями корабельного устава все технические средства, в том числе и технические средства навигации, должны находиться в постоянной готовности к использованию по назначению, что достигается своевременным и качественным проведением осмотров и регламентных работ, определением поправок приборов и систем в установленные сроки, пополнением ЗИП, поиском и устранением неисправностей и отказов в кратчайшие сроки, планомерным проведением ремонта ТСН и КИП, строгим выполнением требований инструкций по эксплуатации приборов и систем, тщательной подготовкой ТСН к выходу корабля в море.

Проведение плановых профилактических работ и ремонтов по поддержанию ТСН в готовности к использованию упрощает их подготовку к походу.

Подготовка ТСН к походу подразделяется на предварительную и окончательную. Предварительная подготовка ТСН к походу проводится, как правило, в межпоходный период и состоит в проведении организационных, контрольно-профилактических и восстановительных работ, к которым относятся:

- проведение ежемесячного (ежеквартального) технического обслуживания;
- проведение текущего ремонта;
- проверка состояния и пополнение одиночного ЗИП и, в случае необходимости, комплектование дополнительного ЗИП;
- проверка контрольно-измерительных приборов (встроенных и переносных), срок проведения которой истекает до возвращения корабля в базу;
- проведение подготовительных работ, облегчающих эксплуатацию ТСН в походе;
- разработка указаний по особенностям технического обслуживания ТСН в походе в зависимости от района плавания;
- определение поправок приборов;
- изучение личным составом ранее накопленного опыта по эксплуатации ТСН;
- проведение занятий и тренировок по техническому обслуживанию ТСН и ведению эксплуатационной документации;
- проведение занятий по ремонтной подготовке, типовым неисправностям и отказам материальной части;
- изучение инструкций по мерам безопасности при работе с техникой и оказанию первой помощи;

— подготовка эксплуатационной и вахтенной документации;
 — проверка готовности БЧ-1 к походу на контрольном выходе в море, определение маневренных элементов корабля, если очередной срок их определения истекает до возвращения в базу.

Предварительная подготовка ТСН к походу проводится силами личного состава. Однако по запросу командования и решению начальника гидрографической службы флота к работам по подготовке ТСН к походу могут быть привлечены специалисты промышленности и ремонтных предприятий ГС флотов. Получив приказание, командир БЧ-1 составляет план подготовки БЧ-1 к походу и согласовывает его с флагманским штурманом соединения. В плане кроме перечисленных выше мероприятий предусматривается подача заявок на получение ЗИП, отчетной и эксплуатационной документации. Командир БЧ-1 подает предложения флагманскому штурману о перечне ремонтных работ, которые планируется выполнять силами личного состава БЧ-1, специалистами промышленности и ремонтных предприятий ГС флотов.

Проверка ТСН начинается с тщательного осмотра приборов, агрегатов в целях обнаружения видимых неисправностей и проворачивания вручную кинематических линий, обнаружения возможных заеданий и неисправностей. Затем проверяются соответствие сопротивления изоляции требованиям инструкции по эксплуатации, уровни жидкости и масла в приборах. Все органы управления устанавливаются в исходное положение.

После включения питания проверяются напряжение и частота токов на соответствие требованиям технической документации. При необходимости осуществляется их регулировка. Затем производится проверка систем и приборов на функционирование (работоспособность) в различных режимах, предусмотренных инструкцией по эксплуатации.

Проверка ТСН на точность функционирования важнейших элементов и узлов и точность выработки навигационных параметров проводится в соответствии с контрольным листом результатов технического обслуживания корабельных технических средств навигации и гидрометеорологии (табл. 10.4.1).

Таблица 10.4.1

**Контрольный лист
 результатов технического обслуживания корабельных технических средств
 навигации и гидрометеорологии**

№ п.п.	Название технического средства	Содержание проверки, проверяемые параметры	Периодичность проверки	Допустимые погрешности по ТУ	Результаты проверки	Дата проверки	Примечание

Контрольный лист является важнейшим документом, организующим подготовку БЧ-1 к бою и походу при нахождении корабля в базе. В нем указываются основные проверки, которые выполняются под руководством и при непосредственном участии командиров групп БЧ-1 и командира БЧ-1, основные параметры технических средств навигации, сроки выполнения проверок и допустимые по техническим условиям погрешности.

На контрольном выходе корабля проверяются:

- работоспособность систем при их использовании в различных режимах, предусмотренных инструкциями по эксплуатации;
- технические параметры ТСН, проверка которых не может быть выполнена в базе;
- подготовка личного состава к выполнению обязанностей по техническому обслуживанию ТСН в море.

Выявленные недостатки устраняются по возвращении в базу.

Контрольный лист ведется и подписывается лично командиром БЧ-1 в рабочей тетради или на учтенных листах. В контрольный лист записываются кончные результаты проверок. Все наблюдения, измерения и расчеты, выполняемые в ходе проверок, записываются в журналы электронavigационных приборов или в другие, предусмотренные на соединении журналы.

Не вошедшие в контрольный лист регламентные проверки проводятся в сроки, указанные в инструкции по эксплуатации, и записываются в журналы электронavigационных приборов.

Результаты измерения сопротивления изоляции заносятся в журнал электронavigационных приборов или в специальный журнал.

Заполненный контрольный лист дает четкое представление о качестве подготовки технических средств навигации к походу, позволяет штурману анализировать их состояние, судить о точности выработки навигационных параметров и стабильности определенных поправок на основе накопления статистических данных, вносимых в контрольный лист. В специальном журнале (или рабочей тетради) штурману рекомендуется вести и анализировать графики определенных навигационных параметров и поправок.

Периодические поверки корабельных измерителей времени, секстанов и гидрометеорологических приборов, проводимые в ремонтных предприятиях ГС флотов, и всех электроизмерительных и радиоизмерительных приборов, проводимые в поверочных лабораториях флота, учитываются в специальной книге учета наличия и поверок измерительных приборов. Сроки проведения поверок этих средств определены приказом Главкомандующего ВМФ.

Основные проверки некоторых ТСН, выполняемые в предпоходный период, приведены в табл. 10.4.2.

В зависимости от пазначеной готовности корабля к походу и цели похода различается нормальное, сокращенное и экстренное приготовление ТСН к походу.

Нормальное приготовление ТСН к походу проводится в соответствии с утвержденным планом-графиком и начинается, как правило, до общего приготовления корабля к бою и походу. Нормальное приготовление ТСН начинается с проверки наличия электрического питания, системы охлаждения и вентиляции, которыми БЧ-1 должна быть обеспечена гарантированно.

Затем в соответствии с инструкцией по эксплуатации производится:

- измерение сопротивления изоляции электрических цепей;
- проверка исходного положения органов управления и контроля;
- подготовка и последовательное включение приборов и систем;
- ввод исходных данных, определение и учет корректур;
- проверка работоспособности приборов и систем в различных режимах;
- ведение графиков разностей выходных навигационных параметров (если они предусмотрены).

Таблица 10.4.2

Проверки корабельных технических средств навигации перед походом

Тип системы	Проверки	Конкретный образец	Допустимые погрешности	Регламентные сроки проверки
Гирокомпас	1. Проверка следящей системы: — чувствительность — время отработки:	«Курс» «Гиря-МК»	Не более $\pm 0,15^\circ$ $\pm 0,30^\circ$	Ежемесячно
	а) угла 90°	«Курс-4» «Гиря-МК» «Курс-5»	Не более 20 с Не более 18 с Не более 6 с	
	б) угла 30°	«Курс» «Гиря-МК»	Не более 3 с Не более 4 с	
	2. Проверка точности синхронной передачи	«Курс», «Гиря-МК»	Не более $0,1^\circ$	»
	3. Проверка периода:			Ежеквартально
	а) затухающих колебаний и фактора затухания	«Курс-4», «Курс-7» «Гиря-МК»	$142,2 \pm 15$ мин 2,5—7 $125,0 \pm 20$ мин 2,2—6	
	б) незатухающих колебаний	«Курс-5»	$84,4 \pm 2$ мин	
	4. Проверка установки пеленгаторных репитеров в ДП корабля	«Курс-5», «Гиря-МК»	Не более $\pm 0,25^\circ$	»
	5. Определение постоянной поправки	«Курс», «Гиря-МК»	$\pm 0,5^\circ$	»
	Гироазимут	1. Проверка чувствительности следящей системы	«Градус»	Не более $0,1^\circ$
2. Проверка скорости ухода гироскопического элемента в режиме гироазимута		«Градус» «Градус-2»	Не более $\pm 1,5^\circ/ч$ $\pm 0,4^\circ/ч$	»
3. Проверка вакуума:				»
а) в холодном состоянии		«Градус», «Градус-2»	Не ниже 65 ед.	
б) в установившемся режиме		«Градус», «Градус-2»	Не ниже 60 ед.	
4. Проверка цепи:				»
а) грубого согласования гироскопа	«Градус-2»	$12^\circ/с$		
б) точного согласования	«Градус-2»	$5^\circ/мин$		
5. Погрешность передачи курса в режиме ДМК	«Градус-2»	Не более $\pm 1,5^\circ$	»	
6. Угол застоя магнитного датчика	«Градус-2»	Не более $\pm 0,5^\circ$	»	

Продолжение табл. 10.4.2

Тип системы	Проверки	Конкретный образец	Допустимые погрешности	Регламентные сроки проверки
Гирокурсоуказатель типа ГКУ	7. Проверка выставки пеленгаторного репитера в ДП	«Градус», «Градус-2»	Не более $\pm 0,25^\circ$	Ежеквартально
	1. Проверка скорости ухода в режим гироазимута	ГКУ-1 ГКУ-2	Не более $\pm 0,5\%/ч$ Не более $\pm 1,0\%/ч$	Ежемесячно
	2. Проверка выставки пеленгаторного репитера в ДП	ГКУ-1, ГКУ-2	Не более $\pm 0,25^\circ$	Ежеквартально
	3. Определение постоянной поправки	ГКУ-1, ГКУ-2	Не более $\pm 0,2^\circ$	Ежемесячно
Гидродинамический лаг	4. Проверка точности курса в режиме гироскопа	ГКУ-1, ГКУ-2	Не более $\pm 0,3^\circ$	»
	1. Проверка точности работы часового регулятора	ЛГ-25, 50 МГЛ-25, 50	90 об (за $360 \pm \pm 0,5$ с) 160 об (за $600 \pm \pm 0,8$ с)	»
		ЛГ-2, МГЛ-25М, МГЛ-50М, ЛГ-4М, ЛГ-6М	10 об (за $600 \pm 0,8$ с)	
	2. Проверка точности работы узла скорости поверочными грузами	То же	Согласно ТУ и формуляру	»
	3. Проверка точности работы узла пройденного расстояния	» »	Согласно таблицам проверок	»
	4. Проверка синхронной передачи:			
	а) скорости	ЛГ-25, 50 МГЛ-25, 50	$\pm 0,25$ уз	
Индукционный лаг	б) пройденного расстояния	ЛГ-2 ЛГ-4М ЛГ-6М	$\pm 0,5$ уз $\pm 1,0$ уз	
	1. Проверка узла скорости	ЛИ-5, 40	$\pm 0,05$ уз	»
	2. Проверка узла пройденного расстояния	ЛИ-5, 40	0,5 % от контрольного времени	»
	3. Проверка синхронной передачи:	ЛИ-5, 40		
Автопрокладчик	— по скорости		$\pm 0,25$ уз	
	— по расстоянию		$\pm 0,01$ мили	
	Проверка точности работы в переменном и постоянном масштабах решением контрольных задач	Путь-1, АП-2, АП-3, АП-4, АП-5	Согласно таблицам проверок	»

Продолжение табл. 10.4.2

Тип системы	Проверки	Конкретный образец	Допустимые погрешности	Регламентные сроки проверки		
Эхолот	1. Проверка скорости вращения электродвигателя: а) указателя	НЭЛ-5	90 об контрольной стрелки за 60±0,6 с 90 вспышек лампы за 60±0,6 с 60 вспышек лампы за 60±0,4 с 60 вспышек лампы за 60±0,3 с 45 нулевых отметок за 60±0,3 с	Еженедельно		
		НЭЛ-3, 4				
		НЭЛ-6				
		НЭЛ-7				
		НЭЛ-10				
	б) самописца	НЭЛ-5	90 вспышек контрольной лампы за 60±0,6 с 60 вспышек лампы за 60±0,4 с 60 вспышек лампы за 60±0,3 с			
		НЭЛ-6				
		НЭЛ-7,10				
		НЭЛ-5, 6			±0,5 м	По необходимости
		НЭЛ-7				
НЭЛ-10	±0,4 м					
Раднопеленгаторы	Проверка исправности работы раднопеленгатора по контрольным пеленгам	АРП-50, 53, 53р, АРП-58СВ, ДВРП	Согласно ТУ и формуляру	Еженедельно		
Приемондикаторы фазовые	1. Проверка установки нулей указателей грубых, точных	КФФ-2	±0,002 ф. д.	»		
	2. Проверка по контрольным отсчетам в базе	ПИРС-1	Согласно ТУ и формуляру	»		
	3. Проверка с помощью ПОН*	ПИРС-1	Согласно таблицам кодов	Ежеквартально		
	4. Проверка работоспособности в режиме «Контроль» по реальным сигналам	«Галс»	Согласно формуляру	Ежемесячно		
	5. Проверка на функционирование по схеме встроенного контроля или по реальным сигналам	КПИ-3Ф	Согласно формуляру и инструкции	»		

* ПОН — прибор обнаружения неисправностей.

Продолжение табл. 10.4.2

Тип системы	Проверки	Конкретный образец	Допустимые погрешности	Регламентные сроки проверки
Приемопередатчики импульсные	6. Проверка работоспособности с помощью ПОН или по реальным сигналам	КПИ-6Ф	Согласно формуляру и инструкции	Ежемесячно
	Проверка точности автоматического слежения: а) в режиме «Контроль» б) с помощью имитатора И-8	КПИ-4	± 4 мкс ± 2 мкс	Еженедельно Ежеквартально

С началом общего приготовления корабля к походу по команде «Технические средства вскрыть и проверить вручную» личный состав БЧ-1 определяет и вводит поправки в приборы и системы. При подготовке корабля к походу в тропических или северных районах техническое обслуживание проводится по специальному плану, предусматривающему тщательную проверку основных систем и замену в ТСН смазки на смазку специальную, указанную в инструкции по эксплуатации.

Окончательное приготовление ТСН корабля к походу состоит из ряда мероприятий, направленных на подготовку к походу всей материальной части и проверку правильности ее функционирования в соответствии с требованиями действующих инструкций.

При окончательном приготовлении ТСН к походу проводятся следующие мероприятия:

- проверяется согласование следящих систем выдачи данных потребителям;
- проверяется исходное положение системы гидравлики и приводов корабельных систем;
- проверяется взаимная привязка общекорабельных технических средств других БЧ корабля к ТСН.

По команде «Проверить в электрическую, гидравликой и воздухом»:

- проверяется работа навигационных приборов в режиме «Контроль»;
- подготавливается и проверяется гидравлическая система лагов, гидравлическая система перископов;
- проверяется система управления рулем корабля и шпилевые устройства:
 - устанавливаются токи в РУ.

По команде «Поднять выдвижные устройства» (на подводных лодках):

- проверяется работоспособность корабельных РТСН и АВК-63 (перед выходом на мерную линию);
- подготавливаются к работе и проверяются перископные устройства корабля.

По команде «Опустить выдвижные устройства» (на подводных лодках):

- перископные системы приводятся в исходное положение;

— проверяется точность трансляции навигационных данных согласно утвержденным схемам.

По команде «Отсеки, надстройку, мостик к погружению приготовить» (на подводных лодках):

— командир БЧ-1 разворачивает пост прокладки и производит необходимые расчеты на выход из базы;

— командир ЭНГ оказывает помощь командиру БЧ-1 в расчетах и руководит заполнением эксплуатационной документации по результатам приготовления ТСН к походу;

— личный состав БЧ-1 участвует в проверке герметичности боевой рубки, отсеков и шахт, в которых размещены ТСН, проверяет согласованность морских часов во всех помещениях корабля.

За 15—20 мин штурман докладывает о готовности БЧ-1 к походу, делает запись об установленных токах в обмотках РУ.

Сокращенное приготовление ТСН к походу производится не менее чем при 6-часовой готовности корабля к выходу в море и включает в себя подготовку части ТСН, обеспечивающих выход корабля в море. Подготовку ТСН может начинать дежурный штурманский электрик. По мере прибытия в подготовку включается остальной личный состав боевой части.

Дежурный штурманский электрик, убедившись в наличии гарантированного электрического питания, охлаждения и вентиляции в нахождении органов управления и контроля в исходном положении, начинает последовательный запуск наиболее важных систем и приборов:

— системы питания;

— гирокомпаса (гирокурсоуказателя) и ускоренно приводит его в меридиан;

— лага;

— цифрового вычислительного комплекса, комплекса трансляции и сигнализации, если они имеются в составе ТСН, или автоматического прокладчика;

— навигационного эхолота (проверяет его работоспособность).

Если после доклада командира БЧ-1 командиру корабля о готовности к походу корабль продолжает приготовление к походу, то личный состав продолжает нормальное приготовление ТСН по графику.

Экстренное приготовление ТСН к походу производится по объявленной боевой тревоге, при этом ускоренно осуществляется включение минимального числа ТСН, обеспечивающих выход корабля в море. Убедившись в наличии электрического питания, охлаждения и вентиляции, дежурный штурманский электрик последовательно включает:

— систему питания;

— гирокомпас (гирокурсоуказатель) и ускоренно приводит его в меридиан;

— лаг;

— навигационный эхолот и проверяет его работу.

После выхода из базы, при наличии возможности, осуществляется нормальное приготовление ТСН к работе. При этом корабль, как правило, должен следовать постоянными курсом и скоростью.

Глава 11

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАНЕВРЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОРАБЛЯ И ПОПРАВОК ЛАГА

§ 11.1. МАНЕВРЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КОРАБЛЯ И ОБЛАСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Маневренные элементы корабля — это свойства, которые характеризуют его подвижность, т. е. способность поддерживать и изменять назначенный режим движения. К маневренным элементам относятся: ходкость, поворотливость, инерция, а для подводных лодок, кроме того, маневренность по глубине.

Ходкость — способность корабля развивать и поддерживать определенную скорость с помощью движителей. Скорость корабля характеризуется по тактическому и навигационному признакам, а также по градациям, выработанным морской практикой.

По тактическому признаку различаются:

— *наибольшая боевая скорость* — скорость движения корабля, достигаемая при мощности главной энергетической установки, превышающей полную, но не предельную, указанную в технической документации;

— *полная боевая скорость* — скорость, соответствующая полной мощности главной энергетической установки при нормальном водоизмещении * корабля;

— *боевая экономическая скорость* — скорость корабля при нормальном водоизмещении, требующая наименьшего расхода топлива на милю.

Боевые скорости применяются для оперативно-тактических расчетов; при этом учитывается, что главная энергетическая установка обеспечивает не только заданный режим работы движителей, но и полную боевую готовность оружия и технических средств корабля;

— *экономическая скорость* — скорость корабля при наименьшем расходе топлива на милю плавания, при котором главная энергетическая установка обеспечивает как заданный режим движения, так и поддержание назначенной боеготовности и, кроме того, бытовые нужды личного состава корабля;

— *наименьшая скорость* — скорость, при которой корабль еще способен управляться с помощью рулевых устройств.

По навигационному признаку различают следующие скорости:

— *абсолютную скорость* — скорость корабля под воздействием движителей, ветра и течения относительно дна по линии пути;

* Нормальное водоизмещение — водоизмещение корабля, полностью укомплектованного экипажем, вооружением и боезапасом, продовольствием и пресной водой, при половинном запасе топлива, котельной воды и смазочных материалов.

— *относительную скорость* — скорость корабля относительно воды при нормальном водоизмещении и данном режиме работы двигателей;

— *переносную скорость* — скорость суммарного сноса корабля относительно дна под воздействием ветра и течения совместно.

В морской практике различают:

— *самый полный ход* — скорость корабля, превышающая на определенную ступень величину полного хода; степень превышения определяется техническими нормами или директивными указаниями;

— *полный ход* — скорость корабля, назначенная на переход или на участок маршрута перехода;

— *средний ход* — скорость, составляющая 75 % от величины полного хода корабля;

— *малый ход* — скорость, составляющая 50 % от величины полного хода корабля;

— *самый малый ход* — скорость корабля, соответствующая понятию «наименьшая скорость».

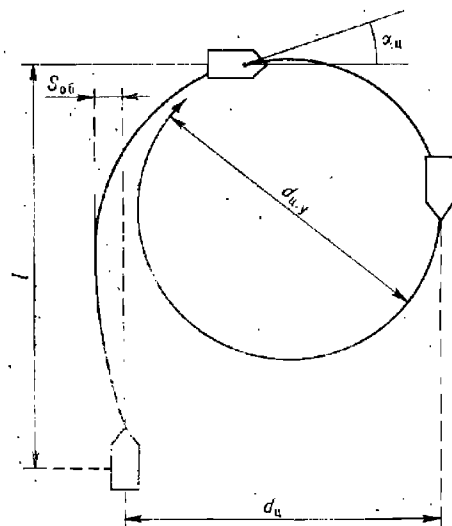


Рис. 11.1.1

Знание точного значения скорости корабля необходимо для выполнения предварительной прокладки в процессе навигационной подготовки к походу. Точное знание скорости позволяет рассчитывать расстояние, проходимое кораблем за определенный интервал времени.

Поворотливость корабля — его способность изменять направление своего движения под воздействием рулевого устройства или двигателей, или рулевого устройства и двигателей совместно.

Основные элементы поворотливости (рис. 11.1.1):

— *тактический диаметр циркуляции* $d_{ц}$ — расстояние по нормали между линиями прямого и обратного курсов после поворота корабля на первые 180° ;

— *диаметр установившейся циркуляции* $d_{ц,у}$ — диаметр окружности, которую описывает центр массы корабля в период установившейся циркуляции (когда угловая скорость и угол крена на циркуляции постоянны);

— *угловая скорость циркуляции* $\omega_{ц}$ — скорость изменения курса на циркуляции;

— *угол дрейфа на циркуляции* $\alpha_{ц}$ — угол между носовой частью диаметральной плоскости корабля и касательной к траектории центра его массы;

— *период* t_{360° и *полупериод* t_{180° *циркуляции* — интервалы времени, за которые корабль совершает поворот на 360° или 180° соответственно;

— *выдвиг (поступь циркуляции)* l — расстояние, измеренное вдоль линии первоначального курса корабля от точки, соответствующей моменту начала циркуляции, до пересечения этой линии с диаметральной

плоскостью корабля в момент, когда последняя будет находиться к линии первоначального курса под углом 90° ;

— *обратное смещение* $S_{об}$ — наибольшее расстояние, на которое смещается центр массы корабля в сторону, противоположную стороне поворота после перекладки руля на заданный угол.

Диаметр циркуляции, угловая скорость, угол дрейфа и период (полупериод) циркуляции зависят от угла перекладки рулей, площади подводной части продольного сечения корабля, отношения его длины к ширине, а также от скорости корабля.

Тактический диаметр циркуляции учитывается при всех способах счисления пути и решении задач маневрирования. Диаметр установившейся циркуляции применяется при расчетах маневрирования в узкостях и при девиационных и радиодевиационных работах.

Угловая скорость и период (полупериод) циркуляции необходимы для предварительных расчетов времени поворота корабля на определенный угол в процессе ведения прокладки.

Угол дрейфа на циркуляции и обратное смещение учитываются при производстве расчетов маневрирования крупнотоннажных кораблей в узкостях, при плавании по каналам и фарватерам. По данным элементам рассчитываются параметры фактической траектории движения корабля на поворотах, при швартовке и постановке на якорь.

Инерция корабля — его способность сохранять движение, соответствующее ранее установленному режиму работы двигателей после перехода их на другой режим работы.

Инерция характеризуется временем и расстоянием, необходимыми кораблю для его остановки или приобретения другой заданной скорости при изменении режима работы двигателей. Уменьшение начальной скорости движения, вызванное изменением режима работы двигателей, называется *торможением*, а увеличение — *разгоном*. *Торможение различают пассивное и активное*. При пассивном торможении уменьшение скорости или прекращение движения происходит за счет сопротивления водной среды, а при активном, кроме того, и за счет работы двигателей на задний ход. Расстояние, проходимое кораблем при пассивном торможении, называется *выбегом* S_b , а соответствующее ему время — *временем выбега* t_b .

Расстояние, проходимое кораблем при активном торможении, называется *тормозным путем* S_t , а соответствующее ему время — *временем торможения* t_t .

Элементы инерции корабля используются для расчетов безопасной скорости движения при плавании в условиях ограниченной видимости, в узкостях, при подходе к берегу, при швартовке и постановке на якорь.

К элементам поворотливости и инерции относят также *мертвый промежуток* t_m , который означает в первом случае интервал времени между моментом отдачи команды на руль и моментом фактического начала циркуляции; во втором случае — интервал времени между моментом отдачи команды на машинные телеграфы (оператору ВРЦ) и моментом фактического начала работы двигателей в новом режиме.

Мертвые промежутки учитываются при решении задач маневрирования корабля при плавании в узкостях и при ограниченной видимости.

Скорость погружения (всплытия) подводной лодки является специфическим элементом этого класса кораблей, который характеризует вертикальную составляющую скорости или расстояние по вертикали, на которое подводная лодка погружается (всплывает) в единицу времени.

§ 11.2. ТРЕБОВАНИЯ К ПОЛИГОНАМ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАНЕВРЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОРАБЛЯ

Полигоны, предназначенные для определения маневренных элементов, должны удовлетворять следующим общим требованиям:

— полигон должен быть защищен от ветров и волнения преобладающих направлений;

— на полигоне не должно быть значительных и резко изменяющихся во времени и с расстоянием поверхностных и глубинных течений;

— глубина моря должна исключать влияние мелководья на определяемые скорости или допускать ввод поправок на мелководье; минимальные глубины, при которых допускается определение маневренных элементов без ввода поправок на мелководье, приведены в табл. 11.2.1;

— полигон должен иметь такие средства навигационного оборудования, применение которых при выбранном способе обеспечит определение маневренных элементов с заданной точностью;

— в целях навигационной безопасности плавания полигон должен располагаться в стороне от районов интенсивного судоходства и навигационных опасностей; минимальные расстояния до них должны быть не менее 3 миль;

— полигон должен быть достаточно просторным для маневрирования при испытаниях; минимальные размеры, как правило, должны быть не меньше 3×10 миль.

Таблица 11.2.1

Минимальные допустимые глубины моря на полигоне скоростных испытаний, м

Осадка корабля, м	Скорость корабля, уз								
	5	10	15	20	25	30	35	40	45
2	15	20	30	40	55	75	95	—	—
3	20	25	35	45	60	80	100	—	—
4	20	30	40	50	70	85	105	130	—
5	25	35	45	60	75	95	115	135	155
6	30	40	50	65	80	100	120	145	165
7	35	45	55	70	85	105	125	150	170
8	40	50	60	75	90	110	135	155	175
9	45	55	65	80	95	115	140	165	185
10	50	60	70	85	100	120	145	170	195

Полигон для определения маневренных элементов подводных лодок должен удовлетворять требованиям специфики этого класса кораблей в отношении глубин моря, размеров и оборудования его определенными навигационными средствами. Размеры полигона и глубины должны позволять производить определение подводной лодкой всего дивизона скоростей в подводном и надводном положениях.

§ 11.3. ПОДГОТОВКА КОРАБЛЯ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ МАНЕВРЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Маневренные элементы корабля в полном объеме определяют на предварительных и государственных испытаниях после постройки или модернизации корабля, а также после окончания его среднего ремонта.

Определение скоростей и элементов циркуляции осуществляется также после докования корабля с очисткой корпуса в доке и выполнения работ, связанных с ремонтом и заменой главных двигателей, движителей, рулевых устройств, а также других технических средств, составляющих обводы подводной части корпуса корабля или силуэт подводной лодки. Кроме того, скорость, диаметр, период (полупериод) циркуляции и другие маневренные элементы определяются после навигационного ремонта, замены или ремонта лагов и в процессе отработки курсовых задач боевой подготовки в объеме и в сроки, установленные курсами подготовки. Определение маневренных элементов — общекорабельная задача. Кроме личного состава штурманской боевой части, в определении маневренных элементов и в подготовке к нему участвует личный состав электромеханической боевой части и боевой части управления (радиотехнической службы).

Для определения маневренных элементов на каждое испытание составляется специальное расписание, которым определяются обязанности и порядок взаимодействия личного состава постов и подразделений. Для участия в испытаниях по необходимости привлекается личный состав подразделения гидрографической службы и представители предприятия-изготовителя.

При подготовке корабля к определению маневренных элементов необходимо провести следующие мероприятия:

- принять корабельные запасы топлива, смазочных материалов и воды в таких количествах, чтобы к среднему моменту скоростных испытаний они составляли половину полного запаса, что соответствует нормальному водоизмещению надводного корабля. Подводные лодки перед выходом на испытания должны быть вывешены и удифферентованы;

- произвести осмотр подводной части корпуса и забортных устройств корабля, обратив особое внимание на состояние движителей, рулей, приемных трубопроводов и измерительных элементов лагов, определить осадку и водоизмещение корабля;

- произвести регламентные проверки и регулировки технических средств навигации, проверку и юстировку радиолокационных и гидроакустических средств наблюдения;

- осмотреть и проверить рулевые устройства, тахометры, суммарные счетчики оборотов движителей, рулевые и машинные телеграфы, секундомеры и хронометры, приборы для определения мощности главных двигателей и расходомеры топлива, средства внутрикорабельной связи и сигнализации;

- составить графический план испытаний по определению маневренных элементов;

- подать заявки в органы гидрографической службы на обеспечение испытаний необходимыми средствами навигационного оборудования и командирование специалистов, привлекаемых к испытаниям;

- на корабельном учении отработать организацию и элементы методики определения маневренных элементов в соответствии с расписанием по видам испытаний.

Назначение, состав и количество групп измерений, формируемых на период испытаний, зависят от вида испытания, класса, ранга и проекта корабля, от типовой организации и состава технических средств навигации, а также способа проведения испытаний.

Во всех случаях измерение моментов (интервалов) времени осуществляется не менее чем тремя-четырьмя наблюдателями, подсчет частоты вращения движителей — двумя-тремя наблюдателями на каждой линии;

вала, определение поправок лагов — не менее чем тремя наблюдателями на каждый прибор (систему).

Для измерения моментов (интервалов) времени применяются наиболее точные измерители времени и секундомеры. Поправки секундомеров определяются непосредственно перед испытаниями. Предельные погрешности измерения времени стандартными секундомерами не должны превышать 0,5 с (при вероятности $P=0,95$).

§ 11.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ КОРАБЛЯ И ПОПРАВКИ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ЛАГА. ЮСТИРОВКА АБСОЛЮТНОГО ЛАГА

Общая методика определения скорости

Определение скорости корабля любым из рассматриваемых в настоящем параграфе способов заключается в измерении интервала времени, за который корабль проходит точно известное расстояние, принимаемое за эталон, т. е.

$$V_i = \frac{1}{t_i} 3600S_0, \quad (11.4.1)$$

где V_i — скорость корабля на i -м пробеге, уз;

S_0 — эталонное расстояние, мили;

t_i — интервал времени, с.

Эталонные расстояния на местности могут быть образованы (зафиксированы):

- секущими створами (визуальная мерная линия);
- электрическими кабелями (кабельная мерная линия);
- разностями дистанций до ориентиров, расположенных по направлению движения корабля или по противоположному ему направлению (радиолокационная или радиодальномерная мерная линия);
- параллельными пеленгами на ориентиры (верная мерная линия);
- высокоточными обсервациями (радионавигационная и теодолитная мерная линия).

Методы получения эталонных расстояний обуславливают наименование способов определения скорости и соответствующих мерных линий.

Поскольку эталонные расстояния жестко фиксируются относительно поверхности Земли, то формулу (11.4.1) можно считать формулой для определения продольной составляющей вектора абсолютной скорости корабля, направленной вдоль диаметральной плоскости.

Так как основные методы счисления связаны с измерениями относительной скорости корабля, которая пропорциональна частоте вращения движителей и находится в прямой зависимости от расхода топлива (энергоресурса), а от остальных факторов зависит незначительно, то испытания большинства классов и проектов кораблей сводятся к определению относительной скорости.

Испытания для определения относительной скорости с необходимой для практики точностью и надежностью проводятся, как правило, при соблюдении следующих условий:

- скорость ветра в районе испытаний не должна превышать 7 м/с;
- волнение моря, в том числе зыбь, не должно превышать 3 баллов;
- рыскание корабля на курсе должно быть минимальным, не более 1° ;

— поправка системы курсоуказания должна быть известна с предельной погрешностью не более $0,3^\circ$, а суммарная погрешность курсоуказания должна быть не более $1,0^\circ$.

Число пробегов на одном режиме работы двигателей и формула для расчета средней относительной скорости зависят от характера изменения скорости течения в районе испытаний. Они выбираются из табл. 11.4.1.

Таблица 11.4.1

Число пробегов на одном режиме работы двигателей в зависимости от характера изменения скорости течения на полигоне испытаний

Характер изменения скорости течения	Необходимое число пробегов и их взаимное расположение	Формула для расчета средней относительной скорости на пробеге и ее номер
Постоянное или изменяется незначительно	Два в противоположных направлениях	$V_0 = \frac{1}{2}(V_1 + V_2)$ (11.4.2)
Изменяется равномерно	Три, один из которых противоположен двум другим	$V_0 = \frac{1}{4}(V_1 + 2V_2 + V_3)$ (11.4.3)
Изменяется неравномерно	Четыре; два в одном и два в противоположном направлении	$V_0 = \frac{1}{8}(V_1 + 3V_2 + 3V_3 + V_4)$ (11.4.4)
Изменяется резкопеременно	Пять; два в одном и три в противоположном направлении	$V_0 = \frac{1}{16}(V_1 + 4V_2 + 6V_3 + 4V_4 + V_5)$ (11.4.5)

При расчетах абсолютных V_i и относительных V_0 скоростей их значения округляются до $0,01$ уз, значения интервалов времени t_i — до $0,1$ с, эталонные расстояния S_s — до $0,001$ мили. При выборе числа пробегов необходимо учитывать два противоположных фактора: на определение скоростей расходуются топливо (энергоресурс), технический ресурс и определенное время занятия полигона, с другой стороны диапазон скоростей боевых кораблей значителен и они должны быть определены точно и надежно. В этих условиях необходимо определить минимальную длину пробега при заданной точности определения скорости, которая рассчитывается по формуле

$$S_s = \frac{V}{m_V} \sqrt{m_S^2 + m_t^2 V^2}, \quad (11.4.6)$$

где V — скорость корабля, уз;

m_V — заданное значение СКП определения скорости корабля, уз;

m_S — СКП определения расстояния, мили;

m_t — СКП измерения интервала времени, ч.

Если принять $m_V=0,01$ уз ($0,1\% V$); $m_S=0,0$ мили; $m_t=0,3$ с, то формула (11.4.6) примет вид

$$S_s = V : 12.$$

Анализ формулы (11.4.6) показывает, что для определения скорости со средней квадратической погрешностью не хуже $0,1\% V$ эталонные расстояния при указанных выше значениях погрешностей должны составлять величины, указанные в табл. 11.4.2.

Таблица 11.4.2
Минимальные значения эталонных расстояний при скоростных
испытаниях
(приближенные)

Определяемая скорость, уз	Эталонные расстояния, мили
до 6	0,5
6—12	1
12—24	2
24—36	3
36—50	4
более 50	5

Одновременно с определением скорости на испытаниях производят определение или подсчет частоты вращения движителей, для чего применяются суммарные счетчики числа оборотов и тахометры. При использовании суммарных счетчиков подсчет частоты вращения движителей производится по разностям их отсчетов ΔN_i за измеренные интервалы времени t_{N_i} для каждой линии вала, затем полученные значения частоты вращения осредняются. Применительно к кораблю с одним движителем частота вращения N_i (об/мин) на одном пробеге рассчитывается по формуле

$$N_i = \frac{60}{t_{N_i}} \Delta N_i.$$

Формулы для расчета средней частоты вращения движителей для одного режима их работы аналогичны формулам для расчета среднего значения относительной скорости на том же режиме, т. е.:

— при двух пробегах ($i=1, 2$)

$$N_0 = \frac{1}{2} (N_1 + N_2), \quad (11.4.7)$$

— при трех пробегах ($i=1, 2, 3$)

$$N_0 = \frac{1}{4} (N_1 + 2N_2 + N_3), \quad (11.4.8)$$

— при четырех пробегах ($i=1, 2, 3, 4$)

$$N_0 = \frac{1}{8} (N_1 + 3N_2 + 3N_3 + N_4), \quad (11.4.9)$$

— при пяти пробегах ($i=1, 2, \dots, 5$)

$$N_0 = \frac{1}{16} (N_1 + 4N_2 + 6N_3 + 4N_4 + N_5), \quad (11.4.10)$$

где N_i — частота вращения движителя (движителей) на данном пробеге.

Движение корабля на пробегах должно быть установившимся, равномерным и прямолинейным, суммарные углы сноса и рыскания (ε) не должны превышать 2° . При нарушении последнего условия частные значения абсолютных скоростей на пробегах, рассчитанные по формулам (11.4.3) — (11.4.5), перед осреднением умножают на $\sec \varepsilon$.

На надводных кораблях и судах относительные скорости V_0 , определенные на каждом режиме работы двигателей, приводятся к нормальному водоизмещению D_0 по формуле

$$V'_0 = V_0 \left(\frac{D}{D_0} \right)^{\frac{2}{3}}, \quad (11.4.11)$$

где V'_0 — скорость корабля, приведенная к нормальному водоизмещению;

D — водоизмещение корабля, соответствующее среднему моменту времени определения скорости для данного режима работы двигателей.

Определение скоростей, подсчет частоты вращения двигателей и определение поправок лага осуществляются одновременно.

Общая методика определения поправки относительного лага

Определение поправки относительного лага состоит в следующем.

На каждом пробеге фиксируется время t_{λ_i} , в течение которого лаг (счетчик пройденного расстояния) изменит свои показания на заранее намеченную величину, примерно равную эталонному расстоянию $пол \approx S_0$, после чего рассчитывается частное значение скорости по показанию лага на данном пробеге по формуле

$$V_{\lambda_i} = \frac{3600}{t_{\lambda_i}} пол. \quad (11.4.12)$$

По завершении необходимого количества пробегов данного режима работы двигателей рассчитывают среднее значение скорости по показанию лага V_{λ} , которое далее используют для расчета поправки лага. Среднее значение этой скорости, зависящее от числа пробегов, рассчитывается по формулам (11.4.2) — (11.4.5) (табл. 11.4.1).

Принимая значение определенной относительной скорости за истинное и имея измеренное значение скорости по лагу, рассчитывают коэффициент лага k_{λ} и поправку лага $\Delta\lambda$ для каждого режима работы двигателей по формулам

$$k_{\lambda} = \frac{V_0}{V_{\lambda}},$$

$$\Delta\lambda = 100 (k_{\lambda} - 1),$$

$$\Delta\lambda = \frac{100}{V_{\lambda}} (V_0 - V_{\lambda}).$$

Значение скорости по лагу определяется, как правило, не менее чем тремя наблюдателями, один из которых снимает показания счетчика пройденного расстояния на центральном приборе лага. Время t_{λ_i} фиксируется с помощью секундомера. Измерения начинаются после того, как корабль наберет заданный ход и последует команда для всех групп о начале измерений; измерения должны быть закончены до изменения режима работы двигателей или курса корабля, чему должна предшествовать команда об окончании измерений.

Разности конечного и начального отсчетов лага у всех наблюдателей должны быть одинаковы. По результатам фиксирования наблюдателями интервалов времени $t_{\lambda_{ij}}$ рассчитывается средний результат t_{λ} , который используется для расчета частных значений скоростей по лагу на пробегах (формула 11.4.12).

Общая методика оценки надежности и точности определения скорости корабля и поправки относительного лага

Надежность определения скорости корабля и поправки лага характеризуется отсутствием в наблюдениях и расчетах грубых погрешностей (промахов). Надежность определения скоростей и соответствующих им частот вращения движителей контролируется путем составления и анализа графика соответствия относительной скорости частоте вращения движителей (рис. 11.4.1). Если измерения и вычисления скорости корабля и частоты вращения движителей не имеют промахов, то точки,

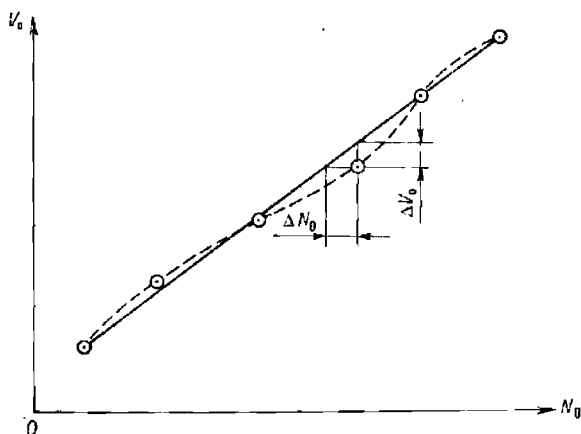


Рис. 11.4.1

соответствующие координатам ΔV_0 и ΔN_0 , окажутся на одной прямой или плавной кривой. Отклонения ΔV_0 и ΔN_0 от средней сглаженной линии не должны превышать 0,5 % V_0 и 0,5 % N_0 ; отклонения, превышающие норму, свидетельствуют о наличии промахов в наблюдениях и расчетах скорости или частоты вращения движителей, что устанавливается их проверкой или повторением испытаний.

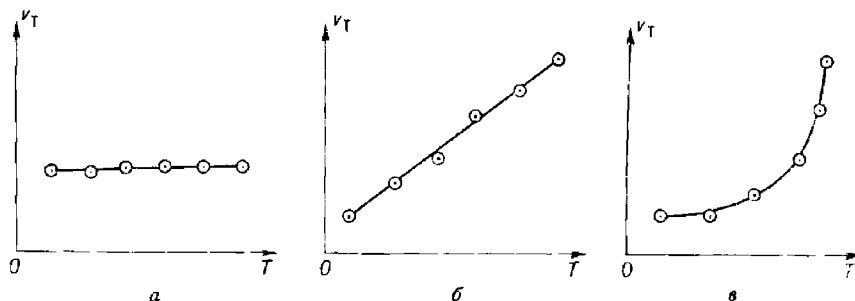


Рис. 11.4.2

Оценка надежности наблюдений и вычислений относительной скорости корабля базируется на апостериорной оценке принятой гипотезы о характере распределения течения в районе испытаний путем построе-

ния и анализа графика проекций вектора течения (попутная или встречная составляющие) на линию пробегов (рис. 11.4.2). График строится в следующей последовательности:

а) по приведенным ниже формулам рассчитываются:

— аванс (расстояние, проходимое кораблем за один оборот движителя)

$$a = \frac{V_0}{60N_0},$$

— отклонение частоты вращения движителей на каждом пробеге от среднего значения для данного режима работы движителей

$$\Delta N_i = N_i - N_0,$$

— отклонение скорости на пробеге от средней скорости за счет неточного удержания заданной частоты вращения движителей

$$\Delta V_i = 60a\Delta N_i,$$

— относительные скорости корабля на каждом пробеге

$$V_{o_i} = V_0 - \Delta V_i,$$

— проекции вектора течения на линию пробегов

$$v_T = V_i - V_{o_i};$$

б) полученные проекции по средним моментам времени определения скоростей на пробегах T_i наносят на график (рис. 11.4.2).

Если гипотеза о характере распределения течения в районе выбрана правильно, расчеты и наблюдения не содержат промахов, то полученный график должен представлять:

— при двух пробегах — прямую, параллельную оси абсцисс (рис. 11.4.2, а);

— при трех пробегах — наклонную прямую (рис. 11.4.2, б) или прямую, параллельную оси абсцисс;

— при четырех или пяти пробегах — прямую или плавную кривую, без резких перегибов (рис. 11.4.2, в).

При грубом несовпадении характера линий графика с требуемым надлежит проверить правильность наблюдений и расчетов скоростей. Если окажется, что промахи в измерениях (наблюдениях) отсутствуют, то имеет место несоответствие принятой гипотезы о характере распределения течения в районе испытаний фактическому его распределению. Испытания в этом случае необходимо повторить, считая характер течения более сложным и обратив внимание на влияние неблагоприятных метеоусловий.

Оценка надежности определения поправок лага производится при помощи регулировочной номограммы или графика их зависимости от скорости.

Остаточные после регулировки поправки относительно лага считаются надежно определенными, если их величины не выходят за пределы, допустимые по техническим условиям, а график их изменения в зависимости от скорости носит плавный характер.

Погрешность определения скорости m_{V_i} на пробеге зависит от погрешности знания эталонного расстояния S и от погрешности измерения интервала времени t_i и рассчитывается по формулам

$$m_{V_i} = \frac{V_i}{S} \sqrt{m_S^2 + m_{t_i}^2 V_i^2};$$

$$m_{V_i} = \frac{100}{S} \sqrt{m_S^2 + m_i^2 V_i^2},$$

где m_S , m_i — средние квадратические погрешности определения эталонного расстояния и интервала времени соответственно.

Средние квадратические погрешности определения относительной скорости зависят от числа пробегов и вычисляются по формулам, приведенным в табл. 11.4.3.

Таблица 11.4.3

Формулы расчета средних квадратических погрешностей определения относительной скорости

Число пробегов	Характер погрешностей наблюдений и расчетов		Номер формулы
	неравноточные	равноточные	
2	$m_{V_0} = \frac{1}{2} \sqrt{m_{V_1}^2 + m_{V_2}^2}$	$m_{V_0} = 0,71 m_{V_i}$	(11.4.13)
3	$m_{V_0} = \frac{1}{4} \sqrt{m_{V_1}^2 + 4m_{V_2}^2 + m_{V_3}^2}$	$m_{V_0} = 0,61 m_{V_i}$	(11.4.14)
4	$m_{V_0} = \frac{1}{8} \sqrt{m_{V_1}^2 + 9m_{V_2}^2 + 9m_{V_3}^2 + m_{V_4}^2}$	$m_{V_0} = 0,56 m_{V_i}$	(11.4.15)
5	$m_{V_0} = \frac{1}{16} \sqrt{m_{V_1}^2 + 16m_{V_2}^2 + 36m_{V_3}^2 + 16m_{V_4}^2 + m_{V_5}^2}$	$m_{V_0} = 0,52 m_{V_i}$	(11.4.16)

Погрешности, рассчитанные по формулам (11.4.13)—(11.4.16), позволяют сделать априорную оценку точности измерений. Если же при измерениях скоростей на пробегах фиксирование времени производят несколько наблюдателей (каждый по своему секундомеру), а эталонные расстояния определены с высокой точностью, то более достоверную оценку точности определения относительной скорости дает средняя квадратическая погрешность m_{V_i} в процентах, вычисленная априори по формуле

$$m_{V_i} = \frac{100}{t_i} \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (t_{ij} - t_i)^2}, \quad (11.4.17)$$

где t_{ij} — частное значение времени пробега, измеренного одним наблюдателем;

t_i — среднее значение времени пробега по результатам наблюдения n наблюдателей.

Рассмотренная методика оценки точности применима ко всем способам определения относительной скорости корабля, однако в каждом конкретном случае необходимо знать точное значение погрешности эталонного расстояния m_S .

Оценка точности определения поправки относительного лага производится после оценки точности определения относительной скорости. Значение средней квадратической погрешности поправки лага m_{Δ_n} для

одного режима работы движителей в общем случае априорно рассчитывается по формуле

$$m_{\Delta l} = \sqrt{m_{V_0}^2 + m_{V_n}^2},$$

где m_{V_0} — СКП определения относительной скорости корабля на пробеге;

m_{V_n} — СКП определения скорости по показаниям лага на пробеге (обе погрешности в узлах или процентах).

Для расчета погрешности m_{V_n} применяются формулы (11.4.18) — (11.4.19). Погрешности определения частных значений скорости корабля по показаниям лага на пробегах $m_{V_{ni}}$ в процентах рассчитываются по формуле

$$m_{V_{ni}} = \sqrt{\frac{1}{n} (m_{\text{рол}}^2 + m_{i_n}^2)}, \quad (11.4.18)$$

где n — число пробегов;

m_{i_n} — СКП измерения интервала времени t_n , с, в течение которого начальный отсчет лага изменился на заданную величину *рол* эта погрешность указывается в формуляре секундомера;

$m_{\text{рол}}$ — СКП разности отсчетов лага, которая определяется по формуле

$$m_{\text{рол}} = \frac{100}{\text{рол}} \sqrt{m_{V_n}^2 t_n^2 + m_{S_n}^2 + 2m_{\text{ол}}^2}, \quad (11.4.19)$$

где m_{V_n} — инструментальная СКП выработки лагом скорости, уз;

m_{S_n} — инструментальная СКП выработки лагом пройденного расстояния, мили; значения погрешностей m_{V_n} и m_{S_n} указываются в техническом формуляре лага;

$m_{\text{ол}}$ — СКП отсчета показания лага, мили,

$$m_{\text{ол}} = \frac{\text{цена деления}}{2\sqrt{3}}.$$

Способы определения скорости корабля

Определение скорости на визуальной мерной линии. Эталонные расстояния при использовании визуальной мерной линии образуются на местности совокупностью параллельных секущих створов. Комбинация нескольких створов (рис. 11.4.3) позволяет подобрать, как правило, необходимую длину пробега для каждого режима работы движителей. Линия пробегов может обозначаться ведущим створом или линией буйв.

По моментам пересечения линий створов фиксируется время пробега кораблем эталонных расстояний. Так как привязка знаков и определение направления линии каждого створа, а следовательно, и эталонных расстояний производятся геодезическими методами, точность их относительно высока ($m_S = 2 \dots 5$ м). СКП определения эталонного расстояния m_S зависит от линейной чувствительности выбранной пары створов и вычисляется по формуле

$$m_S = \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{P_1^2 + P_2^2},$$

где P_1, P_2 — линейная чувствительность первого и второго створов, которая рассчитывается по формуле

$$P_{1(2)} = D_{1(2)} \left(\frac{D_{1(2)}}{d} + 1 \right) \frac{\gamma}{W} \operatorname{arctg} l',$$

где $D_{1(2)}$ — расстояние от линии пробега до переднего створного знака;
 d — расстояние между передним и задним створными знаками;
 γ — разрешающая способность глаза (1,0 — днем, 0,7 — 0,8 — ночью);
 W — кратность увеличения оптического средства наблюдения.

В целях осуществления постоянства условий наблюдения рекомендуется совершать пробеги по одной и той же линии. Поворот на обратный курс выполняется путем отворота на угол $10\text{--}20^\circ$ от первоначального курса с расчетом, чтобы к моменту окончания поворота на обрат-

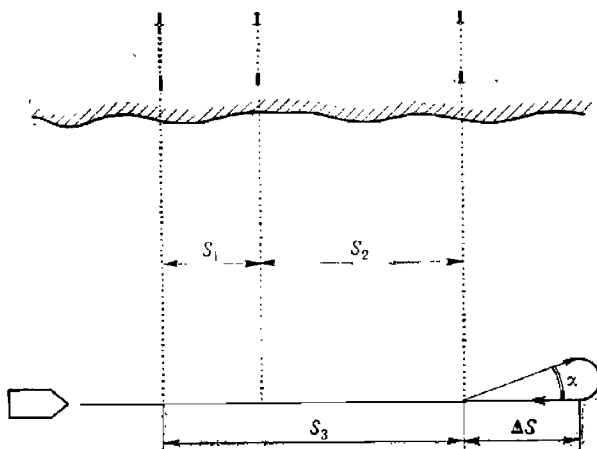


Рис. 11.4.3

ный курс расстояние до секущего створа было бы не менее ΔS , достаточного для набора заданной скорости. Отворот в сторону берега предпочтительнее, поскольку гарантируется безопасность в случае выхода из строя рулевого устройства. Расстояние ΔS вычисляется по формуле

$$\Delta S = d_n \operatorname{ctg} \alpha,$$

где d_n — тактический диаметр циркуляции;
 α — угол отворота от прежнего курса.

Курс корабля на пробеге необходимо удерживать по компасу даже в том случае, если мерная линия оборудована ведущим створом. Это объясняется тем, что управление рулем по ведущему створу вызывает частое зарыскивание корабля, а следовательно, потерю скорости за счет частой перекладки руля. При пересечении каждой линии створа определяется мгновенная поправка курсоуказания.

Фиксирование моментов пересечения линий створов должны производить не менее трех наблюдателей, имеющих бинокли и секундомеры. Они располагаются таким образом, чтобы иметь хороший обзор по траверзу и находиться как можно ближе к плоскости одного и того же шпангоута. Фиксирование моментов пересечения линий створов каждый наблюдатель производит самостоятельно. Обработка наблюдений про-

изводится в соответствии с общей методикой. Для расчета частных абсолютных скоростей применяется формула (11.4.1), в которую подставляется среднее арифметическое значение интервала времени пробега между створами, фиксируемое несколькими наблюдателями. Оценка надежности и точности наблюдений и расчетов производится также в соответствии с общей методикой.

Определение скорости на кабельной мерной линии. Эталонное расстояние, проходимое кораблем на пробеге, образует пара секущих электрических кабелей (рис. 11.4.4). Для фиксации

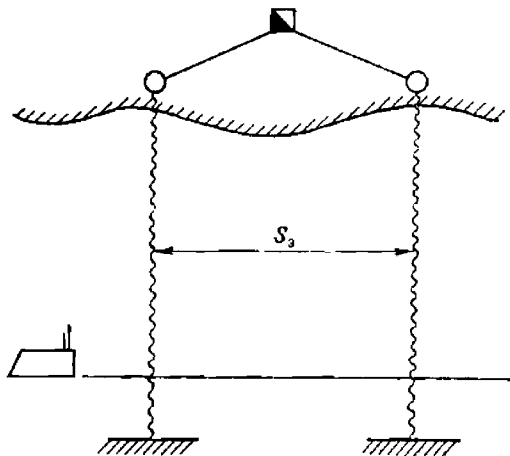


Рис. 11.4.4

момента прохождения корабля над кабелем применяется соответствующая аппаратура, реагирующая на магнитное поле кабеля. В состав аппаратуры, кроме индикатора, как правило, входит самописец. Последний позволяет автоматически фиксировать момент прохода корабля над кабелем. Точность фиксирования времени довольно высока (СКП не хуже 0,5 с), так как, кроме сигнала от магнитного поля кабеля, фиксируются секундные и минутные метки времени от хронометра.

При достаточных глубинах на полигоне кабельная мерная линия позволяет определять скорость подводных лодок в подводном положении.

Организация измерений на кабельной мерной линии (за исключением фиксирования моментов времени), а также обработка их результатов не отличается от организации работы на визуальной мерной линии.

Оценка точности и надежности определения скоростей производится согласно общей методике с тем отличием, что для расчета средней квадратической погрешности определения эталонного расстояния m_s применяется формула

$$m_s = m_{в.к} \sqrt{2},$$

где $m_{в.к}$ — средняя квадратическая погрешность чувствительности аппаратуры ведущего кабеля, м.

Определение относительной скорости по данным абсолютного лага. Абсолютный лаг позволяет непосредственно

измерить продольную составляющую абсолютной скорости корабля на пробеге $V_i = V_{a_{xi}}$, поэтому относительная скорость корабля V_0 и поправка относительного лага Δl могут быть определены в любом районе моря (океана), удовлетворяющем по глубинам, метеоусловиям и характеру распределения течений требованиям, предъявляемым к полигону скоростных испытаний. Если направление и скорость течения могут быть непосредственно измерены, то курсы пробегов на испытаниях легко выбираются для минимальных углов сноса.

Исходя из заданной погрешности определения относительной скорости m_V (формула 11.4.6), рассчитывается эталонное расстояние S_3 , а затем — интервалы времени измерения Δt_i абсолютной скорости на каждом режиме работы двигателей по формуле

$$t_i = \frac{3600}{V_0} S_3,$$

где V_0 — ориентировочное значение определяемой скорости.

Относительная скорость рассчитывается по снятым с указателя абсолютного лага значениям продольной составляющей абсолютной скорости по формулам (11.4.2) — (11.4.5), в зависимости от характера распределения скорости течения в районе испытаний.

Среднее значение продольной составляющей абсолютной скорости на пробеге за интервал t_i рассчитывают по формуле

$$V_{a_{xi}} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k V_{a_{xij}}, \quad (11.4.20)$$

где $V_{a_{xij}}$ — частные показания продольной составляющей за период собственного осреднения в схеме абсолютного лага;

k — число показаний абсолютного лага за время, равное интервалу t_i .

Подсчет частоты вращения двигателей и определение поправок относительного лага производят далее в соответствии с общей методикой.

Оценка надежности определения скорости ограничивается построением и анализом графика соответствия относительной скорости частоте вращения двигателей.

Для оценки погрешностей [скорости на пробегах $m_{V_{a_{xi}}}$ и определенной относительной скорости m_{V_0} используются формулы (11.4.13) — (11.4.16), в которых вместо величины m_{V_i} подставляются погрешности абсолютного лага $m_{V_{a_{xi}}}$.

Рассмотренный способ — один из наиболее точных и удобных для практики.

Определение скорости корабля с помощью корабельной РЛС и геодезического радиодальномера. Эталонные расстояния определяются как разности дистанций, измеренных с помощью РЛС до точечного радиолокационного ориентира (РЛО), или как разности дистанций, измеренных на корабле геодезическим дальномером до ведомой станции на берегу (рис. 11.4.5). В качестве РЛО можно использовать: пассивные радиолокационные отражатели, установленные на берегу, на якорных или дрейфующих буйах, а также корабли, стоящие на якорях или бочках.

Линия пробегов корабля должна располагаться по направлению на ориентир (ведомую станцию) или в противоположном направлении и совпадать с направлением течения на полигоне.

При использовании РЛС применяют шкалу наиболее крупного масштаба, охватывающую минимальную требуемую разность дистанций (эталонное расстояние), а также электронный визир или индикатор точных координат. Так как точность измерения с помощью РЛС в 3—4 раза хуже, чем точность измерения эталонных расстояний на

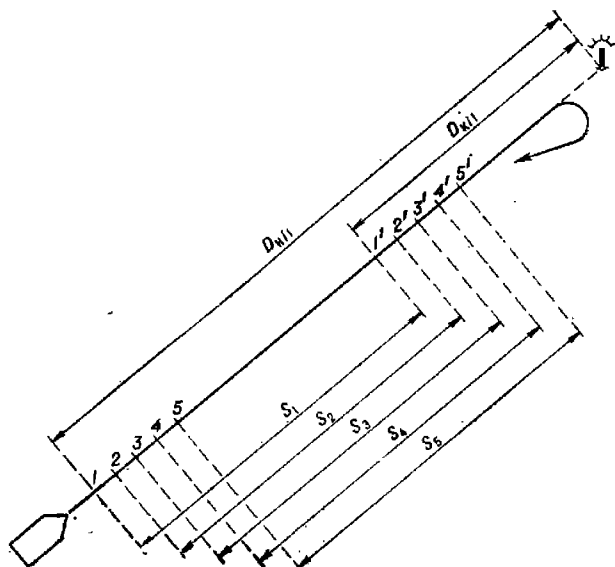


Рис. 11.4.5

визуальной мерной линии, то для уменьшения погрешностей на одном и том же пробеге получают ряд эталонных расстояний, выполняя для этого по 5—11 измерений дистанций в начальной и конечной сериях измерений. Эти расстояния (разности расстояний) рассчитываются по формуле

$$S_{ij} = |D_{нлj} - D_{кнлj}|.$$

где $D_{нлj}$, $D_{кнлj}$ — дистанции, измеренные соответственно в начальной и конечной сериях на одном пробеге.

Аналогично определяются эталонные расстояния при использовании геодезического радиодальномера. Необходимость неоднократного измерения дистанций в этом случае диктуется только надежностью измерений, поскольку точность измерений исключительно высока (СКП измерения составляет 0,5—1 м). Расстояния до ведомой станции выбираются по возможности такими, чтобы разности измеренных дистанций были бы равны целому числу фазовых циклов. Эталонное расстояние рассчитывается в этом случае по формуле

$$S_i = K_p N_i,$$

где K_p — коэффициент радиодальномера — дистанция, соответствующая одному фазовому циклу;

N_i — число полных фазовых циклов, измеренных на пробеге.

При наличии угла сноса на пробеге более 2° расстояния приводятся к проекциям на линию истинного курса, для чего измеренные дистанции исправляются поправками на снос ΔD_{ij} (рис. 11.4.6), рассчитываемыми по формуле

$$\Delta D_{ij} = D_{кij} (\cos q_{ij} - 1),$$

где q_{ij} — курсовой угол на ориентир (ведомую станцию) в момент измерения последней дистанции в конечной серии.

Поправки ΔD_{ij} всегда отрицательны.

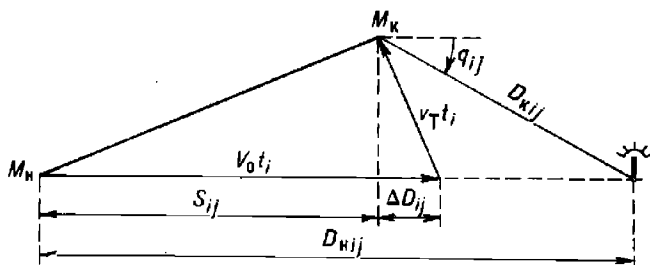


Рис. 11.4.6

Точность определения скорости можно повысить, если в качестве радиолокационного ориентира применять дрейфующий буй с осадкой, примерно равной осадке корабля. Поправка ΔD_{ij} в этом случае принимается равной нулю и, независимо от характера течения на полигоне, на каждом режиме работы двигателей можно ограничиться двумя пробегами и график изменения течения не строить.

Если для измерения дистанций применяется навигационная РЛС, то частные значения абсолютных скоростей на пробеге рассчитываются по формуле

$$V_{ij} = 3600 \frac{S_{ij}}{t_{ij}},$$

где t_{ij} — интервал времени между моментами измерения начальной и конечной дистанций, с.

Если для измерений применяется РЛС, шкалы которой оцифрованы в артиллерийских кабельтовых или в метрах, то величины S_{ij} переводят в морские мили. В первом случае величины S_{ij} умножают на коэффициент 0,0987, а во втором — делят на 1852.

При использовании геодезического радиодальномера, шкала которого оцифрована в метрах, частные скорости на пробеге рассчитываются по формуле

$$V_{ij} = 1,9438 \frac{S_{ij}}{t_{ij}}.$$

Интервалы времени фиксируются с помощью секундомеров по касанию эхо-сигнала от ориентира соответствующего круга дальности или по появлению на счетчике целых фазовых циклов заданного их числа.

Средняя скорость корабля, определенная на данном пробеге, рассчитывается по формуле

$$V_l = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_{ij}.$$

Априорная средняя квадратическая погрешность определения скорости на каждом пробеге в процентах вычисляется по формуле

$$m_{V_i} = \frac{100}{S_i \sqrt{n}} \sqrt{m_{S_{ij}}^2 + m_{ij}^2 V_i^2}.$$

При отсутствии сноса средняя квадратическая погрешность эталонного расстояния составит

$$m_{S_{ij}} = 1,41 m_{D_{ij}},$$

где $m_{D_{ij}}$ — СКП измерения дистанции радиолокационной станцией или радиодальномером.

Апостериорная средняя квадратическая погрешность определения частной скорости на пробеге в процентах может быть рассчитана по формуле

$$m_{V_i} = \frac{100}{V_i} \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum (V_{ij} - V_i)^2}.$$

Определение скорости корабля с помощью высокоточных радионавигационных систем. В этом способе эталонное расстояние находится как расстояние между точками определения места корабля по высокоточным РНС (рис. 11.4.7). Линия про-

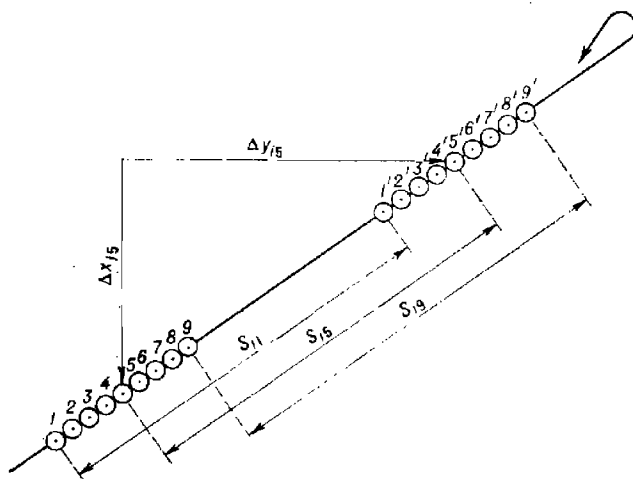


Рис. 11.4.7

бега выбирается так, чтобы течение было попутным или встречным, а курсы корабля были безопасны в навигационном отношении. На каждом пробеге после набора кораблем заданной скорости производят две серии измерений (обсерваций): одну — на начальном участке пробега, другую — на конечном, с точным фиксированием их моментов. При автоматическом режиме измерения расстояний и соответствующих им моментов времени производится 5—7 измерений в серии с интервалом 15—20 с. При дискретном неавтоматическом режиме измерений очередные измерения в серии производятся через равные интервалы времени, не превышающие 30 с, которые фиксируются по хронометру или секундомером. Эталонные расстояния между первой (второй, третьей и т. д.) обсервацией начальной серии и первой (второй, третьей

и т. д.) обсервацией конечной серии на пробеге снимают с планшета крупного масштаба или рассчитывают аналитически по формуле

$$S_{ij} = \sqrt{\Delta x_{ij}^2 + \Delta y_{ij}^2},$$

где Δx_{ij} , Δy_{ij} — разности прямоугольных координат соответствующих пар точек, снимаемых с планшета, м.

Далее расчет скорости осуществляется так же, как и при ее определении с помощью геодезического радиодальномера. При углах сноса более 2° частные скорости V_{ij} на пробеге рассчитывают по проекциям V_{ij} на линию истинного курса по формуле

$$V'_{ij} = V_{ij} \cos c_i,$$

где c_i — фактический угол сноса на данном пробеге, определяемый по обсервациям.

Путевой угол для расчета угла сноса снимается с планшета или рассчитывается аналитически по формуле

$$ПУ_i = T_{S_i} + \gamma,$$

где T_{S_i} — дирекционное направление пробега;

γ — угол сближения меридианов, рассчитанный для средней точки линии пробега.

При сопряжении приемоиндикатора РНС с навигационной ЭЦВМ (преобразователем координат) производство обсерваций и расчет скоростей могут быть автоматизированы, поскольку приемоиндикаторы этого типа решают задачу определения пути и путевой скорости.

Организация измерений, порядок вычислений и оценка точности аналогичны подобным работам при использовании геодезического радиодальномера и отличаются лишь тем, что средняя квадратическая погрешность определения эталонного расстояния рассчитывается по формуле

$$m_{S_{ij}} = \sqrt{M_o^2 + m_{гр}^2},$$

где M_o — СКП обсервации;

$m_{гр}$ — СКП графических построений на планшете.

Определение скорости по веерам пеленгов на ориентиры. Для определения скорости этим способом достаточно иметь на полигоне пару ориентиров, направление базы которых, т. е. линии, соединяющей ориентиры (рис. 11.4.8), позволяло бы совершать параллельные ей пробеги, а длина базы позволяла получить требуемую точность определения скорости. В течение пробега на каждый из ориентиров последовательно измеряют 7—11 пеленгов с одновременным фиксированием соответствующих моментов времени T_{ij} (T'_{ij}). Пеленги измеряются через определенный шаг, выраженный числом градусов с таким расчетом, чтобы угол при вершине каждого веера не превышал 30° . Шаг пеленгования $\Delta\Pi$ рассчитывается по формуле

$$\Delta\Pi = 0,16 \frac{V}{D_r} t_0,$$

где V — ориентировочное значение скорости, уз;

D_r — среднее траверзное расстояние до ориентиров, кбт;

t_0 — интервал времени, необходимый для снятия отсчета и записи пеленга и момента измерений, с.

Величина шага округляется до целого числа градусов, что позволяет повысить точность пеленгования и определения скорости.

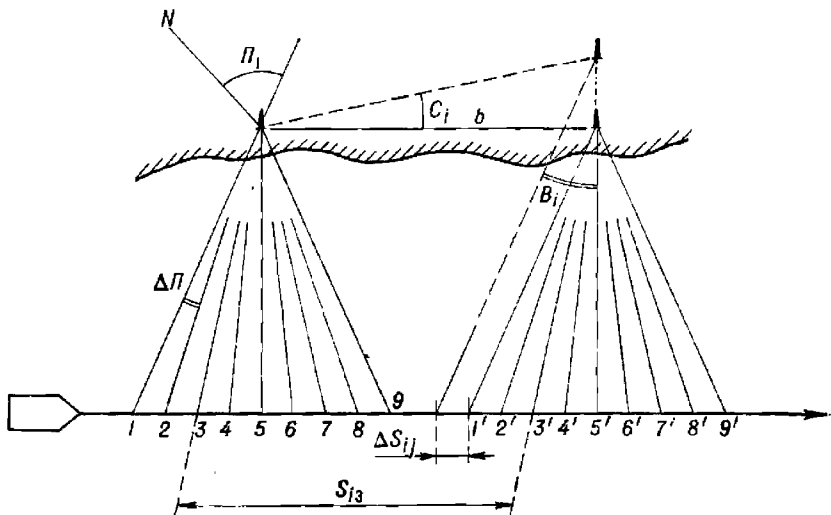


Рис. 11.4.8

Эталонные расстояния S_{ij} в этом способе представляют отрезки линии курса, заключенные между параллельными линиями одинаковых пеленгов на соответствующие ориентиры.

Если при испытаниях отдельные пеленги P_{ij} или моменты времени T_{ij} не были измерены, то для определения интервалов времени пробега эталонных расстояний вычерчивают график зависимости пеленгов от времени (рис. 11.4.9), используя масштаб 1° в 5 мм и 1 с в 1 мм. Для уменьшения длины графика и упрощения работы с ним шкалу времени разделяют на две части: начальную и конечную. По точкам, полученным в каждой группе пеленгов, проводят осредняющие прямые или плавные кривые линии, расстояния между которыми (по линии, параллельной оси абсцисс) позволяют найти интервалы времени между моментами измерений равных пеленгов

$$t_{ij} = T'_{ij} - T_{ij}.$$

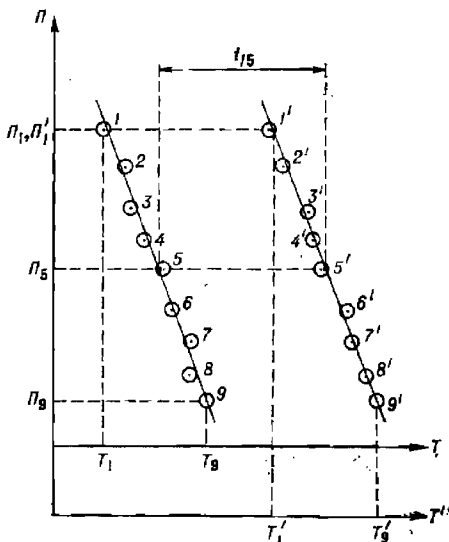


Рис. 11.4.9

Когда линия пробегов параллельна базе, то каждое расстояние равно длине базы. Если же линия пробега базе не параллельна,

вследствие сноса или выбора курса по соображениям безопасности, то расстояние рассчитывается по формуле

$$S_i = b \cos c_i \pm b \sin c_i \cdot \operatorname{tg} B_i,$$

где b — длина базы;

c_i — угол между линиями пути и базы или угол сноса корабля;

B_i — угол между линиями крайнего и траверзного пеленгов.

При вычислении по этой формуле знак плюс применяется, когда пеленг на более отдаленный ориентир берется до траверза, а знак минус, когда пеленг на тот же ориентир берется после траверза.

Частные значения абсолютных скоростей и средние значения относительной скорости на пробеге рассчитываются по тем же формулам, что и при определении скорости с помощью РЛС. Оценка надежности и точности определения скорости осуществляется по общей методике.

При небольших углах сноса ($c < 10^\circ$) или разворота базы средняя квадратическая погрешность эталонного расстояния рассчитывается по формуле

$$m_{S_i} = \sqrt{m_b^2 + 2(D_r m_n \operatorname{arc} 1^\circ)^2 + (m_{c_i}^2 \operatorname{tg} B_i \operatorname{arc} 1^\circ)^2},$$

где m_b — СКП определения длины базы;

m_n — СКП пеленгования;

m_{c_i} — СКП определения угла сноса;

D_r — среднее траверзное расстояние до ориентиров.

Апостериорная средняя квадратическая погрешность скорости, определенной на пробеге, рассчитывается по формуле

$$m_{V_i} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum^n (V_{ij} - V_i)^2},$$

где n — число пар параллельных пеленгов.

Способ требует высокой организации наблюдений, менее точен из всех рассмотренных, однако применим для определения скорости подводной лодки в подводном положении.

Юстировка абсолютного лага

Юстировка абсолютного лага заключается в определении коэффициента лага $k_{ла}$, продольной составляющей абсолютной скорости $V_{xэ}$ и угла разворота P гидроакустической антенны лага. Для определения коэффициента лага производят многократное ($n > 20$) определение абсолютной скорости корабля $V_{xэ}$ одним из следующих способов: с помощью высокоточных обсерваций по РНС, с использованием геодезического радиодальномера и теодолитных засечек.

Одновременно с помощью лага измеряются продольная V_x и поперечная V_y составляющие абсолютной скорости.

Эталонное значение продольной составляющей абсолютной скорости рассчитывается по формуле

$$V_{xэ_i} = 3600 \frac{S_{э_i}}{t_i},$$

где $S_{э_i}$ — эталонное расстояние, измеряемое между точками высокоточных обсерваций, нанесенных на планшет, или рассчитываемое аналитически.

На каждом режиме хода совершают два пробега в противоположных направлениях. Среднее значение коэффициента лага рассчитывают по формуле

$$k_{\text{л}} = \frac{\sum^n V_{x\text{э}i}}{\sum^n V_{x_i}}$$

На каждом пробеге определяют угол разворота P гидроакустической антенны по формуле

$$P = \frac{1}{n} \left(\sum^n c_i - \sum^n \text{arc tg} \frac{V_{y_i}}{V_{x_i}} \right),$$

где c_i — фактический угол сноса на пробеге;
 n — число фиксации скорости (измерений эталонных расстояний, определений угла сноса).

§ 11.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПОВОРОТЛИВОСТИ И ИНЕРЦИИ КОРАБЛЯ

Определение элементов поворотливости

Как правило, определяют следующие элементы: тактический диаметр и период (полупериод) циркуляции при нормальном (обычно 15°) и предельном (обычно 25°) углах перекладки руля на режимах работы движителей, обеспечивающих малый, средний и полный ход, а также углы дрейфа на циркуляции и мертвые промежутки. На крупнотоннажных кораблях дополнительно определяются выдвиг и обратное смещение.

Тактический диаметр циркуляции можно определить различными способами, наиболее точными из которых являются способ траверзных

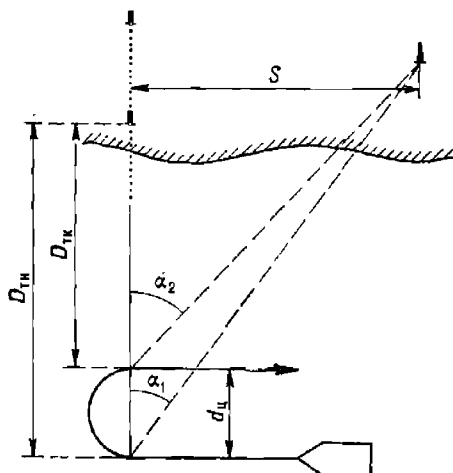


Рис. 11.5.1

расстояний и способ высокоточных обсерваций. На подводных лодках в подводном положении диаметр циркуляции определяется с помощью автопроектировщика.

Период циркуляции находится как интервал времени между моментом окончания перекладки руля на заданный угол и моментом прихода корабля на первоначальный курс; полупериод циркуляции — как интервал времени между моментом окончания перекладки руля на заданный угол и моментом прихода корабля на противоположный курс.

Мертвый промежуток определяется по опыту плавания как средняя величина, а на испытаниях уточняется.

Определение тактического диаметра циркуляции по траверсным расстояниям. Определение диаметра циркуляции этим способом может производиться с помощью РЛС при паллии в видности точечных радиолокационных ориентиров, с помощью геодезического радиодальномера при наличии на береговом посту ведомой станции или с помощью секстана на визуальной мерной линии. Сущность способа для всех вариантов одинакова и состоит в следующем: при достижении кораблем назначенной скорости, в момент когда курсовой угол на ориентир, пост или створ станет равным 90° (в момент траверза), начинают поворот. В тот же момент измеряют траверзное расстояние $D_{тн}$ (с помощью РЛС или радиодальномера) или горизонтальный угол α_1 (с помощью секстана). С поворотом на противоположный курс и с выходом на траверз другого борта или линию створа вновь измеряют траверзное расстояние $D_{тк}$ или горизонтальный угол α_2 (рис. 11.5.1).

При измерении расстояний с помощью РЛС и геодезического радиодальномера тактический диаметр циркуляции $d_{ц}$ рассчитывается по формуле

$$d_{ц} = |D_{тк} - D_{тн}|,$$

где $D_{тн}$, $D_{тк}$ — начальное и конечное траверзные расстояния.

При измерении горизонтальных углов с помощью секстана тактический диаметр циркуляции рассчитывается по формуле

$$d_{ц} = S (\operatorname{ctg} \alpha_2 - \operatorname{ctg} \alpha_1),$$

где S — расстояние между линией створа и ориентиром;

$\alpha_{1(2)}$ — исправленные поправками секстана углы между линией створа и направлением на ориентир.

Определение тактического диаметра циркуляции по высокоточным наблюдениям. Этот способ сводится к определению мест корабля на циркуляции с применением высокоточных РНС или других технических средств (теодолитов, радиотеодолитов, РЛС с накладным планшетом или навигационного секстана), позволяющих определять координаты с предельной погрешностью, не превышающей 5 м (при вероятности $P=0,993$).

Координаты мест определяют через 15—20 с, места наносят на планшет (обычно с нанесенными на нем сетками изолиний) масштаба не мельче 1:5000—1:10000. Фиксацию навигационных параметров или координат начинают за 2—3 с до начала циркуляции и заканчивают спустя такое же время после поворота на обратный курс. Время (моменты) наблюдений фиксируется с точностью до 0,5 с не менее чем по трем измерителям времени.

Тактический диаметр циркуляции рассчитывается как расстояние между линиями противоположных курсов (рис. 11.5.2).

При использовании РЛС с накладным планшетом, индикатор которого работает в режиме относительного движения, определяют относительные места корабля, отмечая на накладном планшете эхо-сигнал

выбранного точечного радиолокационного ориентира. При работе индикатора РЛС в режиме истинного движения на накладном планшете фиксируются фактические места корабля, соответствующие счислимому месту (центр развертки). По отмеченным точкам строятся кривые циркуляции и определяются ее элементы.

Определение тактического диаметра циркуляции с помощью автопрокладчика. Способ определения тактического диаметра циркуляции с помощью автопрокладчика состоит в следующем. На планшете (столе) автопрокладчика устанавливается самый крупный масштаб и вместо карты помещают лист миллиметровки или ватмана. При следовании корабля с заданной скоростью и постоянным курсом фиксируют счислимые места, соответствующие по показаниям лага точно 1 миле плавания и вычисляют знаменатель C масштаба по формуле

$$C = 1\,852\,000 : S_m,$$

где S_m — расстояние, соответствующее 1 миле, снятое с планшета, мм.

Корабль совершает циркуляцию на 180° ; с помощью секундомера фиксируют моменты ее начала и окончания. С планшета снимают расстояние d' (в мм) между противоположными курсами и рассчитывают тактический диаметр циркуляции по формуле

$$d_{ц} = 0,001 d' k_{л} C,$$

где $k_{л}$ — коэффициент лага.

Использование прецизионных автопрокладчиков, входящих в состав автоматизированных навигационных комплексов, позволяет реализовать для определения тактического диаметра циркуляции оба последних способа с приемлемой для практики точностью (в этом случае решается задача наблюдательного счисления по данным РНС или РЛС).

Способ, основанный на применении автопрокладчика с аналоговым счетно-решающим устройством, уступает по точности всем предыдущим способам, поскольку наряду с относительно большими погрешностями счисления (погрешности входных данных, инструментальная погрешность прокладчика) на точность определения тактического диаметра циркуляции влияют значительные погрешности лага.

Определение элементов инерции корабля

Тормозной путь, выбег и соответствующее им время торможения и выбега определяются на постоянном курсе корабля при положении руля в диаметральной плоскости (в «нулевом» положении). Каждый элемент определяется два-три раза на противоположных курсах, результаты наблюдений осредняются. Моменты изменения режимов работы двигателей фиксируются по секундомерам, частота вращения двигателей — по тахометрам и суммарным счетчикам оборотов двигателей, скорость и пройденное расстояние — по лагам, имеющим высокие чувствительность и точность работы на малых скоростях. Линии истинных курсов корабля при испытаниях располагаются перпендикулярно

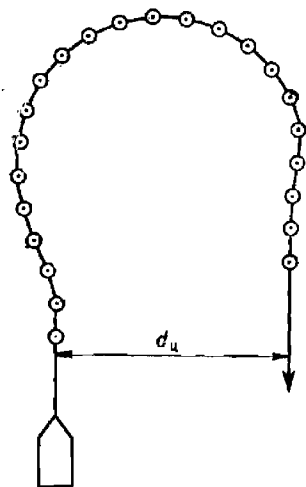


Рис. 11.5.2

направлению течения на полигоне (рис. 11.5.3), чтобы уменьшить влияние течения на точность измерений.

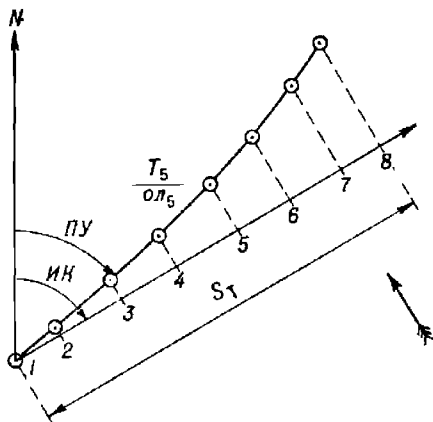


Рис. 11.5.3

У каждой точки наблюдения, нанесенной на планшет, записываются моменты времени с округлением до 0,5 с и скорость по показаниям лага с округлением до 0,01 уз. В отсутствие сноса наблюдения могут быть заменены точным измерением расстояний до ориентира, располагающегося на линии пробегания, с помощью РЛС или радиодальномера. Отсутствие сноса определяется путем измерения курсовых углов на ориентир. Снос необходимо отличать от смещения одновинтового корабля вправо от линии курса, а двухвинтового корабля в любую сторону — за счет разной частоты вращения его движителей.

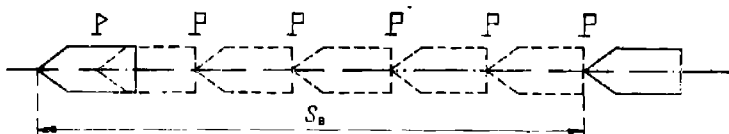


Рис. 11.5.4

Определение тормозного пути и выбега по числу длин корабля. Для определения элементов инерции этим способом выставляются наблюдатели: первый в районе форштевня, второй — ахтерштевня корабля; с обоими устанавливается двухсторонняя связь. Корабль ложится на курс, линия которого перпендикулярна направлению сноса, и развивает назначенный ход. В момент перехода движителей в иновый режим работы («стоп», «полный назад») первый наблюдатель сбрасывает за борт первый приготовленный поплавочек и пускает секундомер. Второй наблюдатель фиксирует момент времени, когда поплавок по отношению к корме корабля будет находиться на курсовом угле 90° , и подает соответствующий сигнал или команду. По сигналу (команде) второго наблюдателя первый наблюдатель сбрасывает за борт следующий поплавок. Действия, описанные выше, повторяются

Тормозной путь и выбег при наличии сноса определяются как проекции отрезков линии пути на линию истинного курса. Для определения элементов инерции применяются два способа: способ высокоточных наблюдений (рис. 11.5.3) и способ по числу длин корабля (рис. 11.5.4), при котором тормозной путь измеряется в длинах корабля.

Определение тормозного пути и выбега по высокоточным наблюдениям. Высокоточные наблюдения производятся с помощью РНС или геодезического радиодальномера по методике, аналогичной рассмотренной в предыдущем пара-

до полной остановки корабля. Время торможения и выбега фиксируется по секундомерам, а тормозной путь S_T и выбег S_B рассчитываются по формуле

$$S_{T(B)} = L(n-1) + L_1, \quad (11.5.1)$$

где L — расстояние между наблюдателями (длина корабля);

L_1 — расстояние от форштевня до последнего поплавка в момент окончания движения;

n — число сброшенных поплавков.

Длина корабля L выбирается из тактического формуляра, а расстояние L_1 легко определяется по маркировке шпаций (шпангоутов).

Приближенные значения элементов инерции по необходимости могут быть определены по показаниям абсолютных или относительных лагов, имеющих высокую чувствительность на малых ходах и необходимую точность измерений. Тормозной путь и выбег в этом случае рассчитывают по известной формуле

$$S_{T(B)} = k_n \rho \lambda, \quad (11.5.2)$$

где k_n — коэффициент лага, соответствующий средней скорости движения по инерции.

Точность определения элементов поворотливости и инерции

В практике кораблевождения качество определения элементов поворотливости и инерции оценивается средними квадратическими погрешностями тактического диаметра циркуляции $m_{d_{ц}}$, тормозного пути m_{S_T} и выбега m_{S_B} .

Априорные погрешности определения тактического диаметра циркуляции в процентах рассчитываются по следующим формулам:

— для способа высокоточных наблюдений

$$m_{d_{ц}} = \frac{100}{d_{ц}} \sqrt{M_o^2 + M_{гр}^2}, \quad (11.5.3)$$

где $d_{ц}$ — тактический диаметр циркуляции;

M_o — СКП определения места корабля;

$M_{гр}$ — СКП графических построений на карте (0,5—0,7 мм в масштабе планшета);

— для способа траверзных расстояний

$$m_{d_{ц}} = \frac{100}{d_{ц}} \sqrt{m_{D_{тн}}^2 + m_{D_{тк}}^2}, \quad (11.5.4)$$

где $m_{D_{тн}}$, $m_{D_{тк}}$ — СКП определения начального и конечного траверзных расстояний соответственно.

При использовании РЛС погрешность $m_{D_T} = m_{D_{РЛС}}$, при использовании навигационного секстана

$$m_{D_T} = \frac{dm_{\alpha_1(2)}}{3438 \sin^2 \alpha_1(2)}, \quad (11.5.5)$$

где d — расстояние между линией створа и ориентиром, мили;

$m_{\alpha_1(2)}$ — СКП измерения горизонтального угла, дуговые минуты.

При использовании для определения диаметра циркуляции прецизионного автопрокладчика навигационного комплекса (задача наблюдательного счисления) оценка точности производится по формуле (11.5.3), в которой M_0 — погрешность наблюдательного счисления, а остальные обозначения прежние. При использовании автопрокладчиков с аналоговыми счетно-решающими устройствами расчет априорных погрешностей достаточно сложен. Поэтому на практике обычно принимают

$$m_{d_{\text{ц}}} = (0,1-0,2)d_{\text{ц}}. \quad (11.5.6)$$

Средние квадратические погрешности определения тормозного пути $m_{S_{\text{T}}}$ и выбега $m_{S_{\text{в}}}$ в процентах рассчитываются по следующим формулам:

а) для способа высокоточных наблюдений

$$m_{S_{\text{T(в)}}} = \frac{100}{S_{\text{T(в)}}} \sqrt{M_0^2 + M_{\text{гр}}^2 + M_{\text{T}}^2}, \quad (11.5.7)$$

где $S_{\text{T(в)}}$ — тормозной путь (выбег), мили;

M_{T} — СКП определения пройденного расстояния, возникающая из-за неучета течения; рассчитывается по формуле

$$M_{\text{T}} = 0,33 v_{\text{T}} \Delta t \cos q_{\text{T}},$$

в которой v_{T} — скорость течения (модуль вектора), уз;

Δt — разность между частными значениями времени торможения или выбега на противоположных курсах, с;

q_{T} — курсовой угол течения;

остальные обозначения в формуле (11.5.7) прежние;

б) для способа траверзных расстояний, измеренных до ориентира,

$$m_{S_{\text{T(в)}}} = \frac{100}{S_{\text{T(в)}}} \sqrt{2m_{\text{D}}^2 + m_{\text{T}}^2}, \quad (11.5.8)$$

где m_{D} — СКП измерения расстояния, мили;

m_{T} — СКП определения (знания) скорости течения в районе, уз;

в) для способа по числу длин корабля

$$m_{S_{\text{T(в)}}} = \sqrt{\frac{50 \Delta L}{S_{\text{T(в)}} \sqrt{3}}}, \quad (11.5.9)$$

где ΔL — длина шпации, мили.

Раздел IV

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА КОРАБЛЯ МЕТОДОМ
СЧИСЛЕНИЯ**

Глава 12

СЧИСЛЕНИЕ

§ 12.1. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ НАВИГАЦИОННЫХ ЗАДАЧ

Задачи навигации — расчет целенаправленного, наиболее выгодного с точки зрения решения поставленной кораблю задачи и безопасного в навигационном отношении пути корабля, а также контроль действительного местоположения корабля и его фактических элементов движения — решаются на основе определения места корабля на любой заданный момент времени.

Место корабля в море определяется двумя методами: счисления и обсерваций.

Счисление — это процесс непрерывного и последовательного учета элементов движения корабля — пути и пройденного расстояния — относительно исходной точки, производимый с целью определения и прогнозирования места корабля на любой заданный момент времени, т. е. счисление основано на непрерывном учете направления и величины перемещения корабля во времени. Счисление — основной метод решения навигационных задач.

Исходной информацией для счисления являются данные о курсе и скорости, вырабатываемые автономными корабельными техническими средствами навигации (ТСН) — курсоуказателями, лагами и инерциальными системами.

Не полностью учтенное влияние течения и ветра на движение корабля, а также накапливающиеся с течением времени погрешности автономных корабельных ТСН обуславливают необходимость периодической коррекции счислимых курса, скорости и места корабля по результатам обсерваций.

Обсервация — это процесс определения места корабля по изменениям навигационных параметров относительно наземных и небесных навигационных ориентиров.

Комплексированное использование счислимой и обсервованной информации является основным методом решения навигационных задач. В зависимости от условий и требуемой точности плавания, от состава корабельных ТСН, навигационного оборудования района плавания и от имеющихся на корабле средств автоматизированной обработки информации навигационные задачи решаются следующими методами:

- некорректируемого счисления;
- корректируемого счисления;
- непрерывных обсерваций;
- ориентирования.

Некорректируемое счисление, или просто *счисление*, — это метод определения места корабля, основанный на использовании навигацион-

ной информации только от автономных корабельных ТСН без ее коррекции по данным обсерваций.

Существенным отличием современного некорректируемого счисления от традиционного счисления является то, что этот метод опирается на элементы, выработанные в результате оптимальной обработки всего комплекса навигационной информации, поступающей от различных автономных корабельных ТСН. При этом навигационные данные одной системы используются для коррекции данных другой и в результате вырабатываются вероятнейшие данные об элементах движения корабля, более точные, чем от каждой системы в отдельности.

Корректируемое счисление — это метод уточнения места корабля и элементов его движения на основе объединения счисляемой информации и эпизодически поступающей обсервованной информации с учетом точности счисления и обсерваций.

Корректурa счисления может выполняться:

- по одной обсервации или линии положения (§ 13.1);
- методом последовательного уточнения элементов движения по анализу невязок (§ 13.2);
- посредством обсервационного счисления (§ 13.3).

Два последних метода решения навигационных задач — непрерывных обсерваций и ориентирования — используются в узкостях при визуальной или радиолокационной видимости ориентиров, а также при нахождении корабля в зоне действия высокоточных радионавигационных систем (РНС), включая спутниковые навигационные системы.

Сущность метода *непрерывных обсерваций* состоит в том, что на карту (планшет) с сеткой навигационных изолиний непрерывно наносятся высокоточные обсервации, получаемые наиболее быстрыми способами (по радиолокационным расстояниям, с помощью базовых или гидрографических РНС и в некоторых случаях спутниковых навигационных систем, по горизонтальным углам, измеряемым специально подготовленными наблюдателями). Геометрическое место обсервованных точек на карте составляет линию пути, т. е. линию фактического перемещения корабля.

Ориентирование — это метод контроля счисления, основанный на быстром определении зоны (линии), в которой находится корабль, и в оценке степени навигационной безопасности плавания. Ориентирование относительно линии осуществляется с помощью навигационных створов или ведущего кабеля. Ориентирование относительно опасной (безопасной) зоны осуществляется по ограждающим изолиниям, являющимся границами опасной и безопасной зон.

Глазомерное ориентирование по искусственным и естественным навигационным ориентирам с измерением контрольных и ограждающих навигационных параметров при плавании в шхерах, гаванях, рейдах, каналах и в других узкостях иногда называют *лоцманским* методом кораблевождения.

При подходе к пунктам базирования или при выходе из них используется *навигационное ориентирование* с помощью автоматизированных радиолокационных станций или постов управления движением судов, которые определяют место и элементы движения корабля и управляют его движением в узкости.

Метод ориентирования, как и все другие методы решения навигационных задач, не исключает, а лишь дополняет счисление с целью повышения надежности обеспечения навигационной безопасности плавания.

Все рассмотренные методы кораблевождения реализуются путем ведения навигационной прокладки.

Навигационная прокладка представляет собой непрерывное и последовательное графическое отображение места и пути корабля на карте, выполняемое на основе измерения, обработки и анализа считанной и обсервованной навигационной информации с целью определения соответствия движения корабля назначенному маршруту и контроля его навигационной безопасности.

Навигационная прокладка ведется непрерывно в течение всего времени нахождения корабля в море, т. е. от момента съемки корабля с якоря (швартовов) до постановки на якорь (швартовы).

Основой навигационной прокладки является счисление пути корабля.

Навигационная прокладка складывается из последовательности циклов, включающих в себя следующие операции:

- измерение элементов счисления и навигационных параметров для определения места корабля;

- обработку и анализ измеренной навигационной информации с целью определения вероятнейшего значения искомых величин — места и элементов движения корабля;

- графическое отображение места корабля и линии его пути на навигационной карте;

- оценку точности места корабля и его линии пути, определение положения корабля и его пути относительно навигационных опасностей, отображенных на карте, расчет вероятности безопасного прохода данного участка пути; анализ невязок;

- принятие обоснованного расчетом решения по корректуре элементов движения корабля и учитываемых поправок;

- контроль вновь назначенных элементов движения корабля по приборам и обсервациям;

- предвычисление времени прибытия корабля в заданную точку;
- документирование измеренных и учитываемых навигационных элементов.

Навигационная прокладка ведется на навигационных морских путевых картах, масштаб которых обеспечивает приемлемую обзорность района плавания, подробное изображение всех близлежащих навигационных опасностей и достаточную точность графических построений. Выбор масштаба карты зависит главным образом от района плавания.

При выходе (входе) из пунктов базирования используются карты крупного масштаба — планы и частные карты, при плавании в открытом море — карты более мелкого масштаба (но не мельче 1 : 500 000).

Навигационная прокладка ведется простым карандашом с применением условных знаков, приведенных в ПШС-27.

§ 12.2. СУЩНОСТЬ И КЛАССИФИКАЦИЯ СЧИСЛЕНИЯ

Сущность счисления состоит в следующем. Поскольку учитываемая линия пути корабля (рис. 12.2.1) является геометрическим местом точек, в каждой из которых последовательно находится место корабля, то, задавая интервалом времени $t_i = T_i - T_0$ (относительно момента T_0 нахождения корабля в исходной точке O) и учитывая скорость корабля V на этом интервале, можно определить пройденное по линии пути расстояние $S_i = Vt_i$ и тем самым найти положение корабля на момент времени T_i (точка a).

Координаты этой точки можно найти и другим способом: они могут быть рассчитаны по приращению координат $\Delta\varphi_i$ и $\Delta\lambda_i$ относительно исходной точки O :

$$\varphi_i = \varphi_0 + \Delta\varphi_i; \quad \lambda_i = \lambda_0 + \Delta\lambda_i.$$

Величины $\Delta\varphi_i$ и $\Delta\lambda_i$ являются функциями от элементов движения $ПУ$ и V . Последовательный дискретный или непрерывный расчет координат корабля по известным элементам движения и времени плавания называется *счислением координат*.

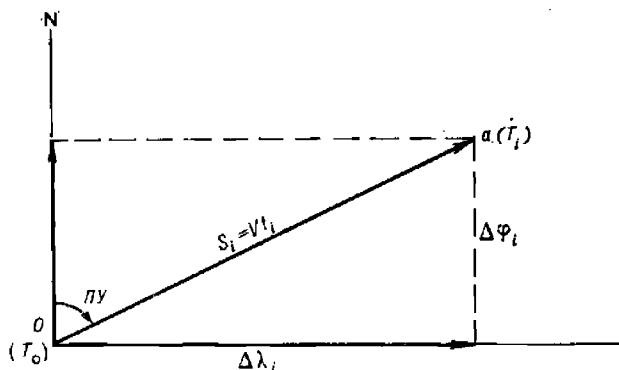


Рис. 12.2.1

Место корабля, определенное на основе счисления пути корабля, называется *счислимым*. Координаты счислимого места называются *счислимыми* — φ_c, λ_c .

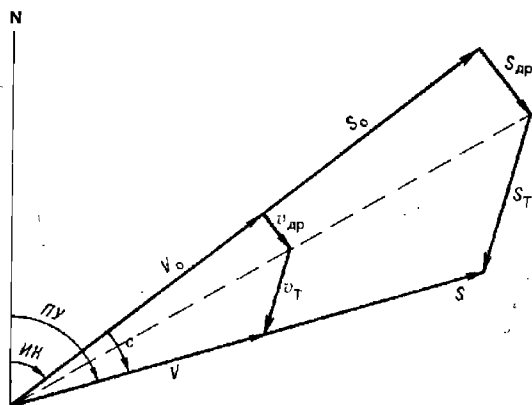


Рис. 12.2.2

Таким образом, задача счисления решается определением вектора плавания \vec{S} , соответствующего заданному интервалу времени, и расчетом (измерением) координат конца этого вектора.

В общем случае вектор плавания \vec{S} включает в себя три составляющих (рис. 12.2.2):

— вектор \vec{S}_0 , направленный по линии истинного курса и характеризующий перемещение корабля относительно воды под воздействием собственных движителей;

— вектор $\vec{S}_{др}$, направленный в подветренную сторону и характеризующий дрейф корабля под воздействием ветра;

— вектор \vec{S}_T , направленный по линии действия течения и характеризующий снос корабля течением. Складывая эти составляющие, получим

$$\vec{S} = \vec{S}_0 + \vec{S}_{др} + \vec{S}_T = (\vec{V}_0 + \vec{v}_{др} + \vec{v}_T) t = \vec{V} t. \quad (12.2.1)$$

Величины, определяющие вектор плавания, называются *элементами счисления*.

На основании равенства (12.2.1) к элементам счисления при использовании относительного лага относятся:

— вектор относительной скорости \vec{V}_0 — истинный курс и относительная скорость корабля;

— вектор скорости дрейфа $\vec{v}_{др}$ — направление и скорость дрейфа;

— вектор скорости течения \vec{v}_T — направление и скорость течения;

— интервал счисления t .

При использовании датчиков абсолютной скорости к элементам счисления относятся вектор абсолютной скорости \vec{V} или его составляющие, направленные вдоль диаметральной плоскости и перпендикулярно ей, и интервал счисления t .

С изменением хотя бы одного из элементов счисления изменяется и сам вектор плавания.

Все источники информации об элементах счисления являются автономными, т. е. не зависящими от наличия ориентиров или каких-либо других средств, расположенных вне корабля. Истинный курс определяется по курсоуказателю, относительная скорость — с помощью относительного лага, элементы дрейфа — по дрейфомеру (лагу-дрейфомеру) или таблице, составленной по опытным данным, элементы течения — по атласу течений или сравнением показаний относительного и абсолютного лагов, время плавания — по часам, абсолютная скорость — с помощью абсолютного лага или инерциальной навигационной системы (ИНС).

Из сказанного следует, что счисление пути корабля является автономным способом определения текущих координат корабля.

Вектор плавания S по направлению совпадает с вектором путевой (абсолютной) скорости V , т. е. направлен по линии пути под углом $ПУ$ к северной части истинного меридиана; так же, как и вектор путевой скорости он составляет угол c с направлением диаметральной плоскости корабля.

Путь, характеризуемый путевым углом $ПУ$, и путевая (абсолютная) скорость V являются *элементами движения корабля*.

Счисление пути корабля классифицируется следующим образом.

По виду и составу используемых источников информации:

— *относительное счисление*, т. е. счисление с помощью относительного лага, основанное на использовании информации о векторе относительной скорости и информации об элементах сноса и дрейфа;

— *абсолютное счисление*, т. е. счисление с помощью абсолютного лага, основанное на использовании информации о векторе абсолютной скорости. Абсолютное счисление, основанное на обработке информации от инерциальной навигационной системы, называется *инерциальным*;

— *комбинированное счисление*, основанное на использовании информации о векторе относительной скорости и периодически — информации о векторе абсолютной скорости;

— *комплексированное счисление*, основанное на обработке всей имеющейся информации от автономных комплексированных систем курсоуказания и указателей скорости.

По способу определения счислимого места корабля:

— *графическое счисление*, заключающееся в последовательной прокладке на карте (планшете) учитываемых элементов движения — пути и проходимых по нему расстояний, при которой счисляемое место корабля на заданный момент времени фиксируется концом соответствующего вектора плавания $\vec{S}_i = \vec{V}t_i$, откладываемого от исходной точки с известными координатами;

— *аналитическое счисление*, при котором счисляемые координаты на заданный момент времени рассчитываются математически по приращениям широты и долготы относительно исходной точки с известными координатами.

По степени автоматизации счисления:

— *автоматическое счисление*, производимое с помощью специальной вычислительной техники — цифровых вычислительных машин, автопрокладчиков и счислителей;

— *ручное счисление*, производимое с помощью графоаналитических операций, выполняемых вручную или с использованием таблиц.

К счислению пути предъявляются требования непрерывности, наглядности и точности.

Непрерывность счисления необходима для определения счислимого места на любой момент времени. Она обеспечивается последовательным учетом всех изменений элементов счисления в течение всего заданного интервала времени.

Наглядность счисления состоит в возможности сопоставления места и пути корабля с окружающей навигационной обстановкой в целях определения степени безопасности плавания. Она обеспечивается графическим отображением пути корабля на морской навигационной карте.

От точности счисления зависит безопасность плавания и качество выполнения поставленной кораблю задачи. Точность счисления обеспечивается выбором наиболее надежных источников информации об элементах счисления, а также рациональными методами обработки комплексированных данных, поступающих от систем курсоуказания и указателей скорости.

Основным видом счисления на современных кораблях является *графическое автоматическое счисление*, основанное на обработке информации, поступающей от комплексированных корабельных технических средств навигации.

Независимо от автоматического счисления ведется *графическое ручное счисление*, позволяющее оценивать положение корабля относительно навигационных опасностей и производить предвычисление времени прибытия корабля в заданную точку.

Аналитическое ручное счисление применяется чаще всего как одна из составных вычислительных операций при решении некоторых задач кораблевождения, например при определении места по высотам Солнца.

Аналитическое автоматическое счисление ведется для контроля графического счисления в тех случаях, когда последнее производится на мелкомасштабных картах, а также для обеспечения счислимыми координатами корабельных постов, приборов и систем.

Комбинированное счисление ведется при дискретном определении элементов сноса с помощью периодически включаемого абсолютного лага.

Перечисленные выше различные виды счисления удобнее рассмотреть начиная с графического ручного счисления.

§ 12.3. ГРАФИЧЕСКОЕ РУЧНОЕ СЧИСЛЕНИЕ

Сущность графического счисления состоит в последовательной прокладке от известной исходной точки векторов плавания. Направление каждого вектора соответствует направлению движения корабля, а длина — пройденному по этому направлению расстоянию. Концы вектора плавания $S_i = Vt_i$ (см. рис. 12.2.1) обозначает счислимое место корабля на момент $T_i = T_0 + t_i$. Линия пути корабля, таким образом, является геометрическим местом счислимых точек, соответствующих различным интервалам счисления.

Из сущности счисления следует, что неучет изменения хотя бы одного из элементов счисления неизбежно приведет к грубым ошибкам в координатах или к потере места корабля.

Расчет счислимого места и обозначение его на карте при графическом счислении производится в следующих случаях:

- при изменении хотя бы одного из элементов счисления (кроме непрерывно изменяющейся величины t);
- в моменты нахождения видимых ориентиров на траверзе корабля;
- в моменты измерения навигационных параметров относительно внешних ориентиров;
- при обнаружении встречных кораблей и иных целей;
- при резком изменении наблюдаемых гидрометеорологических элементов;
- при изменении глубины погружения подводной лодки;
- в моменты использования корабельного оружия;
- при включении корабельных технических средств навигации (лага, автопрокладчика, эхолота и т. д.);
- при изменении режима плавания подводной лодки;
- при смене навигационной карты;
- при сдаче штурманской вахты;
- при навигационных авариях и происшествиях;
- по приказанию.

Для расчета времени поворота на очередной курс, а также для определения времени прибытия корабля в назначенную точку с помощью графического счисления производится предвычисление места корабля на будущий момент времени.

Графические построения на карте при счислении — нанесение точек на карту, измерение координат точек, прокладка направлений, определение направлений проложенных на карте линий, прокладка и определение расстояний — производятся с помощью прокладочного инструмента: параллельной линейки, штурманского транспорта и циркуля-измерителя. Все графические построения на карте производятся простым, остро отточенным карандашом.

Графическое ручное счисление при отсутствии дрейфа и сноса корабля течением выполняется в следующей последовательности:

- на карту наносится исходная (начальная) точка — место стоянки корабля (рис. 12.3.1);

— в момент начала движения корабля фиксируется время по морским часам, отсчет лага (если он включен), скорость корабля по лагу, частота вращения движителей по тахометру и компасный курс по основному и резервному курсоуказателям (основным курсоуказателем считается тот, по которому ведется счисление и производится управление рулем);

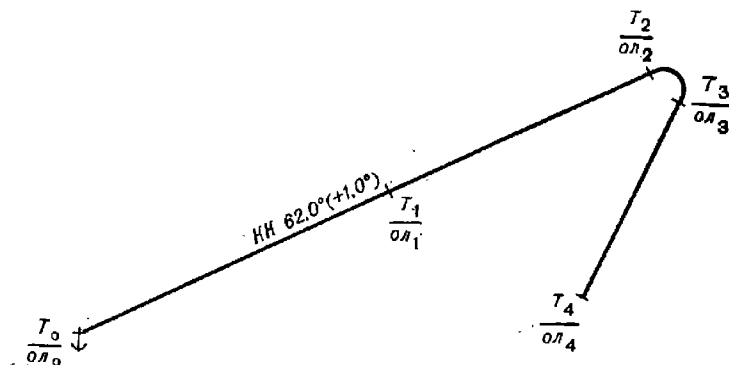


Рис. 12.3.1

— у начальной точки записывается в виде дроби: в числителе — судовое время T_0 , в знаменателе — отсчет лага OL_0 , соответствующий моменту начала движения;

— рассчитывается истинный курс корабля $ИК = КК + \Delta К$;

— через исходную точку проводится линия истинного курса и производится оценка расположения этой линии относительно близлежащих навигационных опасностей. Вдоль линии истинного курса, означающей при отсутствии дрейфа и сноса течением линию пути корабля, делается надпись: численное значение компасного курса по основному курсоуказателю и значение поправки компаса (в скобках), например, $КК\ 62,0^\circ (+1,0^\circ)$;

— для нахождения счислимого места на любой заданный момент времени T_1 замечается отсчет лага OL_1 , соответствующий этому моменту, и рассчитывается пройденное расстояние

$$S_x = (OL_1 - OL_0) k_A = \rho_{OL} \cdot k_A.$$

Для повышения точности счисления и обнаружения промахов определяется также расстояние $S_{об}$, пройденное по времени плавания и по частоте вращения движителей. При соблюдении условия (7.3.7) рассчитывается вероятнейшее значение пройденного расстояния S_B по формуле (7.3.8) или (7.3.9). В условиях напряженного плавания (частые изменения курсов, высокая плотность наблюдений) используется только одна величина S_x , т. е. принимается $S_B = S_x$;

— пройденное расстояние $S_B (S_x)$ откладывается от исходной точки по линии истинного курса. Полученная точка, означающая конец вектора плавания, и будет искомым счислимым местом корабля на заданный момент времени T_1 . Счислимое место обозначается короткой черточкой (2—3 мм), перпендикулярной линии курса. У полученного места ставится время (числитель) и отсчет лага (знаменатель). Если необходимо — снимаются координаты места.

При движении корабля по заданному (известному) маршруту сразу же после прокладки на карте линии истинного курса производится предвычисление времени и отсчета лага для точки поворота на следующий курс, для чего:

- измеряется расстояние S по линии истинного курса между последним счислимым местом и точкой начала поворота на новый курс;
- рассчитывается временной интервал плавания между этими точками $t=S/V$, где V —скорость корабля по лагу или по частоте вращения движителей;
- вычисляется время начала поворота на новый курс $T_2=T_1+t$;
- рассчитывается разность отсчетов лага, соответствующая расстоянию S : $рол=S/k_k$;
- вычисляется отсчет лага на момент начала поворота $ол_2=ол_1+рол$.

В дальнейшем эти данные уточняются производством аналогичных расчетов относительно последующих счисляемых мест.

Таким же образом предвычисляется время и отсчет лага для любой другой заданной точки.

При повороте корабля с одного курса на другой его центр тяжести описывает некоторую кривую, называемую *кривой циркуляции*. В первом приближении кривая циркуляции является дугой окружности, радиус которой — радиус циркуляции — зависит от конструктивных особенностей корабля и от угла перекладки плоскости пера руля от диаметральной плоскости корабля. При скорости корабля в узлах $V \geq 2,5VL$, где L — длина корабля в метрах, радиус циркуляции приобретает зависимость от скорости хода корабля.

Для современных водоизмещающих кораблей радиус циркуляции находится в пределах 1—8 кбт. Радиус циркуляции кораблей в неводоизмещающем режиме (на подводных крыльях и на воздушной подушке) может быть значительно больше.

Радиусы циркуляции корабля для различных углов перекладки руля определяются опытным путем и заносятся в специальные таблицы, называемые таблицами циркуляций.

При учете циркуляции в процессе графического счисления решаются две задачи:

- по известной точке начала поворота определяется точка конца поворота, являющаяся исходной точкой нового курса;
- по известному положению на карте линии нового курса определяется точка начала поворота для выхода на эту линию курса.

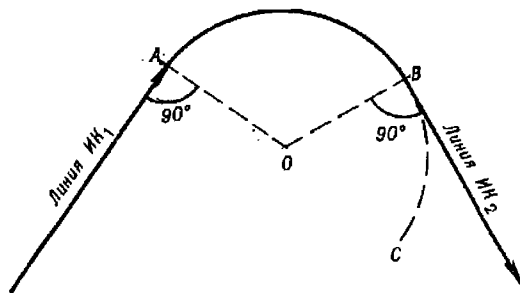


Рис. 12.3.2

Точка конца поворота находится следующим образом (рис. 12.3.2): циркуль по шкале вертикальной рамки карты растворяется на величину

радиуса циркуляции $R_{ц}$, далее одна ножка циркуля (с карандашом) устанавливается в точку начала поворота A , а другая (с иглой) устанавливается так, чтобы линия AO была перпендикулярна (на глаз) линии старого курса $ИК_1$. После этого описывается дуга окружности ABC , представляющая кривую циркуляции. Затем параллельная линейка, сорниентованная по линии нового курса $ИК_2$, поступательным образом подводится к дуге ABC , и точка касания B будет искомым концом поворота. Эта точка принимается за исходную для счисления по линии нового курса.

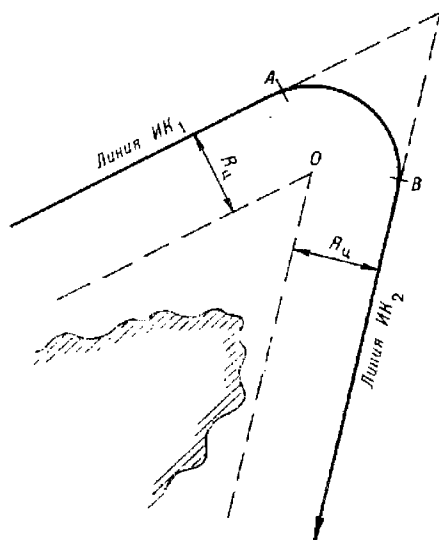


Рис. 12.3.3

Определение точки начала поворота для выхода корабля на заданную линию пути (на линию рекомендованного курса, ось фарватера, линию створа и т. п.) решается в следующей последовательности (рис. 12.3.3): линии старого и нового курсов смещаются параллельно самим себе внутрь циркуляции (навстречу друг другу) на расстояния, равные радиусу циркуляции $R_{ц}$. Точка пересечения этих линий O будет центром окружности циркуляции. Расставив ножки циркуля на величину $R_{ц}$ и поставив его ножку с иглой в точку O , описывают дугу окружности AB . Точки касания окружности линий старого и нового курсов определяют точки начала A и конца B поворота.

Если новый курс отличается от старого на величину, не превышающую 10° , то при ручном графическом счислении на картах масштаба $1 : 300\,000$ и мельче учет циркуляции может не производиться. Погрешность счисления при этом не выйдет за пределы точности графических построений.

§ 12.4. ГРАФИЧЕСКОЕ СЧИСЛЕНИЕ С УЧЕТОМ ДРЕЙФА

Перемещение корабля под воздействием силы ветра и вызываемого им волнения называется *дрейфом*. Направление и скорость дрейфа зависят от курсового угла кажущегося, или наблюдаемого, ветра (обусловленного сложением встречного потока воздуха при движении корабля и истинного ветра), от скорости этого ветра и от конструкции корабля (площади его надводной части).

Собственно дрейф корабля усугубляется дополнительным его смещением с линии пути под влиянием *зарыскивания* — случайного несимметричного уваливания корабля с заданного курса под влиянием порывов ветра и ударов волн. Дрейф, обусловленный зарыскиванием корабля, определяется и учитывается совместно с дрейфом, вызванным постоянным давлением ветра на надводную часть корабля.

При наличии дрейфа вектор скорости корабля, развиваемой за счет собственных движителей, изменяет свою величину и направление: при встречном ветре ($q_{в} < 90^\circ$) скорость уменьшается, при попутном

($q_w > 90^\circ$) — увеличивается; сильный ветер развивает волнение и поэтому всегда уменьшает скорость.

Дрейф корабля всегда направлен под ветер, поэтому вектор действительной скорости корабля отклоняется от линии истинного курса также под ветер. Направление вектора скорости корабля при наличии дрейфа определяет *линию пути при дрейфе*. Она составляет с северной частью истинного меридиана угол, называемый *путевым углом при дрейфе* $ПУ_d$. Диаметральная плоскость корабля при перемещении его по линии пути остается параллельной линии истинного курса (рис. 12.4.1). Это обусловлено тем, что рулевой постоянно удерживает заданный курс. Следовательно, корабль перемещается по линии пути поступательно, вперед не носом, а скулой.

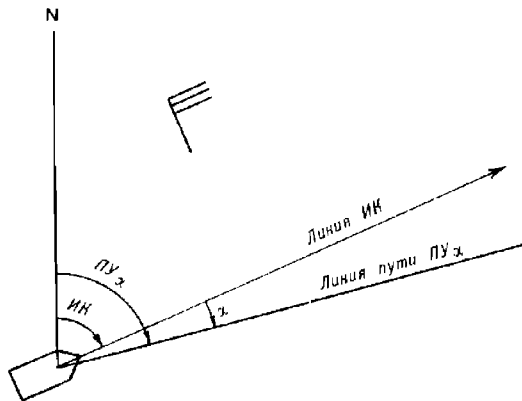


Рис. 12.4.1

Угол между линией пути при дрейфе и линией истинного курса называется *углом дрейфа* α . Направление линии пути при дрейфе определяется *путевым углом при дрейфе*, который рассчитывается по формуле:

$$ПУ_d = ИК + \alpha. \quad (12.4.1)$$

Если ветер дует в левый борт корабля, то угол дрейфа положительный; если ветер дует в правый борт, то угол дрейфа отрицательный.

Скорость ветра измеряется в метрах в секунду, сила ветра — в баллах. Соотношение этих единиц, а также признаки для визуальной оценки силы ветра приводятся в табл. 49 МТ-75. В навигационный журнал записывается скорость ветра в метрах в секунду.

Направление ветра обозначается в градусах. Оно соответствует той части горизонта, откуда дует ветер. Например, направление ветра 0° означает, что ветер дует с севера на юг, направление ветра 225° означает, что ветер дует с SW на NE. Выражение *ветер дует в компас* означает, что радиус, проходящий через отсчет картушки, соответствующий направлению ветра, всегда направлен в центр картушки.

Скорость и направление кажущегося ветра определяются автоматически с помощью корабельного измерителя ветра (анеморумбометра). Для определения скорости ветра может использоваться также анемометр. Направление ветра в этом случае определяется по курсовому углу корабельного флага или вымпела.

Относительная скорость корабля при дрейфе V_o определяется соотношением

$$V_o = V_x \sec \alpha. \quad (12.4.2)$$

При углах дрейфа $\alpha \leq 5^\circ$ $\sec \alpha \leq 1,004$, что составляет 0,4 % от лаговой скорости. В большинстве случаев практики эта величина перекрывается случайными погрешностями определения относительной скорости по лагу. Поэтому при $\alpha \leq 5^\circ$ допустимо скорость корабля (пройденное расстояние), рассчитанную по относительному лагу, принимать за фактическую относительную скорость корабля при дрейфе, т. е. $V_o \approx V_x$, и откладывать пройденное расстояние, рассчитанное по лагу, по линии пути при дрейфе.

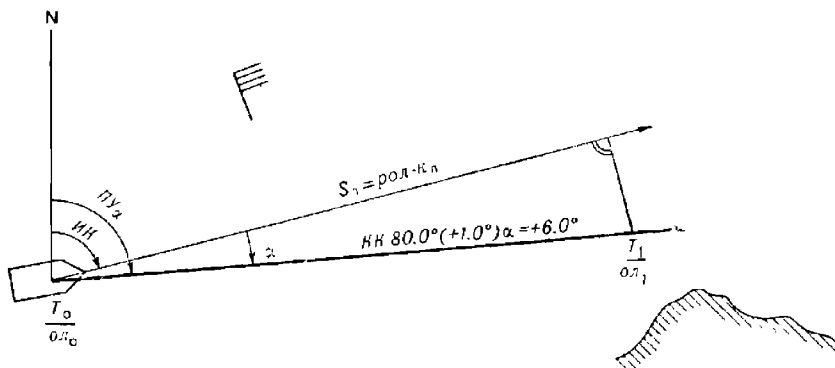


Рис. 12.4.2

При углах дрейфа $\alpha > 5^\circ$ расстояния S_o , откладываемые при прокладке по линии пути $ПУ_x$, находят по формуле

$$S_o = S_x \sec \alpha.$$

При графическом решении задачи ($\alpha > 5^\circ$) расстояния S_x , пройденные по лагу, откладывают по линии истинного курса $ИК$ (рис. 12.4.2) и из полученной точки проводят перпендикуляр к линии $ИК$ до пересечения с линией пути $ПУ_x$. Полученная точка на линии пути и будет счислимым местом судна на заданный момент T_1 .

Расстояние, пройденное по относительному лагу, контролируется расчетом расстояния по скорости хода, полученной по частоте вращения движителей, и времени плавания. При отсутствии промахов и правильной работе лага должно (с точностью до 0,7 %) соблюдаться равенство

$$\text{пол} \cdot k_x = (V_{об} + \Delta V_{др}) t, \quad (12.4.3)$$

где $\Delta V_{др}$ — поправка скорости при дрейфе; выбирается из Таблицы углов дрейфа и поправок скорости при дрейфе (табл. 12.5.1).

Если это равенство не соблюдается, а сомнений в исправности лага и правильности определения скорости $V_{об}$ нет, то значение $\Delta V_{др}$ считается сомнительным и подлежит в дальнейшем уточнению.

§ 12.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛОВ ДРЕЙФА

С помощью дрейфомера

Дрейфомеры по принципу действия разделяются на гидродинамические и индукционные.

Дрейфомеры *гидродинамического* типа измеряют гидродинамическое давление, возникающее при дрейфе под днищем корабля. Разность давлений ΔP на левом и правом бортах пропорциональна скорости дрейфа $v_{др}$, т. е. $\Delta P = f(v_{др})$. Компенсирующее устройство уравнивает давление в приемном устройстве и тем самым вводит указанную функцию в счетно-решающее устройство, где по скорости дрейфа и лаговой скорости хода определяется угол дрейфа

$$\alpha = \arctg \frac{v_{др}}{V_x}$$

Вид функции $f(v_{др})$ зависит от типа корабля и места расположения приемного устройства и определяется опытным путем.

В дрейфомере *индукционного* типа с помощью индукционного метода измеряются относительные скорости корабля вдоль диаметральной плоскости V_x и перпендикулярно ей V_y . Угол дрейфа рассчитывается по формуле

$$\alpha = \arctg \frac{V_x}{V_y}$$

Относительная скорость корабля V_o при углах дрейфа $\alpha \leq 5^\circ$ принимается равной V_x , а при углах дрейфа $\alpha > 5^\circ$ вычисляется по одной из формул:

$$V_o = \sqrt{V_x^2 + v_{др}^2} = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} = V_x \sec \alpha = V_y \tan \alpha$$

По свободноплавающему ориентиру

Определение углов дрейфа производится по свободноплавающему ориентиру с пренебрежимо малой парусностью (вехе или иному плавающему предмету без выступающих из воды частей). Вследствие одинакового воздействия течения на корабль и свободноплавающий ориентир погрешность определения дрейфа за счет течения исключается.

Углы дрейфа могут определяться по пеленгам и расстояниям до ориентира, по пеленгам, а также по курсовым углам на ориентир.

По пеленгам и расстояниям до ориентира. Сущность способа состоит в том, что при следовании корабля неизменным курсом и с постоянной скоростью в траверсном расстоянии от ориентира 3—5 кбт с помощью радиолокатора или иного дальномера в секторе $50-70^\circ$ измеряются расстояния D_i до ориентира и одновременно с помощью пеленгатора — пеленги P_i на него. По этим данным на карте или планшете относительно

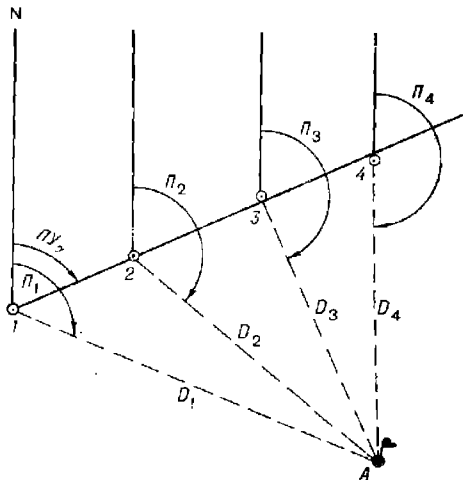


Рис. 12.5.1

произвольной точки A (рис. 12.5.1) наносятся точки $1, 2, 3, \dots$. Через полученные точки проводится осредняющая прямая, направление которой соответствует направлению линии пути при дрейфе. Сравнивая полученный $ПУ_\alpha$ со средним истинным курсом $ИК_{ср}$, определяем угол дрейфа

$$\alpha = ПУ_\alpha - ИК_{ср}. \quad (12.5.1)$$

Точность этого способа зависит от количества точек, от точности измерения пеленгов и расстояний и от точности определения истинного курса. При использовании современного радиолокатора и гироскопического курсоуказателя удовлетворительная точность достигается при наличии 5—7 точек.

По пеленгам на ориентир. Угол дрейфа в этом способе рассчитывается также по формуле (12.5.1). Направление линии пути при дрейфе определяется с помощью трех пеленгов на ориентир, измеренных через интервалы времени t_1 и t_2 , соответствующие изменению пеленга на $25—35^\circ$. Измеренные пеленги проводятся от произвольной точки A на карте или планшете (рис. 12.5.2). Затем от любой точки a_1 на линии первого пеленга проводится линия истинного курса и на ней откладываются отрезки $a_1a_2 = kt_1$ и $a_2a_3 = kt_2$, где k — произвольно выбранный масштабный коэффициент.

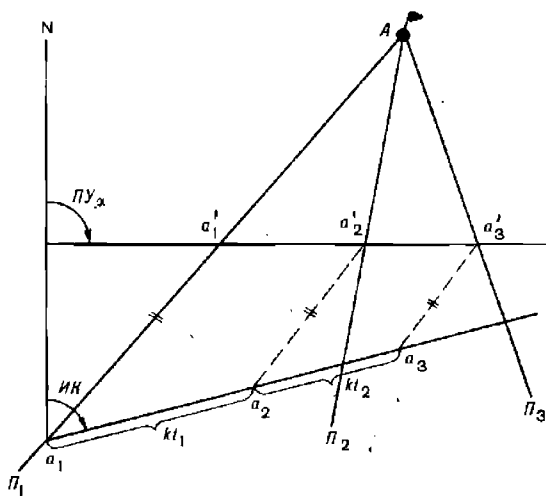


Рис. 12.5.2

Через полученные точки a_2 и a_3 проводятся прямые, параллельные линии первого пеленга до пересечения их с линиями второго и третьего пеленгов в точках a'_2 и a'_3 соответственно. Направление прямой $a'_2a'_3$ соответствует направлению линии пути при дрейфе.

Если интервалы времени между пеленгами одинаковы, то одинаковы и соответствующие им пройденные расстояния. В этом случае на линии среднего пеленга (рис. 12.5.3) берется произвольная точка O и через нее проводятся две прямые: одна параллельно первому пеленгу до пересечения с линией третьего пеленга, другая параллельно третьему пеленгу

ленгу до пересечения с линией первого пеленга. Через точки пересечения a_1 и a_3 проводится прямая, направление которой соответствует линии пути при дрейфе.

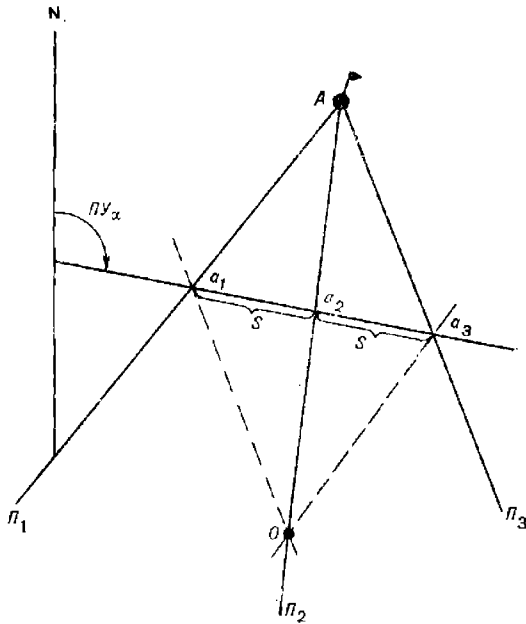


Рис. 12.5.3

Точность способа зависит от точности пеленгования и от точности определения истинного курса.

По курсовым углам на ориентир. Сущность способа состоит в следующем (рис. 12.5.4). При следовании корабля неизменным курсом

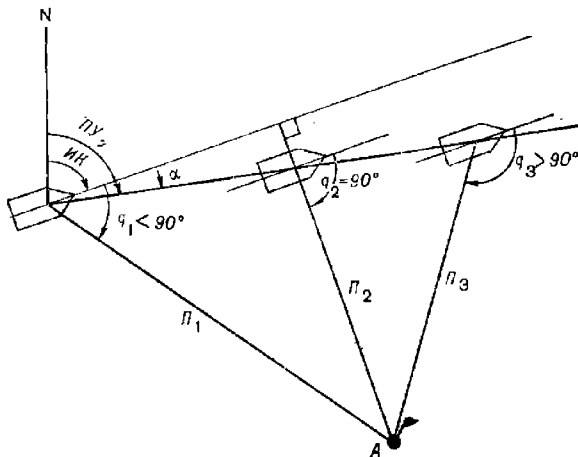


Рис. 12.5.4

с постоянной скоростью производится измерение трех пеленгов на ориентир: первый пеленг P_1 измеряется на курсовом угле $q_1 < 90^\circ$, второй P_2 — в момент траверза, а третий P_3 — на курсовом угле $q_3 > 90^\circ$. По секундомеру измеряются интервалы $t_{\text{тр}}$ между первым и траверсным пеленгами и t — между первым и третьим пеленгами. Угол дрейфа рассчитывается по формуле:

$$\alpha = 57,3 \left[\frac{t_{\text{тр}}}{t} (\text{tg } q_1 - \text{tg } q_3) \div \text{tg } q_3 \right],$$

здесь

$$q_1 = ИП_1 - ИК;$$

$$q_3 = ИП_3 - ИК.$$

Точность данного способа не зависит от постоянных погрешностей пеленгования и курса, так как в расчетах используются их разности — курсовые углы.

По кильватерной струе

Способ относится к числу приближенных, но наиболее простых. Он может использоваться всякий раз, когда на поверхности воды четко различается кильватерная струя, т. е. след пути корабля. Поэтому, пеленгуя ее осевую линию, можно рассчитать угол дрейфа

$$\alpha = ИП_{\text{сп}} \pm 180^\circ - ИК.$$

Для уменьшения погрешности определения угла дрейфа за счет несовершенства поста пеленгования и кормового среза (основания кильватерной струи) пеленгуется наиболее удаленная часть кильватерной струи.

Вычислением по формуле Н. Н. Матусевича

Советский ученый вице-адмирал Н. Н. Матусевич на основе анализа сил, вызывающих дрейф корабля, вывел приближенную формулу, определяющую зависимость угла дрейфа α от условий плавания и конструктивных особенностей корабля

$$\alpha = K_\alpha \left(\frac{W}{V} \right)^2 \sin q, \quad (12.5.2)$$

где K_α — коэффициент дрейфа данного корабля;

V — скорость корабля;

q — курсовой угол кажущегося ветра;

W — скорость кажущегося ветра.

Коэффициент K_α определяется экспериментально по формуле

$$K_\alpha = \frac{\sum p_i K_{\alpha_i}}{\sum p_i},$$

где K_{α_i} — частное (единичное) значение коэффициента дрейфа, определяемое по углу дрейфа α_i в данных конкретных условиях

$$K_{\alpha_i} = \alpha_{ij} \left(\frac{W}{V} \right)_i^2 \sin q_i;$$

p_i — вес частного угла дрейфа α_i , характеризующий относительную точность его определения.

Приближенно можно принять: при определении угла дрейфа по кильватерной струе $p=1$, по пеленгам на ориентир $p=2$, по пеленгам и расстояниям $p=4$, по курсовым углам $p=5$.

Данный способ дает удовлетворительные результаты для кораблей со слабо развитыми надстройками при отношении скоростей ветра и корабля $W/V \leq 3,5$.

Составление таблицы углов дрейфа и поправок скорости при дрейфе

Применяя любой из рассмотренных способов определения углов дрейфа, следует определять поправки скорости при дрейфе $\Delta V_{др}$ как разность между скоростями по дагу и частоте вращения движителей. Результаты определения углов дрейфа α и поправок скорости $\Delta V_{др} = V_{л} - V_{об}$ для соответствующих скорости корабля, курсового угла и скорости кажущегося ветра следует сводить в таблицы, которыми можно будет пользоваться для выборки величин α и $\Delta V_{др}$ при аналогичных условиях.

Таблицы составляются для различных скоростей кажущегося ветра W через 3—5 м/с по форме, приведенной в табл. 12.5.1. Для ускорения заполнения таблиц можно объединять результаты, полученные на одиотипных кораблях.

Таблица 12.5.1

Таблица углов дрейфа и поправок скорости при дрейфе

Скорость корабля, уз	Курсовой угол кажущегося ветра							
	0°	10°	20°	30°	140°	150°	160°
10								
12								
14								
.....								

Примечание. Наблюдаемые величины записываются в виде дроби: в числителе — угол дрейфа α , в знаменателе — поправка скорости $\Delta V_{др}$ при дрейфе в узлах.

Дрейф с застопоренными машинами

При отсутствии хода (машины застопорены) корабль дрейфует по направлению ветра. При этом направление его диаметральной плоскости относительно направления ветра составляет угол, близкий к прямому.

Скорость дрейфа рассчитывается по формуле

$$v_{др} = K_v W,$$

где K_v — коэффициент дрейфа;
 W — скорость кажущегося ветра.

Коэффициент дрейфа данного корабля определяется опытным путем: по высокоточным наблюдениям или радиолокационным расстояниям при различной силе ветра определяется скорость дрейфа $v_{дрl} = S_{дрl}/t_l$, где $S_{дрl}$ — смещение корабля с застопоренными машинами за интервал времени t_l . Затем по полученным результатам рассчитывается коэффициент дрейфа

$$K_v = \frac{\sum v_{дрl} W_l}{\sum W_l^2}.$$

§ 12.6. ГРАФИЧЕСКОЕ СЧИСЛЕНИЕ С УЧЕТОМ ТЕЧЕНИЯ

Течение представляет собой поступательное перемещение водных масс. Элементами течения являются его направление K_T , выражаемое в градусах, и скорость v_T , выражаемая в узлах.

Направление течения соответствует направлению движения водных масс и обозначается той точкой компаса, к которой из центра картушки движутся водные массы. Например, направление течения 0° означает, что течение направлено на север; течение 225° направлено на SW. Выражение *течение идет из компаса* означает, что радиус, проходящий через отсчет картушки, соответствующий направлению течения, всегда направлен из центра картушки.

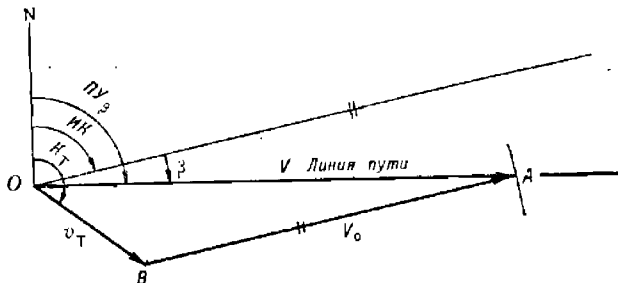


Рис. 12.6.1

В реальных условиях корабль находится под воздействием суммарного течения, обусловленного различными факторами (приливов, ветра и других физических причин). Вектор скорости суммарного течения равен геометрической сумме векторов скоростей приливного, ветрового и постоянного течений. Способы определения элементов суммарного течения при отсутствии абсолютного лага и надежных обсерваций рассмотрены в § 12.7.

Неучет течения при счислении или учет неправильных элементов течения является основной причиной появления ошибок в счисляемых местах корабля, получаемых на основе относительного счисления.

Относительный лаг фиксирует только относительную скорость, т. е. скорость корабля относительно воды. Течение этим лагом не учитывается. Поэтому при относительном счислении необходимо иметь источник информации о течении и учитывать его путем построения *навигационного скоростного треугольника OAB* (рис. 12.6.1), сторонами которого являются векторы относительной V_0 , переносной v_T и путевой V скоростей.

Вектор путевой скорости V направлен по линии OA , называемой в данном случае *линией пути при течении*. По этой линии совершается фактическое перемещение корабля при наличии течения. Линия пути при течении составляет с северной частью истинного меридиана угол, называемый *путевым углом при течении ПУ_р*.

Рулевой удерживает корабль на заданном истинном курсе, поэтому диаметральной плоскости корабля при его перемещении по линии пути остается параллельной линии истинного курса.

Основные задачи, решаемые при учете течения

Определение пути и путевой скорости. Исходными данными для решения этой задачи являются: истинный курс корабля (от системы

курсоуказания), относительная скорость (от относительного лага или по оборотам движителей) и элементы течения (по атласу течений или по иному источнику информации о течении). Путевой угол при течении и путевая скорость определяются на основе построения скоростного треугольника по правилам, изложенным в § 7.4. Аналитический расчет величин V и $ПУ_{\beta}$ производится по формулам (7.4.1) и (7.4.2) и практически реализуется с помощью ПМК по программе, приведенной в § 7.4.

Расчет компасного курса для плавания по заданному пути. Данная задача возникает в случаях, когда при наличии течения требуется направить корабль по намеченной линии пути — оси фарватера, линии створа, рекомендованному курсу и т. п. Исходными данными для решения этой задачи являются: заданная линия пути при течении (путевой угол $ПУ_{\beta}$), относительная скорость корабля V_0 и вектор скорости течения v_T . Компасный курс рассчитывается на основе построения скоростного треугольника (рис. 12.6.1):

— от начальной точки O на карте под углом $ПУ_{\beta}$ к истинному меридиану проводится линия пути при течении и под углом K_T линия течения;

— на линии течения откладывается отрезок OB , равный скорости течения v_T , и из полученной точки B , как из центра, радиусом, равным относительной скорости V_0 , засекается линия пути в точке A . В скоростном треугольнике OAB одна сторона направлена по линии течения, вторая — по линии пути, следовательно, третья сторона BA соответствует направлению линии истинного курса;

— через точку O параллельно линии BA проводится линия истинного курса и измеряется ее направление IK относительно истинного меридиана;

— рассчитывается компасный курс $KK = IK - \Delta K$, который задается рулевому;

— вычисляется угол сноса течением $\beta = ПУ_{\beta} - IK$;

— при необходимости измеряется путевая скорость $V = OA$.

Расчет истинного курса и путевой скорости может быть выполнен аналитически с помощью ПМК по формулам:

$$IK = ПУ_{\beta} - \arcsin \left[\frac{v_T}{V_0} \sin (K_T - ПУ_{\beta}) \right];$$

$$V = V_0 \left[\cos \beta + \frac{v_T}{V_0} \cos (K_T - ПУ_{\beta}) \right].$$

Для расчета используется следующая программа:

```

В/О  FПРГ
ИП2  ИП3  —  Fsin  ИП0  <  ИП1  :  F arcsin  ПС
|—|  ИП3  +  ПА  ИП2  ИП3  —  Fcos  ИП0  <
ИП1  :  ИПС  Fcos  +  ИП1  <  ПВ  С/П  (29 шагов)
F АВТ.

```

Реализация программы:

— в ПМК вводятся исходные данные: v_T П0; V_0 П1; K_T П2; $ПУ_{\beta}$ П3;

— нажимаются клавиши В/О С/П и после обработки программы ответ высвечивается нажатием клавиш: ИПА → IK ; ИПВ → V ; ИПС → β .

Пример. Задано: $ПУ_{\beta} = 50,0^\circ$; $V_0 = 20,0$ уз; течение $340^\circ - 2,0$ уз. Определить IK , V , β .

Решение. В ПМК вводятся исходные данные: 2,0 П0; 20,0 П1; 34,0 П2; 50,0 П3 и нажимаются клавиши В/О С/П.

Ответ. После отработки программы получим: ИПА \rightarrow ИК = 55,392°; ИПВ \rightarrow V = 20,595 уз; ИПС \rightarrow β = -5,392°.

При изменении хотя бы одного из элементов скоростного треугольника (рис. 12.6.1) строится новый треугольник и производится новое определение искомых величин.

Исходное (заданное) и найденное (искомое) направления служат основой для решения следующих типовых задач счисления.

Определение счислимого места на заданный момент. Отыскание счислимого места корабля C на заданный момент времени T_1 сводится к построению навигационного *треугольника перемещений* $C_0C'C$, подобного скоростному треугольнику C_0ba (рис. 12.6.2). Сторонами треугольника являются: $C_0C' = S_0 = V_0(T_1 - T_0)$, $C'C = S_T = v_T(T_1 - T_0)$ и $C_0C = S = V(T_1 - T_0)$.

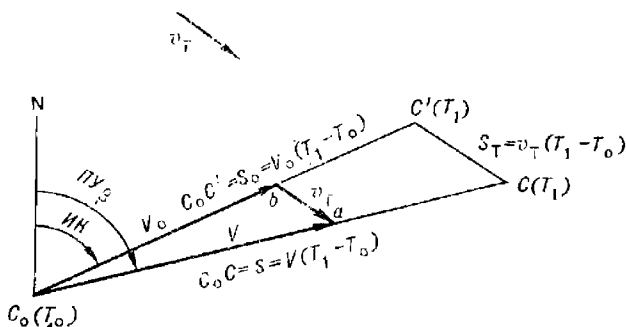


Рис. 12.6.2

Корабль движется по линии пути, поэтому счислимое место, соответствующее времени T_1 , находится в точке C , обозначающей конец вектора действительного плавания $S = V(T_1 - T_0)$. Практически задача решается следующим образом:

— рассчитывается пройденное расстояние $S_0 = (ол_1 - ол_0)k_d$, где $ол_1$ — отсчет лага в заданный момент T_1 , а $ол_0$ — отсчет лага, замеченный в исходной точке C_0 в момент T_0 . Это расстояние откладывается от исходной точки C_0 по линии истинного курса (отрезок C_0C');

— через точку C' проводится линия течения до пересечения с линией пути в точке C , которая и является искомым счислимым местом, соответствующим времени T_1 и отсчету лага $ол_1$.

Треугольник перемещений строится всегда в масштабе карты. Он является частью навигационной прокладки и поэтому не стирается с карты до конца похода.

Предвычисление времени и отсчета лага для заданной счислимой точки. Эта задача решается в случаях, когда требуется определить время и отсчет лага прибытия корабля в назначенную точку (точку поворота, встречи с другим кораблем, заданного рубежа и т. п.). Задача решается в следующей последовательности (рис. 12.6.2):

— через заданную точку C , лежащую всегда на линии пути, проводится линия течения до пересечения с линией истинного курса в точке C' ;

— измеряется расстояние $C_0C' = S_0$;

— рассчитывается интервал плавания $t = S_0/V_0$ и время прибытия в заданную точку $T_1 = T_0 + t$;

— рассчитывается разность отсчетов лага $рол = S_0/k_л$ и ожидаемый отсчет лага в точке C : $ол_1 = ол_0 + рол$, где $ол_0$ — отсчет лага, соответствующий точке C_0 и времени T_0 .

Если требуется знать только время прибытия корабля в заданную точку, то задача решается проще: по скоростному треугольнику определяется путевая скорость V , измеряется расстояние по линии пути $C_0C = S$, рассчитывается интервал плавания $t = S/V$ и время прибытия в назначенную точку $T_1 = T_0 + t$.

Нанесение счислимой точки, находящейся в заданном положении относительно ориентира. В кораблевождении встречаются задачи, связанные с определением счислимго места корабля, соответствующего заданному расстоянию или пеленгу относительно ориентира. Рассмотрим варианты расчета такого счислимго места (рис. 12.6.3):

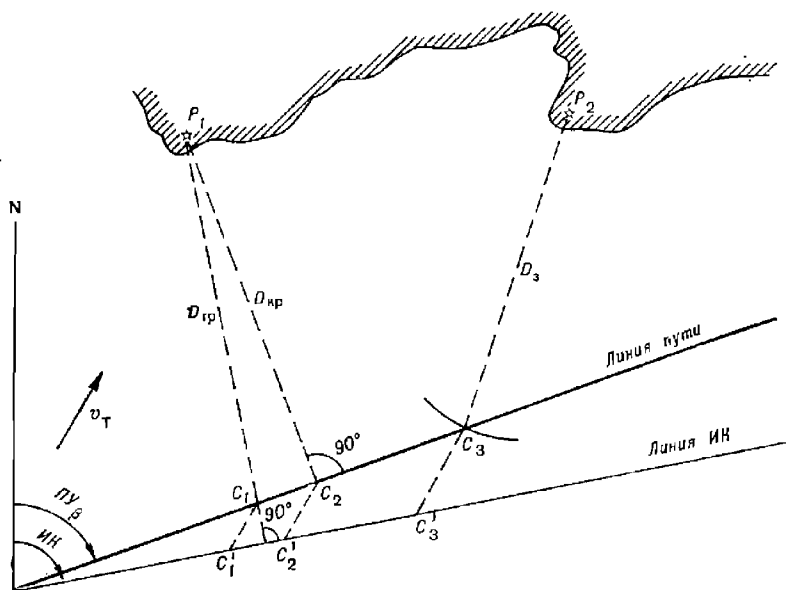


Рис. 12.6.3

а) расчет счислимго места, соответствующего *траверзному курсовому углу* на ориентир:

— вычисляется истинный пеленг траверза $ИП_{тр} = ИК \pm 90^\circ$;

— через ориентир P_1 проводится линия $ОИП_{тр}$ до пересечения с линией пути в точке C_1 . Точка C_1 — искомое счислимго место;

б) расчет счислимго места, соответствующего *кратчайшему расстоянию* до ориентира:

— вычисляется истинный пеленг, по которому расстояние между ориентиром и кораблем будет кратчайшим $ИП_{кр} = ПУ \pm 90^\circ$;

— через ориентир P_1 проводится линия $ОИП_{кр}$ до пересечения с линией пути в точке C_2 . Точка C_2 — искомое счислимго место;

в) расчет счислимго места, находящегося на *заданном расстоянии* $D_з$ до ориентира P_2 :

— из ориентира, как из центра, радиусом, равным заданному расстоянию D_3 , засекается линия пути в точке C_3 . Точка C_3 — искомое счислимое место.

Предвычисление времени и отсчета лага прибытия корабля в полученные точки производится по правилу, изложенному при решении предыдущей задачи.

Оформление счисления на карте. Графическое ручное счисление пути корабля с учетом течения ведется на карте с соблюдением следующих правил (рис. 12.6.4):

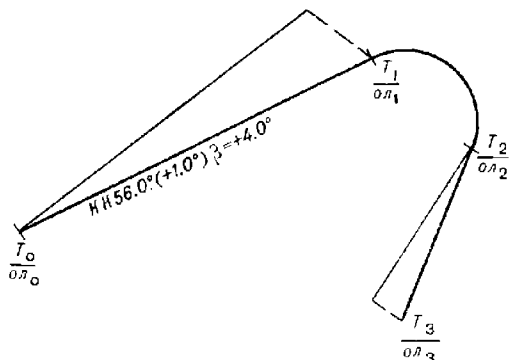


Рис. 12.6.4

— линии истинного курса и течения проводятся более слабым нажимом карандаша, чем линия пути;

— время и отсчет лага подписываются (при отсутствии обсерваций) у счислимого места на линии пути;

— вдоль линии пути делается надпись компасного курса, поправки компаса и угла сноса, например, $KK\ 56,0^\circ (+1,0^\circ)\ \beta = +4,0^\circ$;

— каждому счислимому месту на карте должен соответствовать свой треугольник перемещений; скоростные треугольники со сторонами, превышающими соответствующие стороны треугольника перемещений, после построения последнего с карты стираются;

— при изменении хотя бы одного из элементов KK , ΔK , V_0 , K_T , v_T , $ПУ_\beta$ на карте строится новый треугольник перемещений и делается новая надпись вдоль линии пути.

При счислении пути корабля с учетом течения на левой странице навигационного журнала в графе «Поправка на дрейф или течение» записывается угол сноса со своим знаком, а в графе «Путь» — путевой угол при течения, равный алгебраической сумме $ПУ_\beta = KK + \Delta K + \beta$.

На правой странице навигационного журнала записывается время начала учета течения, элементы течения и источник информации об элементах течения. Запись повторяется при изменении направления или скорости течения. Прекращение учета течения также фиксируется на правой странице.

Совместный учет дрейфа и течения

При совместном учете дрейфа и течения треугольник скоростей OAB строится не относительно линии истинного курса, а относительно линии пути при дрейфе (рис. 12.6.5), т. е. направления сторон треугольника скоростей совпадают с направлениями линии пути при дрейфе, линии течения и линии пути при дрейфе и течения.

Для расчета пути и путевой скорости сначала учитывается дрейф, а затем течение. При этом суммарный угол сноса c складывается из алгебраической суммы угла дрейфа и угла сноса течением, т. е. $c = \alpha + \beta$.

Для расчета компасного курса при плавании по заданной линии пути сначала определяется линия пути при дрейфе (рис. 12.6.5 — линия, параллельная направлению AB), т. е. сначала учитывается течение, а затем угол дрейфа. Компасный курс будет равен $KK = ПУ_{\alpha} - \alpha - \Delta K$.

Счислимые места, соответствующие траверзу, кратчайшему или заданному расстоянию, находятся так же, как и при учете одного течения.

На карте вдоль линии пути делается надпись с указанием суммарного угла сноса, например, $KK 65,0^{\circ} (+1,0^{\circ}) c = +6,0^{\circ}$. Этот же угол записывается в графу «Поправка на дрейф или течение» навигационного журнала, а в примечании указываются значения α и β .

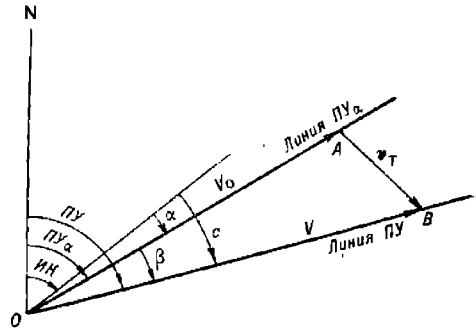


Рис. 12.6.5

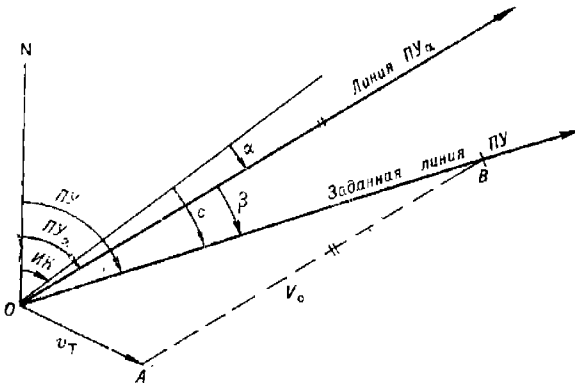


Рис. 12.6.6

§ 12.7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СУММАРНОГО ТЕЧЕНИЯ

При плавании в районе с различными видами течений учитывается суммарное течение v_T , составными частями которого являются приливное ($v_{Tп}$), ветровое ($v_{Tв}$) и постоянное ($v_{Tо}$) течения. Вектор скорости суммарного течения складывается из геометрической суммы векторов $\vec{v}_{Tп}$, $\vec{v}_{Tв}$ и $\vec{v}_{Tо}$.

Рассмотрим способы определения элементов суммарного течения при отсутствии абсолютного лага и надежных обсерваций.

Приливные течения

Приливные течения изменяются в соответствии с цикличностью приливов. Период их изменения имеет суточный или полусуточный характер. Скорость приливных течений уменьшается по мере удаления от береговой линии. В открытом море эти течения приобретают вращательный характер и существенно ослабевают. Элементы приливных течений непрерывно изменяются, поэтому их рассчитывают через каждый час по атласу течений, по таблицам течений или с помощью таблиц, приведенных на некоторых путевых картах.

В атласах течений приводятся схемы приливных течений для определенного района плавания. Каждая схема соответствует своему водному часу, т. е. времени в часах, отсчитываемому в ту и другую сторону от момента наступления полной воды в основном пункте, относительно которого произведены расчеты в атласе.

Водное время в часах, соответствующее судовому времени T_c , рассчитывается как алгебраическая разность этого судового времени и судового времени наступления полной воды $T_{пв}$, т. е. $ВЧ = T_c - T_{пв}$. Если в полученной разности число минут меньше тридцати, то они отбрасываются, если больше тридцати, то абсолютное значение водного часа увеличивается на единицу.

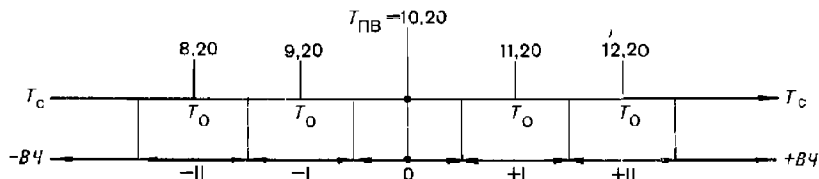


Рис. 12.7.1

Соответствие судового времени водным часам удобно изображать в виде схемы водного времени. На рис. 12.7.1 показана такая схема, соответствующая $T_{пв} = 10$ ч 20 мин.

Определение направления и скорости приливных течений по атласам течений производится в следующем порядке:

- по МАЕ определяются даты сизигии $D_{сиз}$ (новолуния или полнолуния) и квадратуры $D_{кв}$ (1-й или 3-й четверти), ближайшие к заданной дате D , на которую нужно определить течение, так чтобы она находилась между ними;

- по Таблицам приливов для района плавания определяется судовое время наступления полной воды $T_{пв}$ в основном пункте на заданную дату;

- строится схема водного времени;

- по заданному судовому времени начала учета течения с помощью схемы водного времени определяется водный час и судовое время его середины T_o . Например, судовое время начала учета течения $T_c = 8$ ч 00 мин. этому времени на схеме (см. рис. 12.7.1) соответствуют $ВЧ = -II$ и $T_o = 8$ ч 20 мин;

- на момент времени T_o с карты снимаются счислимые координаты и по ним наносится точка на ту схему атласа течений, которая соответствует полученному водному часу;

- ближайшая к счислимому месту корабля стрелка схемы течений укажет направление течения и его скорость в сизигию $v_{сиз}$ и квадратуру $v_{кв}$;

— находится скорость течения на заданную дату: если $D = D_{\text{сиз}} \pm 2$, то $v_{\text{Тп}} = v_{\text{сиз}}$; если $D = D_{\text{кв}} \pm 2$, то $v_{\text{Тп}} = v_{\text{кв}}$; в остальных (промежуточных) случаях принимают $v_{\text{Тп}} = 0,5 (v_{\text{сиз}} + v_{\text{кв}})$ или получают интерполяцией. Найденный вектор скорости течения учитывается только в пределах данного водного часа (в рассматриваемом примере до 8 ч 50 мин);

— затем с карты снимаются координаты счислимого места на судовое время, соответствующее середине следующего водного часа (в нашем примере на $T_0 = 9$ ч 20 мин), и по ним наносится точка на следующую схему течений, обозначающую очередным водным часом (в рассматриваемом примере $ВЧ = -I$), и после этого повторяются все действия, указанные в двух предыдущих пунктах.

С целью систематизации расчетов все полученные данные рекомендуется сводить в рабочую таблицу течений, образец которой приведен в табл. 12.7.1. Элементы приливного течения фиксируются каждый водный час.

Таблица 12.7.1

T_c	07.50— 08.50	08.50— 09.50	09.50— 10.50	10.50— 11.50	11.50— 12.50
<i>ВЧ</i>	—II	—I	0	+I	+II
$v_{\text{Тп}}$					
$v_{\text{Тв}}$					
$v_{\text{Тo}}$					
$v_{\text{Т}}$					

Примечание. В некоторых атласах течений за нулевой момент отсчета времени принимается не момент наступления полной воды в основном пункте, а момент кульминации Луны на меридиане Гринвича, и счет ведется по шкале лунного времени в лунных часах. Расчет аналогичен изложенному выше и подробно пояснен в соответствующих атласах течений.

Таблицы течений составляются для районов с сильными приливными течениями — для проливов и прибрежных участков моря. В них приводятся элементы приливных течений на каждый четный час суток.

Расчет приливных течений по таблицам течений производится следующим образом:

— по дате (число, месяц, год) из специальной таблицы «Астрономические параметры N и C для входа в таблицу течений» выбираются вспомогательные величины N и C ;

— по N и времени T_0 из таблицы выбираются направление приливного течения $K_{\text{Тп}}$ и табличное значение скорости течения $v_{\text{таб}}$;

— рассчитывается скорость действующего течения $v_{\text{Тп}} = Cv_{\text{таб}}$.

На некоторых планах и путевых картах приводятся сведения о приливных течениях в виде таблиц, помещаемых на свободном месте карты, или в виде условных обозначений, которые наносятся на соответствующих местах карты.

Сведения о приливных течениях в таблицах относятся к определенным точкам (A, B, C, \dots), указанным на карте и в таблицах. Примером такой таблицы является табл. 12.7.2. На карте в этом случае указывается прикладной час порта (ПЧП), т. е. средний интервал времени между кульминацией Луны и моментом наступления полной воды в основном пункте. Пользуясь этой величиной, можно приблизительно вычислить время наступления полной воды (сердину нулевого водного часа), не прибегая к Таблицам приливов,

$$T_{\text{пв}} = T_{\text{м}} + \text{ПЧП} \pm (N - \lambda) \frac{E}{W}, \quad (12.7.1)$$

где $T_{\text{м}}$ — среднее время кульминации Луны (определяется по МАЕ);
 N — номер часового пояса;
 λ — долгота места.

Таблица 12.7.2

$A. \varphi = 50^{\circ}58,0' N, \lambda = 1^{\circ}27,0' W$

Водный час (основной пункт Брест)	Элементы течения		
	Направление	Скорость, уз	
		в сизигию	в квадратуру
—VI	206°	1,7	1,0
—V	204	1,5	1,4
—IV	208	1,7	1,5
—III	209	2,1	1,6
—II	221	2,5	1,8
—I	17	2,8	1,9
0 (полная вода)	26°	2,8	1,9
+I	28°	2,6	1,8
+II	30	2,1	1,5
+III	33	1,8	1,2
+IV	28	0,8	0,4
+V	214	1,4	0,4
+VI	209	1,9	1,0

Аргументом для входа в таблицу являются водные часы, т. е. интервалы времени от момента наступления полной воды в основном пункте, указанном на карте.

Элементы приливных течений определяются следующим образом:
 — рассчитывается по Таблицам приливов или по формуле (12.7.1) время наступления полной воды в основном пункте $T_{\text{пв}}$;

— находится водный час $ВЧ = T_c - T_{\text{пв}}$, где T_c — судовое время, на которое определяются элементы течения;

— по возрасту Луны определяется характер течения: сизигийное, квадратурное или промежуточное;

— из таблицы на карте, составленной для точки, расположенной вблизи счислимого места корабля, по $ВЧ$ и характеру течения выбираются его направление и скорость; для промежуточного течения ско-

рость будет равна среднему арифметическому из двух значений, приведенных в таблице.

Элементы течения для точек, расположенных между точками, указанными на карте, вычисляют путем интерполяции.

Ветровые течения

Ветровое течение является следствием воздействия ветра на водную поверхность. Оно наблюдается при значительных ветрах, длительное время дующих в одном направлении. Время развития ветрового течения зависит от глубины моря и колеблется в пределах от 6 до 20 ч. Направление ветрового течения не совпадает с направлением ветра. В северном полушарии под влиянием силы Кориолиса оно отклоняется вправо от направления ветра, в южном полушарии — влево. Время затухания ветрового течения примерно равно времени его развития. Элементы ветрового течения изменяются с глубиной. На глубине свыше 100 м скорость ветрового течения практически равна нулю.

Ветровое течение определяется по атласу течений или рассчитывается по формулам. В атласах течений приводятся схемы ветрового течения для различных типов полей ветра (различных типов барических образований) и для различных глубин. Тип поля ветра сообщается в прогнозе погоды или определяется по синоптической карте. На схему ветрового течения, соответствующую данному типу поля ветра, наносится счислимое место корабля, и по близлежащей стрелке, изображенной на схеме, определяются направление и скорость ветрового течения.

При отсутствии атласа течений скорость поверхностного ветрового течения $v_{T_в}$ в узлах рассчитывается по формуле

$$v_{T_в} = 0,136 \sqrt{\frac{U}{\sin \varphi}}, \quad (12.7.2)$$

где U — скорость истинного ветра, м/с;
 φ — широта места.

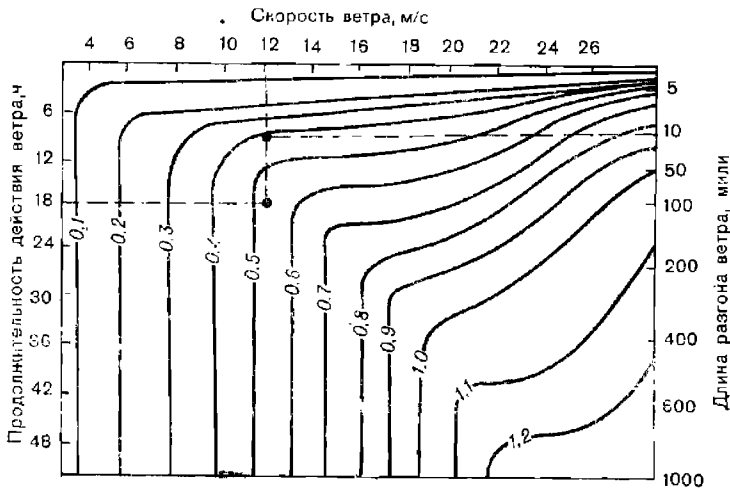


Рис. 12.7.2

Угол отклонения поверхностного ветрового течения от направления ветра K_u в районах с глубинами, превышающими 50 м, составляет

примерно 45° , т. е. направление поверхностного течения рассчитывается по формуле

$$K_{T_B} = K_U \pm 180^\circ \pm 45^\circ_{S^N}. \quad (12.7.3)$$

В мелководных районах с глубинами менее 50 м угол отклонения принимается равным $20-25^\circ$.

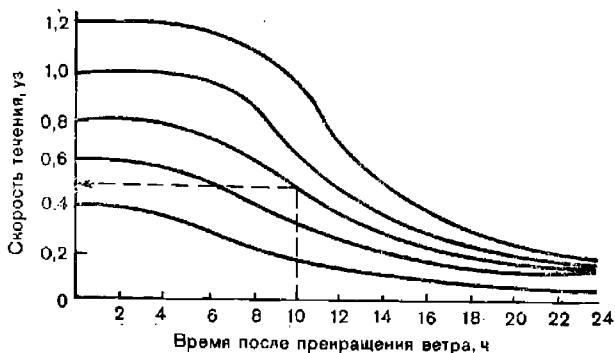


Рис. 12.7.3

Скорость поверхностного ветрового течения (в узлах) по длине разгона ветра, скорости ветра и продолжительности его действия можно определить с помощью номограммы, представленной на рис. 12.7.2. Остаточное ветровое течение с учетом его затухания можно определить по номограмме, представленной на рис. 12.7.3.

Пример. Корабль находится в 10 милях от берега. Ветер с берега 12 м/с наблюдается в течение 18 ч. Определить скорость ветрового течения по номограмме.

Решение:

- по продолжительности действия ветра 18 ч (левая шкала рис. 12.7.2) и по скорости ветра 12 м/с (верхняя шкала) определяется скорость ветрового течения 0,53 уз;
- по длине разгона 10 миль (правая шкала) и по скорости ветра 12 м/с определяется скорость ветрового течения 0,4 уз.

В расчет принимается меньшая из найденных скоростей, т. е. $v_{T_B} = 0,4$ уз.

Пример. В районе плавания при установившейся силе ветра учитывалось ветровое течение 0,8 уз. Определить скорость ветрового течения через 10 ч после прекращения ветра.

Решение. По номограмме (рис. 12.7.3) в пересечении кривой 0,8 уз и ординаты 10 ч находим абсциссу $v_{T_B} = 0,5$ уз.

По мере увеличения глубины ветровое течение теряет свою скорость и изменяет направление. На глубине h скорость ветрового течения v'_{T_B} (в узлах) и его направление K'_{T_B} (в градусах) рассчитываются по формулам:

$$\left. \begin{aligned} \lg v'_{T_B} &= \lg v_{T_B} - 0,0045 \frac{h}{v_{T_B}}; \\ K'_{T_B} &= K_{T_B} \pm 0,6 \frac{h}{v_{T_B}}, \end{aligned} \right\} \quad (12.7.4)$$

где знак *плюс* берется при плавании в северном полушарии, знак *минус* — в южном.

Скорости ветровых течений на различных глубинах (в узлах) и углы их отклонения от направления поверхностного ветрового течения приведены в табл. 12.7.3.

Таблица 12.7.3

Скорости и углы отклонений ветровых течений на глубинах

Глубина h , м	Скорость поверхностного течения $v_{Тв}$, уз				
	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
20	0,32 (30°)	0,48 (20°)	0,64 (15°)	0,8 (12°)	0,96 (10°)
40	0,24 (60°)	0,36 (40°)	0,48 (30°)	0,6 (24°)	0,72 (20°)
60	0,16 (90°)	0,24 (60°)	0,32 (45°)	0,4 (36°)	0,48 (30°)
80	0,12 (120°)	0,18 (80°)	0,24 (60°)	0,3 (48°)	0,36 (40°)
100	0,08 (150°)	0,12 (100°)	0,16 (75°)	0,2 (60°)	0,24 (50°)

Пример. Вычислить ветровое течение в широте 30° N на глубине 60 м при ветре 60° — 15 м/с.

Решение:

— определяются элементы поверхностного ветрового течения по формулам (12.7.2) и (12.7.3):

$$v_{Тв} = 0,136 \sqrt{\frac{15}{\sin 30^\circ}} = 0,75 \text{ уз}; \quad K_{Тв} = 60^\circ + 160^\circ + 45^\circ = 285^\circ;$$

— по табл. 12.7.3 для значений $h = 60$ м и $v_{Тв} = 0,75$ уз $\approx 0,8$ уз определяются скорость ветрового течения на глубине 60 м $v'_{Тв} = 0,32$ уз и угол отклонения +45°;

— рассчитывается направление ветрового течения на глубине 60 м: $K'_{Тв} = 285^\circ + 45^\circ = 330^\circ$.

Определенный по атласу течений или вычисленный вектор скорости ветрового течения записывается в соответствующую строку рабочей таблицы (табл. 12.7.1).

Постоянные течения

Постоянные течения определяются по схеме постоянных течений в атласах течений. Для этого по координатам места корабля на схему наносится точка, и ближайшая к этой точке стрелка укажет вероятнейшее направление и скорость постоянного течения.

Элементы постоянного течения фиксируются в соответствующей строке рабочей таблицы (табл. 12.7.1).

После определения приливных, ветрового и постоянного течений производится геометрическое суммирование их векторов скоростей и в результате получается вектор скорости суммарного течения. Этот вектор рассчитывается на средний момент каждого водного часа. В некоторых атласах течений приводятся сразу элементы суммарного течения.

При счислении пути корабля течение учитывается так, как это было изложено в § 12.6. В момент времени, соответствующий началу каждого нового водного часа, учитываются новые элементы суммарного течения.

Если корабль маневрирует в районе, свободном от навигационных опасностей, то учет суммарного течения может быть произведен после маневрирования сразу за все время маневрирования.

§ 12.8. ГРАФИЧЕСКОЕ АВТОМАТИЧЕСКОЕ СЧИСЛЕНИЕ

Графическое автоматическое счисление пути корабля осуществляется с помощью автопрокладчиков. Выработанные приборами элементы счисления управляют исполнительными двигателями каретки

с карандашом автопрокладчика. Эта каретка перемещается по навигационной карте пропорционально пройденному кораблем расстоянию по меридиану S_N в милях и по параллели S_E в экваториальных милях:

$$\Delta\varphi' = S_N M_T; \quad \Delta\lambda' = S_E M_T,$$

где M_T — текущий масштаб, соответствующий частному масштабу карты в данной точке в широте φ_T ,

$$M_T = M_{T,п} \frac{\sec \varphi_T}{\sec \varphi_{T,п}},$$

где $M_{T,п}$ — масштаб по главной параллели карты $\varphi_{T,п}$.

Учет поправок гирокомпаса и лага, от которых работает автопрокладчик, производится путем ввода их в корректор автопрокладчика.

При работе автопрокладчика от относительного лага угол сноса течением β рассчитывается аналитически по одной из формул:

$$\left. \begin{aligned} \beta &= \operatorname{arctg} \frac{v_T \sin(K_T - ИК)}{V_0 + v_T \cos(K_T - ИК)}; \\ \beta &= \operatorname{arcsin} \frac{v_T \sin(K_T - ПУ_\beta)}{V_0}. \end{aligned} \right\} \quad (12.8.1)$$

Первая формула используется при известном истинном курсе, вторая при известном $ПУ_\beta$. Угол сноса течением β , а также угол дрейфа α вводятся как поправки к курсу.

Изменение скорости за счет сноса учитывается в виде дополнительной поправки скорости ΔV_T (в процентах)

$$\Delta V_T = (k_T - 1) 100, \quad (12.8.2)$$

где k_T — коэффициент течения, определяемый по формуле

$$k_T = \cos \beta + \frac{v_T}{V_0} \cos(K_T - ПУ_\beta). \quad (12.8.3)$$

При подготовке автопрокладчика к работе на его планшете устанавливаются карты; в намеченную исходную точку автоматического счисления ставится каретка с карандашом и светящимся перекрестием (для верхней карты). Вводятся широта исходной точки, широта главной параллели, масштаб карты по главной параллели и поправки направления ΔK в градусах и скорости ΔV в процентах:

$$\Delta K = \Delta GK + \alpha + \beta;$$

$$\Delta V = \Delta \lambda + \Delta V_T.$$

Скорость корабля может вводиться вручную $V = V_0 k_T$.

При прохождении корабля через заранее намеченную исходную точку производится включение планшета автопрокладчика и в дальнейшем светящееся перекрестие будет непрерывно указывать числимое место корабля на верхней карте, а карандаш будет вычерчивать линию пути корабля на нижней карте.

Корректурa поправок курса и скорости производится по мере их изменения. Угол дрейфа и угол сноса течением изменяются при любом изменении курса или скорости, поэтому поправки на дрейф и течение вводятся при каждом изменении элементов счисления.

Корректурa числимого места производится на основе обсерваций: каретка планшета вручную или автоматически смещается на величину невязки. После каждой обсервации производится также корректурa указателей числимых координат.

Расхождение счислимого места графического ручного счисления и светящегося перекрестия на величину, превышающую графические погрешности ручной прокладки и погрешности работы автопрокладчика, является свидетельством наличия ошибок в ручном счислении или несоответствия введенных в автопрокладчик поправок тем значениям, которые учитывает штурман при ручной прокладке.

§ 12.9. АНАЛИТИЧЕСКОЕ СЧИСЛЕНИЕ

Аналитическое ручное счисление

Аналитическое ручное счисление позволяет по элементам движения корабля и по координатам исходной точки рассчитать счислимые координаты на заданный момент времени. Поэтому этот вид счисления называется также *счислением координат*.

Аналитическое ручное счисление чаще всего применяется для предупреждения промахов при ведении прокладки на картах-сетках и для повышения точности счисления при использовании мелкомасштабных карт. Аналитическим способом рассчитываются также счислимые координаты на момент измерения второй высоты Солнца при производстве астронавигационной обсервации.

Аналитическое ручное счисление может быть табличным, когда задачи счисления решаются с помощью таблиц, и автоматизированным, когда решение осуществляется путем ручного ввода исходных данных задачи в электронную вычислительную машину (ПМК, «Слика» и др.).

Сущность аналитического ручного счисления состоит в вычислении приращений к исходным координатам, обусловленных движением корабля,

$$\Delta\varphi = f_1(PY, S) \text{ и } \Delta\lambda = f_2(PY, S),$$

с помощью которых по формулам (1.4.2) определяются счислимые координаты на заданный момент времени.

При плавании одним курсом (простое счисление) расчет счислимых координат на заданный момент времени производится в следующей последовательности:

— по величине направления PY_α (при отсутствии дрейфа по ИК) и по пройденному расстоянию S в милях рассчитываются разность широт $\Delta\varphi$ и отстояние ω (длина некоторой промежуточной параллели между меридианами начальной точки и точки конца вектора \vec{S} , выраженная в морских милях), соответствующие перемещению корабля по линии $PY_\alpha = ИК + \alpha$:

$$\left. \begin{aligned} \Delta\varphi &= S \cos(ИК + \alpha); \\ \omega &= S \sin(ИК + \alpha). \end{aligned} \right\} \quad (12.9.1)$$

где $S = \text{рол} \cdot k_\lambda$.

Формулы (12.9.1) решаются с учетом знаков тригонометрических функций с помощью табл. 24 МТ-75 или на ПМК;

— аналогичным образом рассчитываются приращения $\Delta\varphi_\beta$ и ω_β , обусловленные переносом движением корабля за счет течения:

$$\left. \begin{aligned} \Delta\varphi_\beta &= S_T \cos K_T = v_T t \cos K_T; \\ \omega_\beta &= S_T \sin K_T = v_T t \sin K_T. \end{aligned} \right\} \quad (12.9.2)$$

где t — время плавания с учетом данных элементов течения K_T и v_T ;

— рассчитывается средняя широта

$$\varphi_{\text{ср}} = \varphi_0 + 0,5(\Delta\varphi + \Delta\varphi_{\beta}),$$

где φ_0 — широта исходной точки;

— с помощью табл. 25-6 МТ-75 определяются коэффициенты f и g , учитывающие сферичность Земли;

— рассчитывается широта конечной точки

$$\varphi = \varphi_0 + (\Delta\varphi + \Delta\varphi_{\beta}) \left(1 + \frac{f}{100}\right); \quad (12.9.3)$$

— определяется разность долгот без учета сферичности Земли

$$\Delta\lambda_{\text{ш}} = (\omega + \omega_{\beta}) \sec \varphi_{\text{ср}}. \quad (12.9.4)$$

Это значение может быть найдено с помощью табл. 25-а МТ-75 или вычислено на ПМК;

— рассчитывается долгота конечной точки

$$\lambda = \lambda_0 + \Delta\lambda_{\text{ш}} \left(1 + \frac{g}{100}\right), \quad (12.9.5)$$

где λ_0 — долгота исходной точки.

Пример. Корабль закончил поворот в точке $\varphi_0 = 59^{\circ}48,5' \text{ N}$, $\lambda_0 = 2^{\circ}56,0' \text{ W}$ и лег на $KK = 312,0^{\circ}$ ($\Delta GK = -1,0^{\circ}$; $\alpha = +2,0^{\circ}$). Определить координаты точки начала поворота на новый курс, если данным курсом корабль в течение 2,5 ч прошел 40,8 мили, учитывая течение $60^{\circ} - 1,2$ уз.

Решение:

— по $S = 40,8$ и $ПУ_{\alpha} = 313,0^{\circ}$ с помощью табл. 24 МТ-75 определяются $\Delta\varphi = +27,69'$; $\omega = -29,69'$;

— рассчитывается $S_T = 1,2 \cdot 2,5 = 3,0$ мили;

— по $S_T = 3,0$ и $K_T = 60^{\circ}$ с помощью табл. 24 МТ-75 определяются $\Delta\varphi_{\beta} = +1,5'$; $\omega_{\beta} = +2,6'$;

— рассчитывается $\varphi_{\text{ср}} = +59^{\circ}48,5' + 0,5(27,69' + 1,5') = +60^{\circ}03,1' \approx 60,1^{\circ}$;

— по $\varphi_{\text{ср}} = 60,1^{\circ}$ и $(\Delta\varphi + \Delta\varphi_{\beta}) = 29,2'$ из табл. 25-6 МТ-75 выбираются коэффициенты $f = -0,26$; $g = -0,44$;

— рассчитывается искомая широта $\varphi = +59^{\circ}48,5' + (27,69' + 1,5')(1 - 0,0026) = +60^{\circ}17,6'$;

— по $\omega + \omega_{\beta} = -29,69' + 2,6' = -27,09'$ и $\varphi_{\text{ср}} = 60,1^{\circ}$ с помощью табл. 25-а МТ-75 определяется $\Delta\lambda_{\text{ш}} = -54,34'$;

— рассчитывается искомая долгота $\lambda = -2^{\circ}56,0' - 54,34'(1 - 0,0044) = -3^{\circ}50,1'$.

О т в е т: $\varphi = 60^{\circ}17,6' \text{ N}$; $\lambda = 3^{\circ}50,1' \text{ W}$.

Циркуляция при аналитическом ручном счислении учитывается, как плавание по направлению промежуточного курса $K_{\text{ц}} = 0,5(K_1 + K_2)$.

Пройденный путь на циркуляции рассчитывается по приближенной формуле

$$S_{\text{ц}} = 2R_{\text{ц}} \sin \frac{K_2 - K_1}{2},$$

где $R_{\text{ц}}$ — радиус циркуляции;

K_1 и K_2 — старый и новый курс соответственно.

При плавании в широтах, не превышающих 65° , в случаях когда не требуется знать координаты исходной и конечной точек каждого курса (в открытом море, в полигоне боевой подготовки, при наблюдениях по Солнцу), для нахождения координат счислимого места на любой

заданный момент времени может быть использовано составное счисление:

$$\left. \begin{aligned} \varphi &= \varphi_0 + \left(1 + \frac{f}{100}\right) \sum^n \Delta\varphi_i; \\ \lambda &= \lambda_0 + \left(1 + \frac{g}{100}\right) \Delta\lambda_{\text{ш}} \end{aligned} \right\} \quad (12.9.6)$$

или

$$\left. \begin{aligned} \varphi &= \varphi_0 + (1 + 0,005 \cos 2\varphi_{\text{ср}}) \sum^n \Delta\varphi_i; \\ \lambda &= \lambda_0 + \left(1 + \frac{g}{100}\right) \sec \varphi_{\text{ср}} \sum^n \omega_i. \end{aligned} \right\} \quad (12.9.7)$$

Формулы (12.9.6) используются при расчетах с помощью табл. 24, 25-а и 25-б МТ-75, а формулы (12.9.7) — при расчетах с помощью ПМК.

В этих формулах:

$\Delta\varphi_i$ и ω_i — разность широт и отшествие, соответствующие i -му курсу;
 n — общее количество курсов (включая перемещения корабля за счет течения и на циркуляции);

f и g — табличные коэффициенты, учитывающие сфероидичность Земли; определяются по табл. 25-6 по $\varphi_{\text{ср}}$ и $\sum \Delta\varphi_i$:

$$\varphi_{\text{ср}} = \varphi_0 + 0,5 \sum^n \Delta\varphi_i; \quad \Delta\lambda_{\text{ш}} = \sec \varphi_{\text{ср}} \sum^n \omega_i$$

($\Delta\lambda_{\text{ш}}$ при расчетах с помощью таблиц определяется по табл. 25-а).

Если длина каждого курса не превышает 100 миль, то при плавании в широтах 0—65° коэффициентами f и g , учитывающими сфероидичность Земли, можно пренебречь.

Пример. С 10 ч 00 мин до 12 ч 48 мин корабль маневрировал в полигоне боевой подготовки. Исходная точка маневрирования $\varphi_0 = 62^\circ 12,3' \text{ N}$, $\lambda_0 = 4^\circ 55,0' \text{ W}$. Радиус циркуляции $R_{\text{к}} = 5$ кбт. Течение: с 10 ч 00 мин до 11 ч 30 мин $286^\circ - 1,8$ уз; с 11 ч 30 мин до 12 ч 48 мин $5^\circ - 1,2$ уз. Определить координаты корабля на 12 ч 48 мин по элементам движения, указанным в табл. 12.9.1.

Таблица 12.9.1

Время (скорость)	ИК	α	ПУ $_{\alpha}$	S, милл.	РШ		ОТШ	
					к N	к S	к E	к W
10.00—10.48 ($V=26,62$ уз)	34,0°	+2,0°	36,0°	21,3	17,23'	—	12,52'	—
Циркуляция ($V=1$; $t=1$)	115,0	—	—	1,0	—	0,42'	0,91	—
11.03—11.54 ($V=30,59$ уз)	196,0	-0,5	195,5	26,0	—	25,05	—	6,95'
Циркуляция ($V=0,4$; $t=1$)	218,0	—	—	0,4	—	0,31	—	0,25
12.00—12.48 ($V=31,25$ уз)	240,0	-2,0	238,0	25,0	—	13,25	—	21,20
Плавание за счет течения	286,0	—	—	2,7	0,74	—	—	2,59
	5,0	—	—	1,6	1,59	—	0,14	—
					+19,56'	-39,03'	+13,57'	-30,99'
						+19,56		+13,57
					$\Sigma\Delta\varphi_i = -19,47'$;		$\Sigma\Delta\omega_i = -17,42''$	

Решение. По элементам движения с помощью табл. 24 находим разности широт и отшествия для каждого курса, а также переноса течением, которые заносим в последние графы табл. 12.9.1. Затем по формулам (12.9.6) определяем искомые координаты конечной точки маневрирования φ_n и λ_n , для чего рассчитываем $\varphi_{ср} = +62^\circ 12,3' + 0,5 (-19,47') = 62^\circ 02,56' = 62,04^\circ$.

Из табл. 25-6 МТ-75 по $\varphi_{ср} = 62,04^\circ$ выбирается величина $f = -0,29$ и рассчитывается $\Delta\varphi = \left(1 + \frac{-0,29}{100}\right)(-19,47') = -19,41'$.

$\varphi_0 = +62^\circ 12,3'$	Из табл. 25-а: ОТШ = $-10'$	$\Delta\lambda' = -21,30'$
$\Delta\varphi = -19,41$	" = -7	$\Delta\lambda' = -14,91$
$\varphi_n = +61^\circ 52,89'$	" = $-0,4$	$\Delta\lambda' = -0,85$
	" = $-0,02$	$\Delta\lambda' = -0,04$
		$\Delta\lambda_{ш} = -37,10'$

Из таблицы 25-6 МТ-75 по $\varphi_{ср}$ и $\Delta\varphi$ выбирается величина $g = -0,44$ и рассчитывается $\Delta\lambda = \left(1 + \frac{-0,44}{100}\right)(-37,10') = -36,94'$

$$\begin{aligned} \lambda_0 &= -4^\circ 55,0' \\ \Delta\lambda &= -0\ 36,94 \\ \lambda_n &= -5^\circ 31,94' \end{aligned}$$

О т в е т: $\varphi_n = 61^\circ 52,9' N$; $\lambda_n = 5^\circ 31,9' W$.

При решении задачи составного автоматизированного счисления с помощью ПМК используется следующая программа:

```

В/О  F ПРГ
ИПО  ИП1  ×  ИП2  F cos  ×  ИП6  :  П9  ИПА
П8    2    ×  +  F cos  ИП4  ×  1    +  ПС
ИП9   ×  ИП8  +  ПА  ИП8  ИП9  +  2    :
ИП7   +  F tg  ИП8  2    :  ИП7  +  F tg  :
F ln  ИП3  ×  ИП9  :  ПД  И115  ИПД  F 1/x  ×
—     ИПС  ×  ИП2  F sin  ×  ИПО  ×  ИП1  ×
ИП6   :  ИПВ  +  ПВ  С/П (66 шагов)

```

FAVT.

Реализация программы:

— вводятся исходные данные и константы: φ_0° ПА; λ_0° ПВ; $рол$ ПО; k_n П1; K П2; 57,2958 П3; 0,005 П4; $6,693422 \cdot 10^{-3}$ П5; 60 П6; 45 П7 (если производится предварительный расчет координат, то вместо $рол$ вводится относительная скорость V_0 , а вместо k_n — интервал счисления t в часах);

— нажимаются клавиши В/О С/П и после отработки программы на индикаторе высвечиваются координаты после плавания первым курсом ИПА $\rightarrow \varphi_1^\circ$; ИПВ $\rightarrow \lambda_1^\circ$;

— вводятся данные для второго курса: $рол(V_0)$ ПО; $k_n(t)$ П1; K П2;

— нажимаются клавиши В/О С/П и после отработки программы на индикаторе высвечиваются координаты после плавания вторым курсом ИПА $\rightarrow \varphi_2^\circ$, ИПВ $\rightarrow \lambda_2^\circ$ и т. д.

Снос корабля течением $S_T = v_T t$ учитывается как отдельный курс, направление которого K_T . Плавание на циркуляции учитывается как перемещение корабля по направлению $K_n = K_1 + 0,5(K_2 - K_1)$,

где K_1 и K_2 — старый и новый курсы; величина перемещения $S_{\text{ц}} = 2R_{\text{ц}} \sin [0,5 (K_2 - K_1)]$.

Решение предыдущего примера по указанной программе дает: ИПА $\rightarrow \varphi_n = 61,881409^\circ = 61^\circ 52,88' \text{ N}$; ИПВ $\rightarrow \lambda_n = -5,527646^\circ = -5^\circ 31,66' \text{ W}$.

Аналитическое ручное *автоматизируемое* счисление с помощью ЭКВМ «Спика» производится путем последовательного решения задачи № 15: вычисленные координаты последней точки первого курса становятся исходными для следующего. При этом снос течением учитывается как плавание курсом, равным направлению течения, а пройденное расстояние за счет течения рассчитывается по формуле $S_T = v_T t$, где t — время учета данного течения. Циркуляция учитывается как плавание курсом $K_{\text{ц}} = 0,5 (K_1 + K_2)$ и $S_{\text{ц}} = 2R_{\text{ц}} \sin [(K_2 - K_1)/2]$.

Аналитическое ручное счисление не содержит погрешностей графических построений, но при неучете сферичности Земли отягощено методическими погрешностями:

$$\delta\varphi = 0,005 \Delta\varphi \cos 2\varphi_{\text{cp}}; \quad (12.9.8)$$

$$\delta\lambda = \omega \operatorname{tg} \varphi_{\text{cp}} \sec \varphi_n \sin (\varphi_n - \varphi_{\text{cp}}), \quad (12.9.9)$$

где φ_n — широта промежуточной параллели, т. е. параллели, расположенной между параллелями исходной и заданной точек.

Максимальная погрешность $\delta\varphi$ не превышает 0,5 % от $\Delta\varphi$, а максимальная погрешность $\delta\lambda$ при $\omega = 100$ миль в широтах до 60° не превышает 1 минуты долготы.

Случайные погрешности аналитического счисления определяются так же, как и графического счисления — с помощью коэффициента точности счисления (§ 12.11).

Аналитическое автоматическое счисление

Аналитическое автоматическое счисление производится с помощью навигационных цифровых и аналоговых вычислительных машин (автосчислителей), сопряженных с датчиками курса и относительной или абсолютной скорости корабля.

Расчет счисляемых координат φ , λ на любой заданный момент $T = T_0 + t$, где T_0 — время, соответствующее нахождению корабля в начальной точке с координатами φ_0 и λ_0 , а t — интервал счисления, производится по формулам:

$$\left. \begin{aligned} \varphi &= \varphi_0 + \frac{1}{M} \int_0^t V_N dt; \\ \lambda &= \lambda_0 + \frac{1}{N \cos \varphi} \int_0^t V_E dt, \end{aligned} \right\} \quad (12.9.10)$$

где M и N — радиусы кривизны меридианного сечения земного эллипсоида и сечения первого вертикала соответственно;

V_N и V_E — составляющие абсолютной (путевой) скорости по меридиану и параллели соответственно.

Значения V_N и V_E определяются следующим образом:

а) при счислении с помощью *относительного лага*

$$\left. \begin{aligned} V_N &= V_n (1 + \Delta\lambda) \cos (HK + \alpha) + v_T \cos K_T; \\ V_E &= V_n (1 + \Delta\lambda) \sin (HK + \alpha) + v_T \sin K_T. \end{aligned} \right\} \quad (12.9.11)$$

Относительная скорость $V_{\text{л}}$ в автосчислитель поступает от относительного лага, $ИК$ — от курсоуказателя; поправка лага Δl , угол дрейфа α и элементы суммарного течения v_{T} и K_{T} вводятся вручную; при этом α определяется дрейфометром или выбирается из таблицы дрейфа. Элементы течения определяются по Атласу течений или по наблюдениям;

б) при счислении с помощью *абсолютного лага*

$$\left. \begin{aligned} V_{\text{N}} &= V_x \cos ИК - V_y \sin ИК; \\ V_{\text{E}} &= V_x \sin ИК + V_y \cos ИК, \end{aligned} \right\} \quad (12.9.12)$$

где V_x и V_y — составляющие абсолютной скорости вдоль диаметральной плоскости и по направлению, перпендикулярному диаметральной плоскости;

в) при счислении с помощью *относительного* и *абсолютного лагов* во время дискретного включения последнего определяются:

— вектор скорости сноса

$$v_{\text{сн}} = \sqrt{(V_{\text{N}} - V_{\text{оN}})^2 + (V_{\text{E}} - V_{\text{оE}})^2}, \quad (12.9.13)$$

где $V_{\text{оN}} = V_{\text{о}} \cos ИК$;

$$V_{\text{оE}} = V_{\text{о}} \sin ИК;$$

$V_{\text{о}}$ — относительная скорость;

V_{N} и V_{E} определяются с помощью абсолютного лага по формулам (12.9.12);

— направление сноса

$$K_{\text{сн}} = \arctg \frac{(V_{\text{E}} - V_{\text{оE}})}{(V_{\text{N}} - V_{\text{оN}})}, \quad (12.9.14)$$

здесь $K_{\text{сн}}$ в четвертном счете, номер четверти определяется по знакам числителя и знаменателя.

Рассчитанные по данным абсолютного и относительного лагов элементы суммарного сноса учитываются в дальнейшем при счислении по относительному лагу до очередного включения абсолютного лага.

Элементы движения корабля во всех рассмотренных случаях определяются с помощью следующих алгоритмов:

$$\left. \begin{aligned} ПУ &= \arcsin \frac{V_{\text{E}}}{V} = \arccos \frac{V_{\text{N}}}{V} = \arctg \frac{V_{\text{E}}}{V_{\text{N}}}; \\ V &= \sqrt{V_{\text{N}}^2 + V_{\text{E}}^2}. \end{aligned} \right\} \quad (12.9.15)$$

Угол сноса c при счислении с помощью относительного лага рассчитывается по формуле $c = ПУ - ИК$, а при счислении с помощью абсолютного лага по формуле

$$c = \arctg (V_y / V_x). \quad (12.9.16)$$

В некоторых автоматических системах текущие координаты φ , λ , а также элементы счисления и элементы движения индуцируются на шкалах штурманского пульты и при необходимости транслируются корабельным потребителям в системы автоматизированного управления кораблем и оружием.

§ 12.10. СЧИСЛЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ АБСОЛЮТНОГО ЛАГА

Абсолютный лаг учитывает перемещение корабля относительно поверхности Земли по направлению диаметральной плоскости S_x и по направлению, перпендикулярному диаметральной плоскости S_y , корабля.

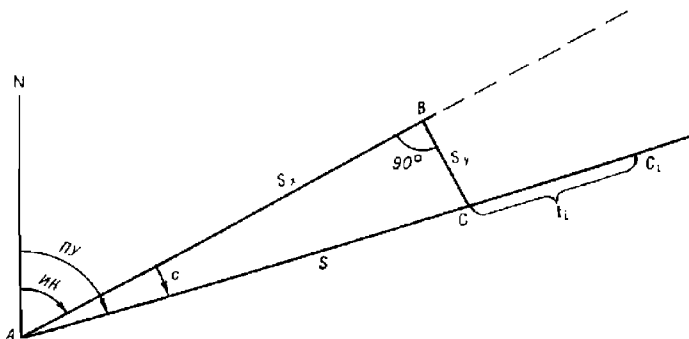


Рис. 12.10.1

Величины S_x и S_y автоматически определяются по показаниям счетчиков пройденного расстояния с учетом поправок абсолютного лага (§ 7.4) или рассчитываются по абсолютным скоростям и времени плавания

$$S_x = V_{xcp} t; \quad S_y = V_{ycp} t.$$

При работе лага в непрерывном режиме графическое ручное счисление ведется следующим образом.

А. Задан истинный курс:

— от исходной точки A (рис. 12.10.1), в которой корабль находился в момент времени T_1 , прокладывается линия истинного курса и на ней откладывается отрезок

$$AB = S_x = V_{xcp} (T_2 - T_1),$$

где T_2 — момент времени, на который отыскивается счислимое место;

— из конца отрезка S_x перпендикулярно ему откладывается вектор $BC = S_y = V_{ycp} (T_2 - T_1)$, при этом если V_y положительная, то вектор S_y направлен в сторону правого борта, если V_y отрицательная, то S_y откладывается в сторону левого борта. Полученная точка C является счислимым местом корабля на момент времени T_2 ;

— проводится прямая $AC = S = V (T_2 - T_1)$ — вектор плавания корабля. Направление этого вектора соответствует путевому углу $ПУ$, а разность $ПУ$ и $ИК$ определяет угол сноса корабля c .

Предвычисление времени прибытия корабля в заданную точку C_i , находящуюся на линии пути, производится по формуле $t_i = T_2 + t_i$, где

$$t_i = CC_i / \sqrt{V_x^2 + V_y^2}.$$

При сопряжении абсолютного лага с ЭВМ элементы движения корабля рассчитываются автоматически по формулам:

$$c = \arctg \frac{V_y}{V_x}; \quad ПУ = ИК + c; \quad S = \sqrt{S_x^2 + S_y^2};$$

$$S_x = \int_{t_1}^{t_2} V_x dt; \quad S_y = \int_{t_1}^{t_2} V_y dt.$$

В этом случае на карте прокладывается осредненная линия пути, а счисляемое место C фиксируется концом отрезка S , откладываемого по линии пути от исходной точки.

Расчет величин c , $ПУ$ и S может быть выполнен также с помощью ПМК по следующей программе:

В/О ФПРГ
 ИП1 ИП0 : F arc tg ПС ИП2 + ПА ИП0 Fx²
 ИП1 Fx² + FV ИП3 × ПВ С/П (18 шагов)
 F АВТ.

Реализация программы:

— в ПМК вводятся исходные данные: V_x П0; V_y П1; ИК П2; t П3;
 — нажимаются клавиши В/О С/П и после отработки программы искомый результат высвечивается нажатием клавиш: ИПА → ПУ; ИПВ → S; ИПС → c.

Пример. С индикатора абсолютного лага сняты отсчеты $V_x = 16,4$ уз; $V_y = -1,02$ уз; ИК = $304,0^\circ$. Определить элементы движения, соответствующие счисляемому месту через 1 ч 36 мин после последней наблюдения.

Решение. В ПМК вводятся исходные данные: 16,4 П0; -1,02 П1; 304,0 П2; 1,6 П3 и нажимаются клавиши В/О С/П.

Ответ: После отработки программы получим: ИПА → ПУ = $300,44^\circ$; ИПВ → S = $26,29$ мили; ИПС → c = $-3,5589^\circ$.

Б. Задана линия пути:

— с началом циркуляции рулевого задается курс, равный заданному ПУ;
 — с приходом корабля на линию ПУ измеряются V_x и V_y ;

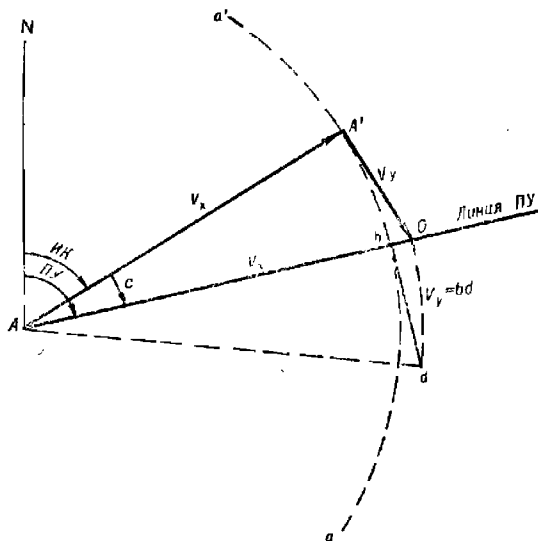


Рис. 12.10.2

— от исходной точки A (рис. 12.10.2) прокладывается заданная линия ПУ;

- из точки A радиусом, равным V_x , проводится дуга окружности aa' ;
- через точку пересечения окружности и линии $ПУ$ (точку b) проводится касательная к окружности (перпендикулярно линии $ПУ$) в сторону, соответствующую знаку величины V_y (в сторону правого борта при знаке *плюс* и в сторону левого борта при знаке *минус*);
- на касательной откладывается значение V_y (отрезок bd);
- радиусом циркуля, равным Ad , на линии $ПУ$ отмечается точка O и из нее радиусом V_y засекается дуга aa' (точка A'). Линия AA' соответствует линии истинного курса;
- измеряется $ИК$ и дается команда на руль о довороте корабля на линию $ИК$;
- при необходимости производится уточнение курса по значениям V_x и V_y , полученным при движении рассчитанным истинным курсом. Автоматически эта же задача решается по формуле

$$ИК = ПУ - \arctg \frac{V_y}{V_x}. \quad (12.10.1)$$

Расчет счислимого места производится, как и в общем случае, путем прокладки по линии пути расстояния S , соответствующего интервалу счисления.

При работе абсолютного лага в дискретном режиме графическое ручное счисление ведется по данным относительного лага с использованием абсолютного лага для дискретного определения вектора скорости суммарного сноса $v_{сн}$.

Графически элементы сноса по данным абсолютного и относительного лагов определяются следующим образом (рис. 12.10.3):

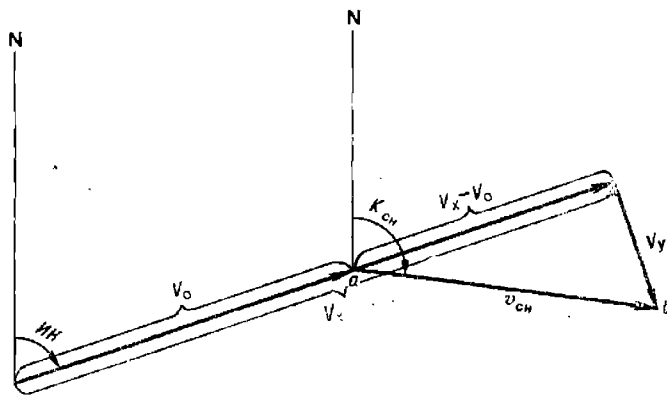


Рис. 12.10.3

- по линии истинного курса откладываются осредненные за несколько циклов значения V_x и V_0 ; при этом относительная скорость в узлах рассчитывается на временном интервале работы лага по формуле $V_0 = 3600 k_d \cdot \text{рол}/t$, где t — время в секундах, соответствующее заданному значению разности отсчетов относительного лага;

- из конца вектора V_x , перпендикулярно ему, откладывается вектор V_y ;

- конец вектора V_0 соединяется с концом вектора V_y ; полученный вектор $ab = v_{сн}$.

Расчет элементов сноса производится по формулам:

$$\left. \begin{aligned} K_{сн} &= ИК + \arctg \frac{V_y}{V_x - V_0}; \\ v_{сн} &= \sqrt{(V_x - V_0)^2 + V_y^2} \end{aligned} \right\} \quad (12.10.2)$$

где $K_{сн}$ — направление сноса.

При $V_x < V_0$ к рассчитанному значению $K_{сн}$ прибавляется 180° .

Средние квадратические погрешности этих величин рассчитываются по формулам:

$$m_{K_{сн}} = \sqrt{m_{ИК}^2 + m_{q_c}^2}; \quad (12.10.3)$$

$$m_{q_c} = \frac{57,3}{v_{сн}^2} \sqrt{(V_x - V_0)^2 m_{V_y}^2 + V_y^2 (m_{V_x}^2 + m_{V_0}^2)}; \quad (12.10.4)$$

$$m_{v_{сн}} = \frac{1}{v_{сн}} \sqrt{(V_x - V_0)^2 (m_{V_x}^2 + m_{V_0}^2) + m_{V_y}^2 V_y^2}. \quad (12.10.5)$$

Определение скоростей с помощью лагов имеет высокую точность, поэтому способ определения элементов сноса по абсолютному и относительному лагам является самым надежным.

При использовании ПМК расчет величин $K_{сн}$, $m_{K_{сн}}$, $v_{сн}$ и $m_{v_{сн}}$ производится по следующей программе:

В/О ФПРГ

ИП1	ИП0	ИП2	—	:	F arctg	ИП3	+	ПА	ИП0
ИП2	—	Fx ²	ИП1	Fx ²	+	F√	ПВ	ИП4	Fx ²
ИП6	Fx ²	+	ИП1	Fx ²	×	ИП0	ИП2	—	ИП5
×	Fx ²	+	ИП8	Fx ²	×	ИПВ	Fx ²	:	ИП7
Fx ²	+	F√	ПС	ИП5	ИП1	×	Fx ²	ИП0	ИП2
—	Fx ²	ИП4	Fx ²	ИП6	Fx ²	+	×	+	F√
ИПВ	:	ПД	С,П	(64 шага)					

ФАВТ.

Реализация программы:

— в ПМК вводятся исходные данные: V_x П0; V_y П1; V_0 П2; ИК П3; m_{V_x} П4; m_{V_y} П5; m_{V_0} П6; $m_{ИК}$ П7; 57,3 П8;

— нажимаются клавиши В/О С/П и после отработки программы нажатием клавиш получим: ИПА → $K_{сн}$; ИПВ → $v_{сн}$; ИПС → $m_{K_{сн}}$; ИПД → $m_{v_{сн}}$. При отрицательной разности $V_x - V_0$ к рассчитанной величине $K_{сн}$ необходимо прибавить 180° .

Пример. Определить элементы сноса и их СКП, если $V_x = 23,658$ уз; $V_y = +2,015$ уз; $V_0 = 26,359$ уз; ИК = $196,0^\circ$; $m_{V_x} = m_{V_y} = 0,01$ уз; $m_{V_0} = 0,04$ уз; $m_{ИК} = 0,5^\circ$.

Решение. В ПМК вводятся исходные данные: 23,658 П0; +2,015 П1; 26,359 П2; 196,0 П3; 0,01 П4; 0,01 П5; 0,04 П6; 0,5 П7; 57,3 П8 и нажимаются клавиши В/О С/П.

Ответ. После отработки программы получим: ИПА → $K_{сн} = 159,276^\circ$. Так как $V_x < V_0$, то $K_{сн} = 159,276^\circ + 180^\circ = 339,276^\circ$; ИПВ → $v_{сн} = 3,369$ уз; ИПС → $m_{K_{сн}} = 1,567^\circ$; ИПД → $m_{v_{сн}} = 0,033$ уз.

Рассчитанные элементы сноса $K_{сн_1}$ и $v_{сн_1}$ учитываются при счислении по относительному лагу до момента очередного включения абсолютного лага (треугольник ABC_1 на рис. 12.10.4). При очередном включении абсолютного лага определяются новые значения элементов сноса $K_{сн_2}$ и $v_{сн_2}$, по которым строится новый навигационный треугольник ABC_2 , в результате чего находится счислимая точка C_2 . Далее предполагается, что изменение вектора сноса с $\vec{v}_{сн_1}$ на $\vec{v}_{сн_2}$ на интервале счисления происходило равномерно, и находится осредненное счислимое место — точка C , принимаемое посередине отрезка C_1C_2 . Она и берется за исходное место для дальнейшего счисления. От точки C ведется счисление с учетом вектора сноса $\vec{v}_{сн}$ до очередного определения элементов сноса.

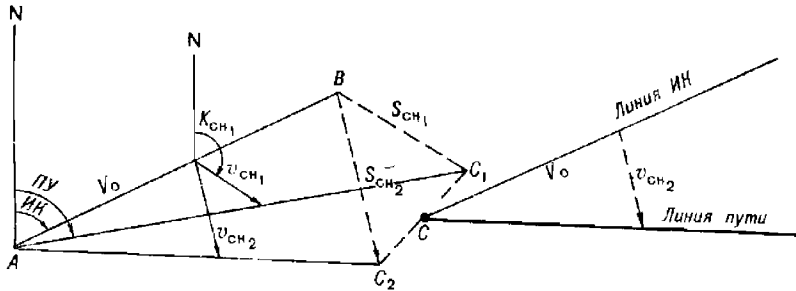


Рис. 12.10.4

Осредненное счислимое место может быть найдено аналитически по формулам:

$$\varphi_c = \varphi_{c_1} + \frac{v_{снN_2} - v_{снN_1}}{2} t; \quad \lambda_c = \lambda_{c_1} + \frac{v_{снE_2} - v_{снE_1}}{2} t \sec \varphi_{ср}, \quad (12.10.6)$$

где $\varphi_{c_1}, \lambda_{c_1}$ — счислимые координаты точки C_1 ;

$v_{снN_1}, v_{снN_2}$ — составляющие векторов сноса по меридиану $v_{снN} = v_{сн} \cos K_{сн}$;

$v_{снE_1}, v_{снE_2}$ — составляющие векторов сноса по параллели $v_{снE} = v_{сн} \sin K_{сн}$;

t — интервал времени между включениями абсолютного лага, ч.

Определяемый с помощью абсолютного и относительного лагов вектор сноса $\vec{v}_{сн}$ для надводного корабля представляет собой сумму двух векторов: вектора скорости течения \vec{v}_T (v_T, K_T) и вектора скорости перемещения корабля под воздействием ветра $\vec{v}_{др}$ ($v_{др} = V_0 \operatorname{tg} \alpha$; $K_{др} = IK \pm 90^\circ$). Если известен один из этих векторов, то другой находится путем геометрического вычитания из суммарного вектора $\vec{v}_{сн}$ известного вектора \vec{v}_T или $\vec{v}_{др}$.

При сопряжении абсолютного лага с вычислительной машиной все приведенные выше расчеты производятся автоматически.

§ 12.11. ТОЧНОСТЬ СЧИСЛЕНИЯ ПУТИ КОРАБЛЯ

Точность счисления пути корабля зависит от точности учитываемых элементов счисления, определяющих линии пути и пройденные по ним расстояния.

Погрешности современных комплексированных систем курсоуказания и лагов сведены к минимуму. Систематические погрешности навигационных систем, по которым ведется счисление, устраняются в результате выверки систем. Остаточные систематические погрешности надежно определяются и учитываются как поправки. Случайные погрешности навигационных систем характеризуются, как правило, малыми величинами. Поэтому основной причиной, вызывающей погрешности в счислении, является неточность знания элементов течения.

При использовании относительных лагов элементы течения определяются по атласам или таблицам течений, а также по результатам обработки серии последовательных обсерваций, полученных относительно навигационных ориентиров.

В атласах и таблицах течений приводятся вероятнейшие элементы течения, которые в силу изменчивости направления и скорости перемещения водных масс могут существенно отличаться от фактических.

Точность определения элементов течения по обсервациям зависит от точности и количества обсерваций и от степени изменчивости течения.

Установлено, что средние квадратические погрешности определения вектора скорости течения по атласам и таблицам течений или по обсервациям достигают $30-90^\circ$ по направлению и $0,2-0,5$ уз по величине.

На фоне этих погрешностей неточности графических построений на карте в большинстве случаев считаются пренебрежимо малыми величинами.

При наличии на корабле относительного и абсолютного лагов элементы течения целесообразно определять путем сравнения векторов относительной и абсолютной скоростей. При этом достигается высокая точность определения направления и скорости течения.

Погрешности элементов счисления проявляются случайно. Следовательно, при отсутствии промахов в счислении случайной является и погрешность счисления.

Зависимость погрешности счисления от времени плавания по счислению характеризуется нестационарным случайным процессом. Это значит, что математическое ожидание и дисперсия погрешностей счисления являются функциями от интервалов счисления (от длительности плавания по счислению).

Экспериментально установлено, что средняя квадратическая погрешность счисления изменяется:

— при интервалах счисления $t \leq 2$ ч по линейному закону

$$M_c(t) = \frac{1}{2^{1-\theta}} K_c t; \quad (12.11.1)$$

— при интервалах счисления $t > 2$ ч по параболическому закону

$$M_c(t) = K_c t^{\theta}, \quad (12.11.2)$$

где $M_c(t)$ — средняя квадратическая погрешность счисления, мили;

t — интервал счисления, ч;

θ — коэффициент, характеризующий степень линейности изменения $M_c(t)$ с течением времени ($0 \leq \theta \leq 1$);

K_c — коэффициент точности счисления, зависящий от района плавания, степени изученности течений и точности их учета, от гидрометеорологических условий плавания, от типа корабля, состава его технических средств навигации и точности учета элементов счисления.

Априорно коэффициенты θ и K_c для районов, в которых отсутствует преобладание систематической составляющей течения, определяются по формулам:

$$\left. \begin{aligned} \theta &= 0,5; \\ K_c &= 1,4 \sqrt{\left(\frac{m_{\text{пв}} V}{57,3}\right)^2 + \left(\frac{m_V V}{100}\right)^2 + \left(2v_T \sin \frac{m_{\text{КТ}}}{2}\right)^2 + m_{\text{вТ}}^2} \end{aligned} \right\} (12.11.3)$$

При $\theta = 0,5$ формулы (12.11.1) и (12.11.2) приобретают вид

$$\left. \begin{aligned} M_c(t) &= 0,7K_c t \text{ (при } t \leq 2 \text{ ч); } \\ M_c(t) &= K_c \sqrt{t} \text{ (при } t > 2 \text{ ч).} \end{aligned} \right\} (12.11.4)$$

Формула (12.11.3) используется также для расчета K_c при корректируемом счислении.

Апостериорно коэффициенты θ и K_c определяются опытным путем по совокупности невязок C_i , соответствующих двум требованиям:

- невязки должны соответствовать интервалам счисления $t > 2$ ч;
- модули невязок должны превышать предельную суммарную погрешность предыдущей и данной обсерваций, т. е.

$$C_i > 2,1 \sqrt{M_{\sigma_{i-1}}^2 + M_{\sigma_i}^2}.$$

Коэффициент точности счисления K_c и коэффициент θ рассчитываются при этом по формулам:

$$\left. \begin{aligned} K_c &= 1,13K; \\ \lg K &= \frac{\sum p_i (\lg t_i)^2 \sum p_i \lg C_i - \sum p_i \lg t_i \sum p_i \lg t_i \lg C_i}{\sum p_i \sum p_i (\lg t_i)^2 - (\sum p_i \lg t_i)^2}; \\ \theta &= \frac{\sum p_i \sum p_i \lg t_i \lg C_i - \sum p_i \lg t_i \sum p_i \lg C_i}{\sum p_i \sum p_i (\lg t_i)^2 - (\sum p_i \lg t_i)^2}, \end{aligned} \right\} (12.11.5)$$

здесь

$$p_i = C_i^2 / (M_{\sigma_{i-1}}^2 + M_{\sigma_i}^2).$$

Расчеты с помощью ПМК выполняются по следующей программе:

В/О ФПРГ
 ИП0 Fx² ИП2 Fx² ИП3 Fx² + : П4 ИП1
 F lg Fx² ИП4 × ИП5 + П5 ИП0 F lg ИП4
 × ИП6 + П6 ИП1 F lg ИП4 × ИП7 +
 П7 ИП1 F lg ИП0 F lg × ИП4 × ИП8 +
 П8 ИП4 ИП9 + П9 ИПС 1 + ПС С/П
 ИП5 ИП6 × ИП7 ИП8 × — ИП9 ИП5 ×
 ИП7 Fx² — ПД : F 10⁶ ИПС × ПА ИП9
 ИП8 × ИП7 ИП6 × — ИПД : ПВ С/П (80 шагов)
 ФАВТ.

Реализация программы:

- поочередно вводятся исходные данные: C_i П0; t_i П1; $M_{\sigma_{i-1}}$ П2; M_{σ_i} П3 (C и M в миллионах, t в часах) и нажимаются клавиши В/О С/П;

— после ввода каждой группы исходных данных на индикаторе высвечивается число i (порядковый номер невязки) и после ввода последней группы исходных данных — число невязок n ;

— вводится число 1,13 ПС и нажимается клавиша С/П;

— после отработки программы нажатием клавиш на индикаторе высвечиваются: ИПА $\rightarrow K_c$; ИПВ $\rightarrow \theta$.

Без ущерба для точности в большинстве районов Мирового океана, где не проявляется сильный систематический снос, допустимо принимать $\theta=0,5$. Отличие фактического значения θ от величины 0,5 будет скомпенсировано пропорциональным изменением коэффициента точности счисления.

При $\theta=0,5$ коэффициент точности счисления определяется по всей совокупности имеющихся невязок, соответствующих любым интервалам счисления.

Расчеты производятся в следующей последовательности:

— по невязкам C_i , соответствующим интервалам счисления $t_i \leq 2$ ч, рассчитывается коэффициент K_1 :

$$K_1 = 1,6 \sum_{i=1}^{n_1} p_i C_i t_i / \sum_{i=1}^{n_1} p_i t_i^2; \quad p_i = \frac{1}{M_{o_{i-1}}^2 + M_{o_i}^2}, \quad (12.11.6)$$

здесь n_1 — общее количество невязок C_i ($t_i \leq 2$ ч);

— по невязкам C_j , соответствующим интервалам счисления $t_j > 2$ ч, рассчитывается коэффициент K_2 :

$$K_2 = 1,13 \sum_{j=1}^{n_2} p_j C_j \sqrt{t_j} / \sum_{j=1}^{n_2} p_j t_j; \quad p_j = \frac{1}{M_{o_{j-1}}^2 + M_{o_j}^2}, \quad (12.11.7)$$

здесь n_2 — общее количество невязок C_j ($t_j > 2$ ч);

— рассчитываются СКП коэффициентов K_1 и K_2 :

$$\left. \begin{aligned} m_{K_1} &= \sqrt{\sum_{i=1}^{n_1} p'_i [1,6 C_i / t_i - K_1]^2 / (n_1 - 1) \sum_{i=1}^{n_1} p'_i}; \\ m_{K_2} &= \sqrt{\sum_{j=1}^{n_2} p'_j [1,13 C_j / \sqrt{t_j} - K_2]^2 / (n_2 - 1) \sum_{j=1}^{n_2} p'_j} \end{aligned} \right\} \quad (12.11.8)$$

здесь $p'_i = t_i^2 / (M_{o_{i-1}}^2 + M_{o_i}^2)$; $p'_j = t_j / (M_{o_{j-1}}^2 + M_{o_j}^2)$;

— рассчитывается коэффициент точности счисления

$$K_c = (K_1 m_{K_1}^2 + K_2 m_{K_2}^2) / (m_{K_1}^2 + m_{K_2}^2); \quad (12.11.9)$$

— рассчитывается точность K_c

$$m_{K_c} = m_{K_1} m_{K_2} / \sqrt{m_{K_1}^2 + m_{K_2}^2}. \quad (12.11.10)$$

Расчет по формулам (12.11.6) — (12.11.10) с помощью ПМК производится по следующей программе:

В/О ФПРГ

ИП0	ИП1	FV	×	ИП2	Fx ²	ИП3	Fx ²	+	П4
:	ИП5	+	П5	ИП1	Fx ²	ИП4	:	ИП6	+
П6	ИП0	Fx ²	ИП4	:	ИП7	+	П7	ИП8	1

+ П8 С/П ИП5 ИП6 : П0 ИП7 ИП5 2
 × ИПО × — ИПО Fx^2 ИП6 × + ИП8
 1 — : ИП6 : $F\sqrt{\quad}$ ИП9 × ПВ ИП9
 ИПО × ПА С/П ИПА ИПД Fx^2 П2 × ИПС
 ИПВ Fx^2 ПЗ × + ИП2 ИПЗ + П5 :
 П1 ИП2 ИПЗ × ИП5 : $F\sqrt{\quad}$ С/П (88 шагов)
 FАВТ.

Реализация программы:

а) обрабатываются невязки, соответствующие интервалам $t \leq 2$ ч. для чего:

— производится дополнительная подготовка программы: БПО2 F ПРГ КНОП F АВТ 1,6 П9;

— поочередно вводятся исходные данные, соответствующие каждой i -й невязке: C_i П0; t_i П1; $M_{o_{j-1}}$ П2; M_{o_j} ПЗ, и нажимаются клавиши В/О С/П; после отработки каждой такой группы на индикаторе высвечивается номер невязки i ;

— после ввода последней невязки нажимается клавиша С/П. В результате получаем: ИПА $\rightarrow K_1$; ИПВ $\rightarrow m_{K_1}$;

б) обрабатываются невязки, соответствующие интервалам $t > 2$ ч. для чего:

— производится дополнительная подготовка программы:

БПО2 F ПРГ $F\sqrt{\quad}$ F АВТ БП15 F ПРГ КНОП F АВТ БП58 F ПРГ
 ПД F АВТ БП62 F ПРГ ПС F АВТ 0 П5 П6 П7
 П8 1, 13 П9;

— поочередно вводятся исходные данные, соответствующие каждой j -й невязке: C_j П0; t_j П1; $M_{o_{j-1}}$ П2; M_{o_j} ПЗ, и нажимаются клавиши В/О С/П; после отработки каждой такой группы на индикаторе высвечивается номер невязки j ;

— после ввода последней невязки нажимается клавиша С/П. В результате получаем: ИПС $\rightarrow K_2$; ИПД $\rightarrow m_{K_2}$;

в) нажимается клавиша С/П. После отработки программы на индикаторе высвечивается m_{K_c} и нажатием клавиш получаем: ИП1 $\rightarrow K_c$;

г) для подготовки к обработке новой серии невязок производится восстановление программы:

БПО2 F ПРГ КНОП F АВТ БП58 F ПРГ ПВ F АВТ БП15 F ПРГ
 Fx^2 F АВТ БП62 F ПРГ ПА F АВТ 0 П5 П6 П7
 П8 1, 6 П9.

Пример. Из навигационного журнала выписаны невязки, превышающие предельные суммарные погрешности обсерваций. Невязки числения, а также СКП предыдущей $M_{o_{j-1}}$ и данной M_{o_j} обсерваций приведены в табл. 12.11.1.

Определить коэффициент точности числения K_c и его погрешность m_{K_c} .

О т в е т. Обработка этих данных с помощью ПМК по вышеизложенной методике дает следующие результаты: ИПА $\rightarrow K_1 = 1,188$; ИПВ $\rightarrow m_{K_1} = 0,199$; ИПС $\rightarrow K_2 = 1,286$; ИПД $\rightarrow m_{K_2} = 0,066$; на индикаторе (по отработке программы) $m_{K_c} = 0,063$; ИП1 $\rightarrow K_c = 1,276$.

Примечание. Для удобства вычислений строки с $t \leq 2$ ч в табл. 12.11.1 выделены курсивом.

Таблица 12.11.1

C , мили	t , ч	$M_{O_{l-1}}$, мили	M_{O_r} , мили	C , мили	t , ч	$M_{O_{l-1}}$, мили	M_{O_r} , мили
1,9	1,8	0,5	0,7	2,0	2,0	0,2	0,9
3,0	5,6	0,7	1,0	1,7	0,8	0,9	0,5
2,2	6,0	1,0	0,3	2,9	4,6	0,5	0,5
2,2	3,6	0,3	1,2	3,3	6,0	0,5	1,4
2,6	1,9	1,2	0,6	2,8	1,9	1,4	0,1
3,2	4,8	0,6	0,8	0,8	0,5	0,1	0,2
2,6	5,9	0,8	1,2	3,0	9,0	0,2	0,8
2,4	4,0	1,2	0,5	1,5	1,8	0,8	0,4
1,0	1,6	0,5	0,4	0,9	2,0	0,4	0,1
1,5	1,1	0,4	0,3	1,6	2,7	0,1	0,6
0,9	1,8	0,3	0,2	2,1	5,0	0,6	2,0

Если использовались равнооточные наблюдения, то при расчете K_c используются величины $p_l = p_j = 1$; $p'_l = t_l^2$; $p'_j = t_j^2$.

В ПКК в этом случае вводятся величины: $M_{O_{l-1}} = M_{O_{j-1}} = 1$; $M_{O_l} = M_{O_r} = 0$.

Если использовались равнооточные наблюдения, которые производились через примерно равные интервалы, то

$$\left. \begin{aligned} K_1 &= \frac{1,6}{n_1} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{t_i}; t \leq 2 \text{ ч;} \\ K_2 &= \frac{1,13}{n_2} \sum_{j=1}^n \frac{C_j}{\sqrt{t_j}}; t_j > 2 \text{ ч.} \end{aligned} \right\} \quad (12.11.11)$$

При использовании инерциальной навигационной системы (ИНС) погрешность счислимой широты m_{φ_c} не зависит от времени плавания. В этом случае

$$M_c(t) = \sqrt{m_{\varphi_c}^2 + m_{w_c}^2}, \quad (12.11.12)$$

где

$$\begin{aligned} m_{w_c} &= 2^{t-1} K_{cx} t; t \leq 2 \text{ ч;} \\ m_{w_c} &= K_{cx} t^2; t > 2 \text{ ч,} \end{aligned}$$

здесь K_{cx} — коэффициент точности счисления долготы. Определяется вышеизложенным способом по проекциям невязок на параллель.

Необходимое количество невязок для определения K_c с заданной СКП определяется по формуле

$$n = \frac{Q}{m_{K_c}^2}, \quad (12.11.13)$$

где Q — величина, определяемая по табл. 12.11.2.

Таблица 12.11.2

t (среднее), ч	M_0 (среднее), мили			
	0,2	0,6	1,0	2,0
0,5	0,9	4,1	10,5	40,5
1,0	0,6	1,4	2,9	10,5
2,0	0,5	0,7	1,1	3,0
6,0	0,5	0,6	0,7	1,4
10,0	0,5	0,6	0,6	1,0

Пример. Предполагается, что наблюдения будут производиться в среднем через 2 ч; $M_{\text{оср}} = 0,6$ мили. Сколько необходимо обработать невязок, чтобы определить K_c с точностью $m_{K_c} = 0,1$?

Решение:

— из табл. 12.11.2 по $t = 2$ ч и $M_0 = 0,6$ мили определяется $Q = 0,7$;

— по формуле (12.11.13) рассчитывается $n = \frac{0,7}{0,01} = 70$ невязок.

О т в е т: 70 невязок.

Средняя квадратическая погрешность счислимого места рассчитывается с учетом точности исходного места, от которого ведется счисление:

$$M_{\text{сч}} = \sqrt{M_{\text{исх}}^2 + M_c^2(t)}, \quad (12.11.14)$$

здесь $M_{\text{исх}}$ — СКП исходного места;

$M_c(t)$ — СКП счисления, определяемая по одной из формул (12.11.4). При $\theta \neq 0,5$ $M_c(t)$ определяется по формуле (12.11.1) или (12.11.2).

Коэффициент точности счисления для однотипных кораблей соединения может определяться по результатам, полученным на различных кораблях в одинаковых условиях плавания:

$$K_c = \frac{\sum n_i K_{c_i}}{\sum n_i}, \quad (12.11.15)$$

где n_i — количество невязок, по которым рассчитывался K_{c_i} на i -м корабле;

K_{c_i} — коэффициент точности счисления, рассчитанный на i -м корабле.

КОРРЕКТИРУЕМОЕ ЧИСЛЕНИЕ

§ 13.1. КОРРЕКТУРА ЧИСЛЕНИЯ ПО ОДНОЙ ОБСЕРВАЦИИ
ИЛИ ЛИНИИ ПОЛОЖЕНИЯ

При плавании *вблизи берегов и навигационных опасностей* максимальные интервалы счисления t_{\max} в часах между двумя последовательными наблюдениями не должны превышать значения, рассчитываемого по формуле

$$t_{\max} = \frac{1,4}{K_c} \sqrt{M_d^2 - M_o^2},$$

где K_c — коэффициент точности счисления (§ 12.11);

M_d — допустимая СКП наблюдения, мили (определяется в зависимости от условий плавания согласно § 9.8);

M_o — ожидаемая СКП наблюдения, мили.

При плавании *в открытом море*

$$t_{\max} = \frac{1}{K_c^2} (M_d^2 - M_o^2).$$

Обсервация целесообразна, если $M_o < 3M_{сч}$, где $M_{сч}$ — средняя квадратическая погрешность счислимого места.

После получения единичной обсервации производится проверка наличия промахов в навигационной прокладке.

Если невязка C удовлетворяет неравенству

$$C \leq 2,1 \sqrt{M_o^2 + M_{сч}^2}, \quad (13.1.1)$$

то с вероятностью 0,997 промахов в навигационной прокладке нет*. В этом случае производится определение вероятнейшего места корабля с учетом всей имеющейся информации, т. е. с учетом счислимого и обсервованного мест. При этом учитывается точность этих мест. Вероятнейшее место B , определяемое путем объединения (осреднения) счислимого и обсервованного мест, удалено от счислимого места по направлению невязки на величину C_b , равную

$$C_b = CM_{сч}^2 / (M_{сч}^2 + M_o^2),$$

здесь C_b — величина невязки относительно вероятнейшего места B ;

C — невязка, полученная относительно обсервации O .

* Для любой другой заданной вероятности коэффициент, стоящий перед корнем, равен $0,7z$, где z — аргумент функции Лапласа, определяемый (по заданной вероятности) по табл. 1-6 МТ-75.

Средняя квадратическая погрешность вероятнейшего места рассчитывается по формуле

$$M_B = M_{сч} M_0 / \sqrt{M_{сч}^2 + M_0^2}.$$

Графически вероятнейшее место (точка B на рис. 13.1.1) находится следующим способом: наблюдаемая и счисляемая точки O и C_m соединяются прямой и через них под углом к линии OC_m , близким к прямому, проводятся противоположно направленные отрезки, равные M_0^2 и $M_{сч}^2$; первый из этих отрезков откладывается от наблюдаемого места, второй — от счислимого. Вероятнейшее место B будет в точке пересечения линии ab с прямой OC_m .

При $M_0 \leq 1/3 M_{сч}$ вероятнейшее место корабля принимается в наблюдаемой точке, поскольку точность наблюдения существенно выше точности счислимого места. Такая ситуация характерна для прибрежного плавания, когда место корабля определяется по визуально наблюдаемым ориентирам, с помощью радиолокатора или по радионавигационным системам ближнего действия.

При $M_0 > 3 M_{сч}$ вероятнейшее место корабля принимается в счисляемой точке — наблюдение из-за низкой точности в расчет не принимается. Такая ситуация характерна в условиях, когда наблюдения ненадежны, а счисление ведется с помощью точных автономных систем счисления (с использованием абсолютного лага или инерциальной системы).

Если невязка C большая, т. е. если ее величина превышает предельную суммарную погрешность наблюдений и счисления, рассчитанную по формуле (13.1.1), то делается вывод или о наличии в навигационной прокладке грубой ошибки, или о существенном (не случайном) изменении учитываемых элементов сноса. В этом случае производится проверка прокладки от момента предыдущей наблюдения, контролируется правильность графических построений на карте, выполняется повторная наблюдение и критически анализируются величины учитываемых СКП и коэффициента точности счисления. Подтверждение неравенства $C > 2,1 \sqrt{M_0^2 + M_{сч}^2}$ (после тщательной проверки прокладки и после получения повторной наблюдения) свидетельствует о наличии неучтенных погрешностей в элементах счисления и в первую очередь в элементах учитываемого вектора скорости течения. Принимаются меры к уточнению элементов сноса. Объединение мест в этом случае не производится.

Несущественное превышение невязки предельной суммарной погрешности наблюдения и счислимого места чаще всего является следствием учета заниженных средних квадратических погрешностей M_0 и $M_{сч}$.

По действующим директивным правилам о всех невязках $C > 1,7 \sqrt{M_0^2 + M_{сч}^2}$ докладывается командиру корабля.

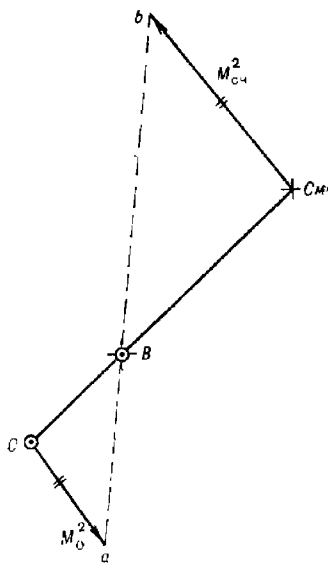


Рис. 13.1.1

При наличии одной линии положения вероятнейшее место корабля находится на перпендикуляре, опущенном из счислимого места корабля на линию положения (рис. 13.1.2), в удалении от счислимого места, рассчитываемом по формуле

$$C = nm_{сч}^2 / (m_{сч}^2 + m_{лп}^2),$$

где n — длина перпендикуляра, опущенного из счислимой точки $См$ на линию положения;

$m_{сч}$ — линейная СКП счислимого места; $m_{сч} = 0,7M_{сч}$;

$m_{лп}$ — СКП obserвированной линии положения; $m_{лп} = m_{лп} / g$.

Все величины формулы выражаются в одних и тех же единицах длины.

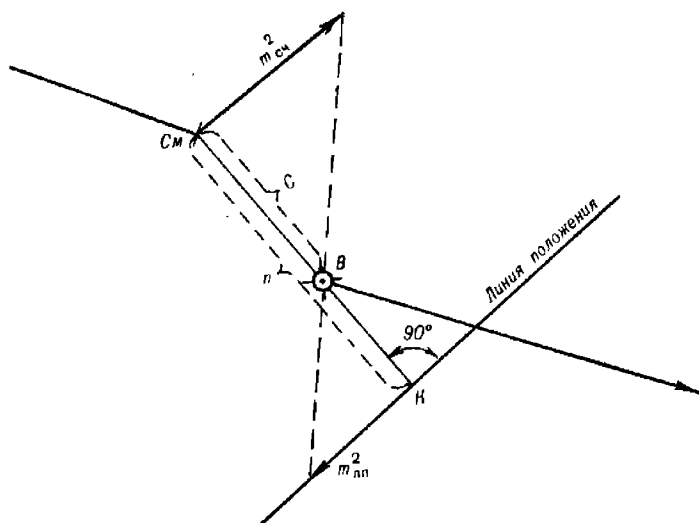


Рис. 13.1.2

Вероятнейшее место B принимается:

- при $m_{сч} \leq 1/3 m_{лп}$ в счислимом месте;
- при $m_{лп} \leq 1/3 m_{сч}$ на линии положения в точке K ;
- при $m_{сч} = m_{лп}$ посередине отрезка $СмК$.

В остальных случаях вероятнейшее место B графически может быть найдено следующим образом (рис. 13.1.2):

— из счислимого места $См$ опускается перпендикуляр на линию положения;

— из точки $К$ по направлению линии положения в произвольном масштабе откладывается отрезок, равный $m_{лп}^2$;

— из точки $См$ в противоположную сторону откладывается (в том же масштабе) отрезок, равный $m_{сч}^2$;

— вероятнейшее место B будет в пересечении линий, соединяющей концы отрезков $m_{лп}^2$ и $m_{сч}^2$ с линией $СмК$.

Средняя квадратическая погрешность вероятнейшего места B , найденного путем объединения счислимого места с одной линией положения, рассчитывается по формуле

$$M_B = m_{сч} \sqrt{\frac{2m_{лп}^2 + m_{сч}^2}{m_{лп}^2 + m_{сч}^2}}$$

§ 13.2. КОРРЕКТУРА СЧИСЛЕНИЯ МЕТОДОМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО УТОЧНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ДВИЖЕНИЯ ПО АНАЛИЗУ НЕВЯЗОК

При корректуре счисления этим методом каждая последующая обсервация используется для уточнения элементов сноса $v_{сч}$ и $K_{сч}$, коэффициента точности счисления K_c , для выявления промахов в навигационной прокладке, а также для определения вероятнейшего места корабля, элементов его движения и их точности. Реализуется корректура счисления на основе анализа невязок, получаемых после каждой обсервации.

Рассмотрим сущность этого анализа для двух исходных условий: счисление на интервале между рассматриваемой и предыдущей обсервациями ведется с учетом сноса или без учета сноса.

Счисление ведется с учетом сноса

При ведении счисления с учетом сноса за предобсервационный период принимается интервал времени t_i от $i-1$ обсервации до данной i -й обсервации. По каждой i -й обсервации O_i (рис. 13.2.1) определяются две невязки: C'_i — относительно счисляемой точки $СМ'_i$, расположенной на линии истинного курса, т. е. рассчитанной без учета сноса, и C_i — относительно фактического счислимого места $СМ_i$, расположенного на линии пути. По невязке C'_i определяется возможность использования данной обсервации для уточнения элементов сноса, а по невязке C_i делается вывод о существенности изменения учитываемого сноса и выявляется возможность объединения данной обсервации и счислимого места $СМ_i$.

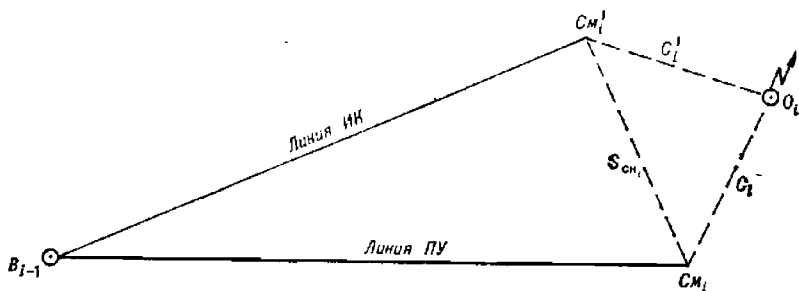


Рис. 13.2.1

Анализ первой невязки C'_i приводит к одному из двух вариантов: или величина C'_i больше предельной суммарной погрешности \widehat{M}_i предшествующего вероятнейшего места B_{i-1} и данной обсервации O_i , или меньше ее.

а) Соблюдается неравенство

$$C_i > 2,1 \sqrt{M_{B_{i-1}}^2 + M_{O_i}^2} = \hat{M}_1, \quad (13.2.1)$$

где $M_{B_{i-1}}$ и M_{O_i} — СКП предыдущего вероятнейшего места B_{i-1} и данной обсервации O_i .

В этом случае полученная обсервация может быть использована для уточнения элементов сноса; действительно, правая часть неравенства представляет собой предельное значение невязки, обусловленное неточностью обсерваций, и если уж фактическая невязка больше этой величины, то ее появление следует отнести не за счет неточности предыдущей и данной обсерваций, а за счет воздействия на корабль неучтенных сил сноса.

Метод расчета элементов сноса зависит от степени их изменчивости: при случайном, несущественном изменении ранее учитываемых элементов сноса новый снос определяется путем использования всей совокупности информации о нем, полученной по предыдущим и данной обсервациям; при существенном изменении сноса его элементы определяются только по данной обсервации и затем уточняются по очередным определениям места. Устаревшая информация прежних обсерваций в этом случае в расчет не принимается — начинается новый цикл определения элементов сноса.

Степень существенности изменения элементов сноса выявляется путем сравнения второй невязки C_i с предельной суммарной погрешностью \hat{M}_2 счислимого C_{M_i} и обсервованного O_i мест.

Выполнение неравенства

$$C_i < 2,1 \sqrt{M_{C_{M_i}}^2 + M_{O_i}^2} = \hat{M}_2 \quad (13.2.2)$$

(где $M_{C_{M_i}}$ — СКП счислимого места) свидетельствует о том, что обсервованное место отклонилось от счислимого случайно за счет случайных погрешностей этих мест. Действительно, величина \hat{M}_2 является предельным случайным отклонением. Поэтому все невязки, меньшие этого значения, случайные, а все другие — неслучайные.

Следовательно, изменение вектора сноса на величину $\Delta \vec{S}_{сч} = \vec{C}_i = \vec{S}_{сч_i} - \vec{S}_{сч_{i-1}}$ (рис. 13.2.2) тоже случайное, несущественное, обусловленное случайностью невязки C_i . Если изменение сноса и произошло, то оно не больше вектора \vec{C}_i , во всяком случае оно не проявилось на фоне случайных погрешностей счислимого и обсервованного мест. Случайность изменения сноса обуславливает возможность определения его средневзвешенных, или вероятнейших, элементов с учетом величины и точности данных о сносе, полученных по предшествующим и данной обсервациям. Расчет вероятнейшего сноса производится на основе линейной фильтрации Калмана, обеспечивающей последовательное его уточнение.

Поскольку неравенство (13.2.2) является признаком случайности невязки, то оно является также критерием возможности объединения обсервованного O_i и счислимого C_{M_i} мест.

Таким образом, при выполнении неравенств (13.2.1) и (13.2.2) делается обоснованное заключение о том, что существенного изменения сноса не произошло, полученная невязка C_i используется для уточнения ранее учитываемого сноса путем расчета его вероятнейшего значе-

ния, а obserвованное место объединяется со счислимым и дальнейшая прокладка ведется от вероятнейшего места B_i (см. рис. 13.2.2) с учетом уточненного сноса.

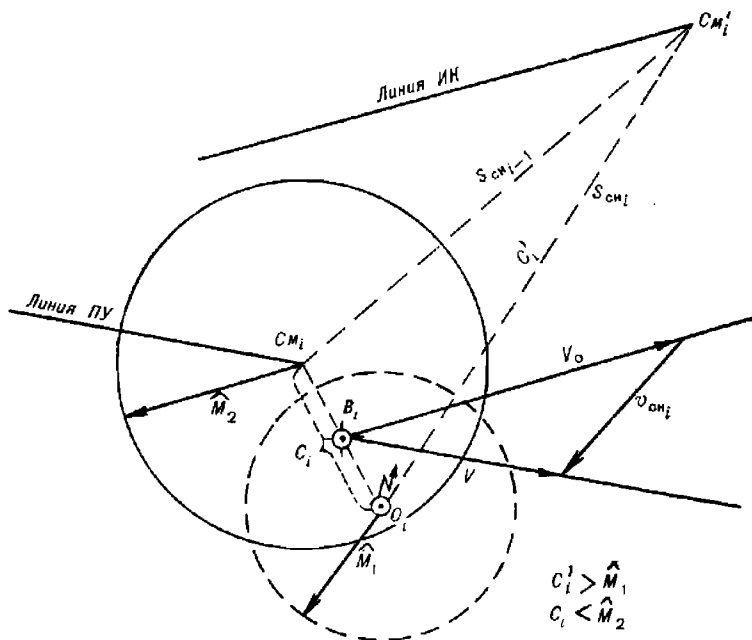


Рис. 13.2.2

Невыполнение неравенства (13.2.2) свидетельствует о том, что невязка C_i превысила предельную (по нормам случайности) величину (рис. 13.2.3). Следовательно, ее причинами является не случайное изменение сноса, а наличие промаха в навигационной прокладке или существенное изменение сноса.

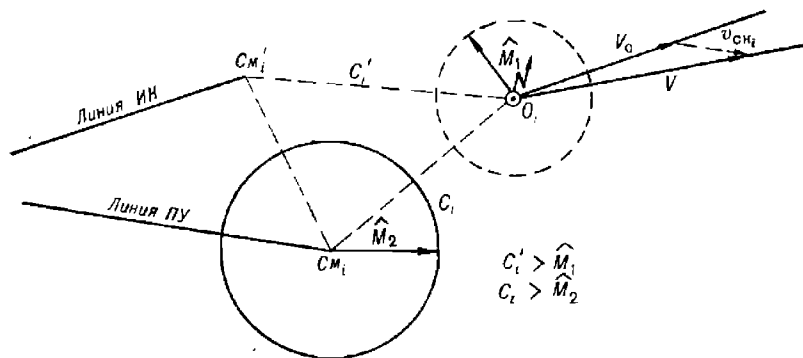


Рис. 13.2.3

менение сноса, а наличие промаха в навигационной прокладке или существенное изменение сноса.

В этом случае прежде всего производится проверка навигационной прокладки (от момента предыдущей обсервации) с целью выявления возможного промаха, уточняются СКП мест и производится повторная обсервация. Если и вновь величина невязки будет больше предельной

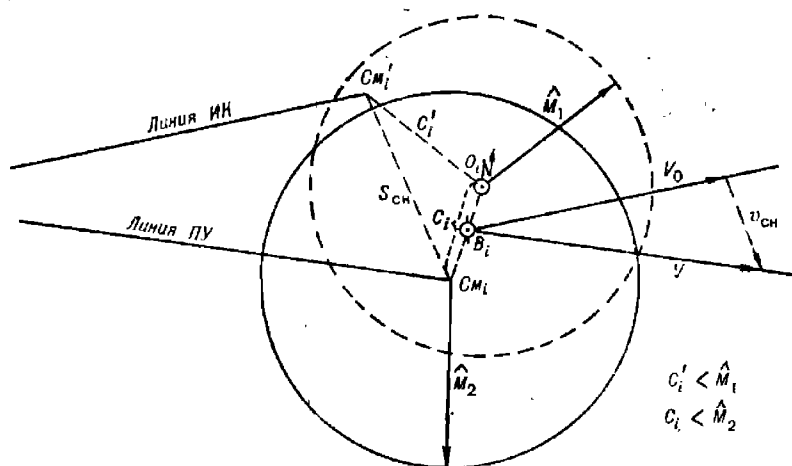


Рис. 13.2.4

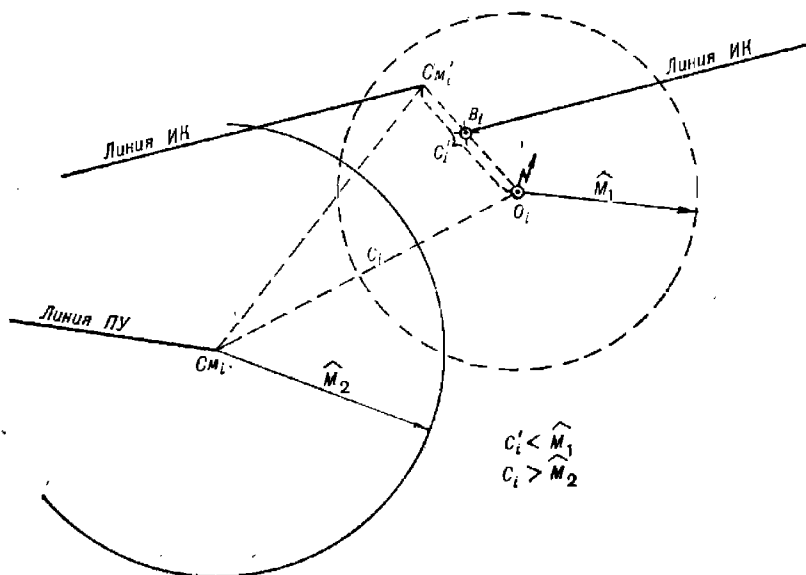


Рис. 13.2.5

суммарной погрешности счислимого и обсервованных мест, то делается заключение о существенном изменении сноса. Начинается новый цикл определения сноса, т. е. снос определяется только по последней невязке C_i' без учета ранее полученных данных.

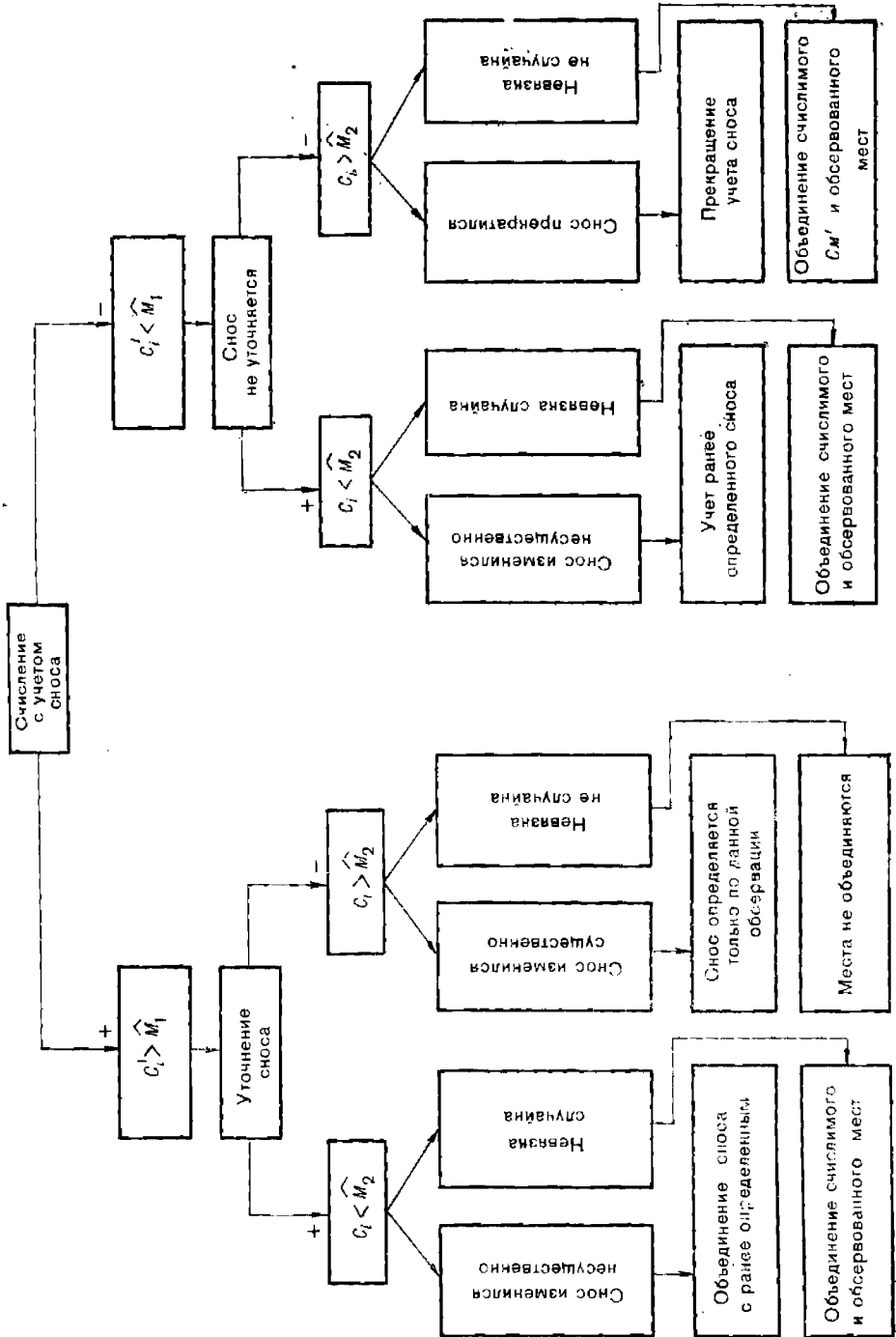


Рис. 13.2.6. Структурно-логическая схема анализа невязок при счислении с учетом сноса

Невыполнение неравенства (13.2.2) является также признаком существенного, неслучайного отклонения обсервованного места от счислимого, поэтому эти места в данном случае не объединяются.

б) Не соблюдается неравенство (13.2.1), т. е. $C_i' < \hat{M}_1$.

В этом случае точки O_i и C_{M_i}' отклоняются случайно и, следовательно, по данной обсервации снос не определяется — он не проявляется на фоне погрешностей обсервации. Для выяснения обстановки производится сравнение невязки C_i с величиной \hat{M}_2 .

Если окажется, что $C_i < \hat{M}_2$ (рис. 13.2.4), то делается вывод о том, что ранее учитываемый снос изменился несущественно — продолжается учет прежнего сноса, производится объединение счислимого и обсервованного мест.

Если окажется, что $C_i > \hat{M}_2$ (рис. 13.2.5), то обсервация случайно отклонилась от точки C_{M_i}' и неслучайно от счислимого места C_{M_i} . Следовательно, снос прекратился. Для подтверждения этого вывода целесообразно произвести повторную обсервацию. При данной ситуации производится объединение обсервации с точкой C_{M_i}' .

Структурно-логическая схема анализа невязок при счислении с учетом сноса представлена на рис. 13.2.6.

Счисление ведется без учета сноса

В этом случае с предельными погрешностями \hat{M}_1 и \hat{M}_2 сравнивается полученная невязка C_i . При этом возможны следующие варианты:

а) невязка C_i заключена в пределах $\hat{M}_1 < C_i < \hat{M}_2$. Это значит, что причиной невязки являются не только погрешности предыдущей и данной обсервации, но и воздействие на корабль сил сноса. В этом случае по данной обсервации рассчитываются элементы сноса и начинается их учет (рис. 13.2.7). Так как невязка меньше предельной суммарной погрешности счислимого и обсервованного мест, то счислимое C_{M_i} и обсервованное O_i места объединяются и находится вероятнейшее место V_i ;

б) невязка $C_i > \hat{M}_2$. Причиной такой невязки может быть или промах в навигационной прокладке, или воздействие сил сноса. Производится проверка навигационной прокладки и при отсутствии промахов по полученной невязке рассчитываются элементы сноса, которые и учитываются до получения очередной обсервации. Объединение обсервованного и счислимого мест в этом случае недопустимо, так как расстояние их друг от друга не может считаться величиной случайной (рис. 13.2.8);

в) невязка $C_i < \hat{M}_1$. Это является свидетельством случайности расхождения счислимого и обсервованного мест, кроме того, данное неравенство является признаком невозможности определения элементов сноса по полученной невязке, так как снос в этом случае или отсутствует вообще и невязка является результатом неточности обсерваций, или снос есть, но его величина незначительна и не проявляется на фоне погрешностей обсерваций. Случайный характер невязки обуславливает возможность определения вероятнейшего места корабля путем объединения счислимого и обсервованного мест (рис. 13.2.9). Дальнейшая прокладка ведется от этого места без учета сноса.

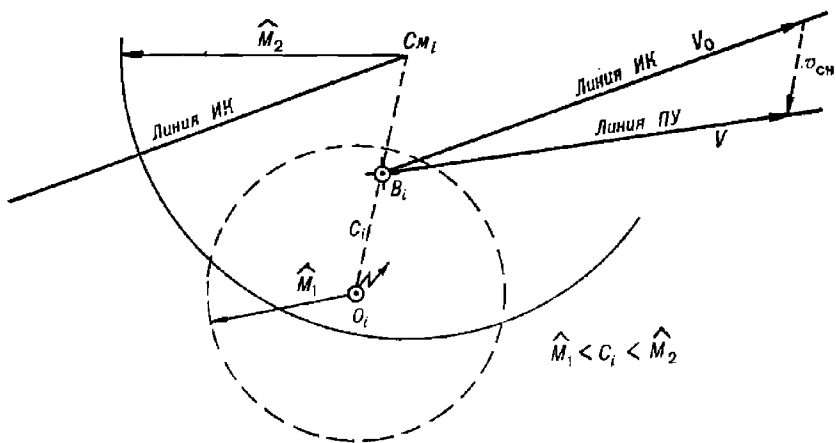


Рис. 13.27

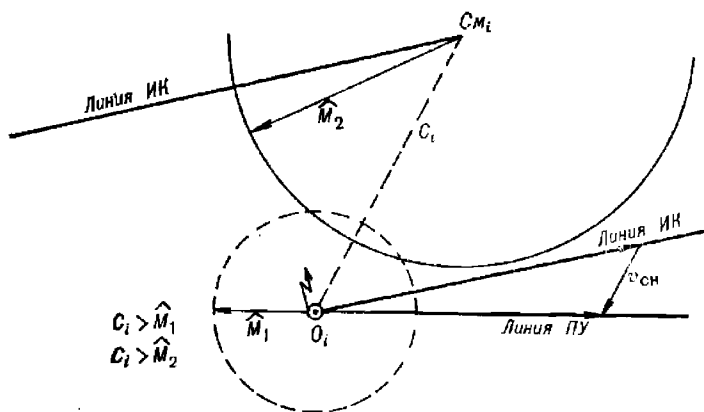


Рис. 13.28

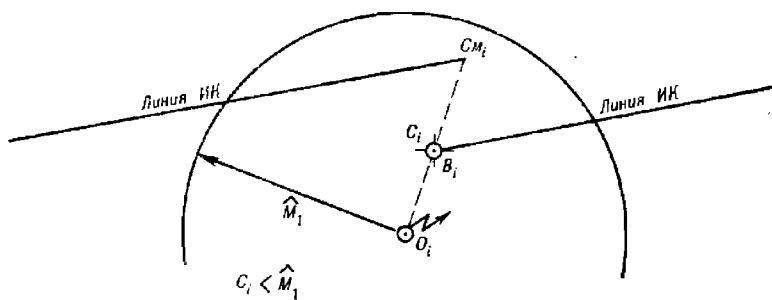


Рис. 13.29

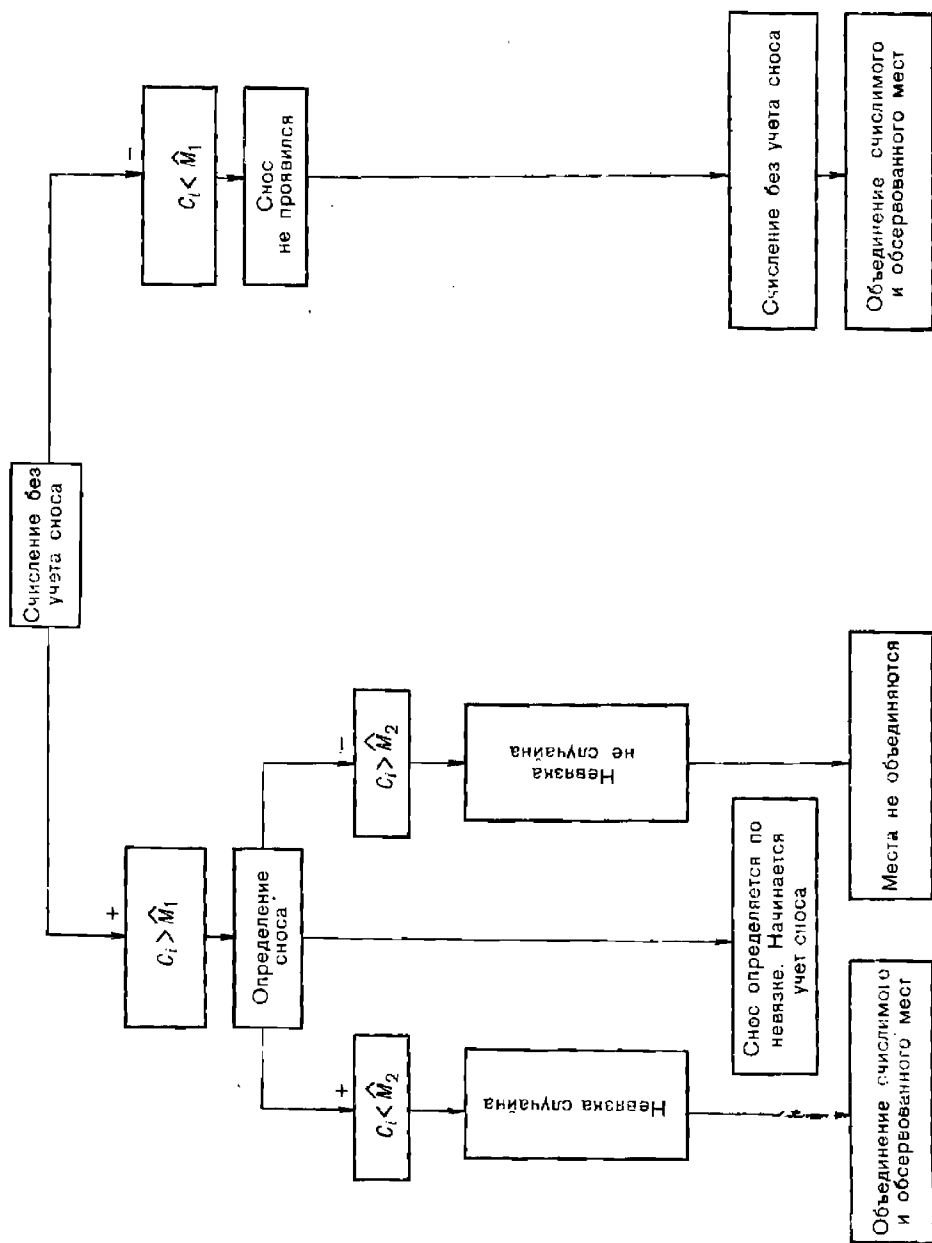


Рис. 13.2.10. Структурно-логическая схема анализа невязок при счислении без учета сноса

Структурно-логическая схема анализа невязок при счислении без учета сноса представлена на рис. 13.2.10.

Обработка информации при корректуре счисления

Как видно из изложенного выше, корректируемое счисление, основанное на анализе невязок и на обработке всей имеющейся навигационной информации с учетом ее точности, обеспечивает последовательное (от обсервации к обсервации) уточнение счисления на интервалах между обсервациями за счет определения вероятнейших элементов сноса, позволяет скорректировать вероятнейшее место путем объединения обсерваций со счислимыми местами, выявляет существенное изменение элементов сноса и предоставляет информацию об оценке точности элементов счисления и места корабля.

Одновременно с определением или уточнением сноса в процессе корректируемого счисления производится расчет СКП направления и скорости сноса ($m_{K_{сн}}$ и $m_{v_{сн}}$) и по погрешностям элементов счисления вычисляется коэффициент точности счисления K_c . Учитывая, что современные комплексированные ТСН обеспечивают выработку курса и относительной скорости с высокой степенью точности, расчет коэффициента точности счисления с некоторым приближением допустимо производить только по погрешностям определяемых элементов сноса.

При реализации корректируемого счисления в соответствии с результатами анализа невязок рассчитываются:

- а) средняя квадратическая погрешность счислимого места

$$M_{сч_i} = \sqrt{M_{в_{i-1}}^2 + \frac{1}{2}(K_{сч_{i-1}} t_i)^2}, \quad (13.2.3)$$

где i_i — интервал счисления от предыдущей до данной обсервации;

- б) коэффициент точности счисления

$$K_{сч_i} = 1,4 \sqrt{\left(\frac{m_{ПВ_a} V t_i}{57,3}\right)^2 + m_{V_i}^2 + \left(2v_{сн_i} \sin \frac{m_{K_{сч_i}}}{2}\right)^2 + m_{v_{сн_i}}^2}, \quad (13.2.4)$$

или приближенно

$$K_{сч_i} = 1,4 \sqrt{\left(\frac{v_{сн_i} m_{K_{сч_i}}}{57,3}\right)^2 + m_{v_{сн_i}}^2}, \quad (13.2.5)$$

здесь скорость корабля V и скорость сноса $v_{сн}$, а также их СКП m_v и $m_{v_{сн}}$ выражены в узлах;

в) отстояние вероятнейшего места от счислимого при объединении этих мест (по направлению невязки C_i)

$$C_{в_i} = C_i M_{сч_i}^2 / (M_{сч_i}^2 + M_{о_i}^2), \quad (13.2.6)$$

где $M_{о_i}$ — СКП обсервации;

- г) средняя квадратическая погрешность вероятнейшего места

$$M_{в_i} = M_{сч_i} M_{о_i} / \sqrt{M_{сч_i}^2 + M_{о_i}^2}; \quad (13.2.7)$$

д) элементы сноса при счислении с учетом сноса (при уточнении по одной обсервации без объединения с ранее полученными элементами сноса)

$$K_{сн_i} = \alpha'_i; \quad v_{сн_i} = C'_i/t_i, \quad (13.2.8)$$

где α'_i — направление невязки C'_i относительно истинного меридиана;

е) элементы сноса при счислении без учета сноса (при определении по одной обсервации без объединения информации о сносе)

$$K_{сн_i} = \alpha_i; \quad v_{сн_i} = C_i/t_i, \quad (13.2.9)$$

где α_i — направление невязки C_i относительно истинного меридиана;

ж) элементы сноса при несущественном их изменении (при определении вероятнейшего сноса путем объединения элементов сноса, полученных по данной обсервации, с ранее учитываемыми элементами сноса)

$$\left. \begin{aligned} K_{сн_i} &= K_{сн_{i-1}} + p_{\alpha_i} (\alpha'_i - K_{сн_{i-1}}); \quad \sum_{j=1}^i p_{\alpha_j}; \\ v_{сн_i} &= v_{сн_{i-1}} + p_{v_{сн_i}} (C'_i/t_i - v_{сн_{i-1}}); \quad \sum_{j=1}^i p_{v_{сн_j}} \end{aligned} \right\} \quad (13.2.10)$$

где $K_{сн_{i-1}}$ и $v_{сн_{i-1}}$ — вероятнейшие значения направления и скорости сноса, определенные по предыдущим обсервациям;

p_{α_i} — вес направления невязки C'_i , вычисляемый по формуле

$$p_{\alpha_i} = 2C_i^2 / (M_{\alpha_{i-1}}^2 + M_{\alpha_i}^2); \quad (13.2.11)$$

$p_{v_{сн_i}}$ — вес скорости сноса, рассчитанной по невязке C'_i

$$p_{v_{сн_i}} = 2t_i^2 / (M_{v_{сн_{i-1}}}^2 + M_{v_{сн_i}}^2). \quad (13.2.12)$$

Формулы (13.2.10) являются рекуррентными. Они выражают оптимальную линейную фильтрацию Калмана. При случайной изменчивости сноса расчет по этим формулам производится после каждой обсервации, при этом результаты, полученные по данной обсервации, становятся исходными для расчетов после получения следующего обсервованного места;

з) средняя квадратическая погрешность вектора скорости сноса

$$m_{K_{сн_i}} = 57,3: \sqrt{\sum_{j=1}^i p_{\alpha_j}}; \quad m_{v_{сн_i}} = 1: \sqrt{\sum_{j=1}^i p_{v_{сн_j}}}. \quad (13.2.13)$$

Практическая реализация корректируемого счисления осуществляется в следующем порядке:

— после каждой i -й обсервации по карте измеряются невязки C_i и C'_i (при плавании без учета сноса — только C_i), рассчитываются СКП обсервованного и счислимого мест (последняя по формуле 13.2.3) и предельные погрешности \hat{M}_1 (формула 13.2.1) и \hat{M}_2 (формула 13.2.2);

— производится анализ невязок путем сравнения их с величинами \hat{M}_1 и \hat{M}_2 . По результатам анализа с помощью структурно-логических

схем (рис. 13.2.6 и 13.2.10) выбирается вариант корректуры элементов сноса и места корабля;

— в зависимости от варианта корректуры счисления производятся необходимые расчеты по уточнению (определению) вектора скорости сноса, элементов движения корабля — пути и путевого скорости и места корабля; определяются СКП элементов сноса, вероятнейшего места корабля и рассчитывается коэффициент точности счисления, соответствующий конкретным условиям плавания и точности определения вектора скорости сноса;

— рассчитанные элементы сноса учитываются при ведении навигационной прокладки до очередного уточнения, т. е. до следующей обсервации.

Автоматизация корректируемого счисления с помощью ПМК осуществляется по следующей программе:

В/О	ФПРГ								
ИП9	ИП3	Fx^2	ИП2	Fx^2	+	ПС	$F\sqrt{\quad}$	ИП6	×
—	С/П	ИПС	ИП4	ИП1	×	Fx^2	+	ПЗ	$F\sqrt{\quad}$
ИП6	×	ИП0	—	С/П	ИП9	Fx^2	ИПС	:	ИП5
+	П5	ИП9	Fx^2	ИПС	:	:	$F 1/x$	ИП6	ИП4
—	×	ИП4	+	ПА	ИП1	Fx^2	ИПС	:	ИП7
+	П7	ИП1	Fx^2	ИПС	:	:	$F 1/x$	ИП9	ИП1
:	ИПВ	—	×	ИПВ	+	ПВ	1	ИП7	$F\sqrt{\quad}$
:	ПД	ИП8	ИП5	$F\sqrt{\quad}$:	ПС	ИПВ	×	ИП8
:	Fx^2	ИПД	Fx^2	+	$F\sqrt{\quad}$	П4	С/П	(88 шагов)	

ФАВТ.

Пошаговый расчет вероятнейшего места и его точности производится в следующем порядке:

ИП3 ИП2 Fx^2 — П6 ИП0 × ИП3 : П1

ИП6 $F\sqrt{\quad}$ ИП2 × ИП3 $F\sqrt{\quad}$: ПЗ.

Реализация программы:

— в ПМК после каждой обсервации вводятся следующие исходные данные: C_i П0; t_i П1; M_{o_i} П2; $M_{o_{i-1}}$ или $M_{a_{i-1}}$ ПЗ (вводится после первой обсервации, а также если предыдущая обсервация не объединялась со счислимым местом); C_i' П9; 2,1 П6; 0,7 K_{C_i} П4; 57,3 П8 (вводится только после первой обсервации); невязки и СКП места вводятся в милях, интервалы времени — в часах;

— нажимаются клавиши В/О С/П и после отработки первой части программы (после останова) фиксируется знак результата на табло (знак сравнения величин C_i и \hat{M}_1); нажимается клавиша С/П и после отработки второй части программы (останова) фиксируется знак результата на табло (знак сравнения величин C_i и \hat{M}_2). При плавании без учета сноса в обоих случаях фиксируются знаки сравнения величины C_i с предельными погрешностями \hat{M}_1 и \hat{M}_2 ;

— по знакам результатов с помощью структурно-логической схемы (рис. 13.2.6 или 13.2.10) производится анализ невязок и выбор варианта корректируемого счисления.

В зависимости от варианта далее обрабатывается одна из следующих схем:

— если по результатам анализа невязок должно производиться уточнение ранее учитываемого сноса (знаки $++$) или первичное определение сноса (начало учета сноса) — знаки $+ -$, то в ПМК вводится направление невязки — величина α_i (или α_i) Пб, и нажимается клавиша С/П. В результате обработки третьей части программы из ячеек памяти извлекаются искомые данные об элементах сноса: ИПА $\rightarrow K_{сн_i}$ (градусы); ИПВ $\rightarrow v_{сн_i}$ (уз); ИПС $\rightarrow 1,4 m_{к_{сн_i}}$ (градусы); ИПД $\rightarrow 1,4 m_{v_{сн_i}}$ (уз); ИП4 $\rightarrow K_{с_i}$ (на индикаторе);

— если по результатам анализа обнаружено существенное изменение сноса и определяются новые элементы сноса только по данной обсервации (знаки $+ -$), то в ПМК вводятся следующие величины: α_i Пб; обнуляются ячейки памяти П5, П7, ПА, ПБ, т. е. в них засылается цифра „0“, и нажимается клавиша С/П. В результате из ячеек памяти А, В, С, Д и 4 извлекаются вышеуказанные данные о сносе;

— если по результатам анализа снос по данной обсервации не уточняется (знаки $- +$) или его учет прекращается (знаки $- -$), то ПМК находится в готовности к обработке информации очередной обсервации;

— если по результатам анализа производится объединение счислимого и обсервованного мест, то после обработки всей введенной в ПМК программы производится в указанном выше порядке пошаговый расчет вероятнейшего места и его точности. Результат извлекается из следующих ячеек памяти: ИП1 $\rightarrow C_{v_i}$ (невязка вероятнейшего места, т. е. отстояние вероятнейшего места B_i от счислимого по направлению невязки C_i , мили); ИП3 $\rightarrow M_{v_i}$ (СКП вероятнейшего места, мили).

На всем периоде корректируемого счисления ПМК не выключается, его ячейки памяти посторонней информацией не загружаются.

Пример. Корабль следует истинным курсом $IK = 70,0^\circ$, относительная скорость $V_o = 12$ уз. Ведется корректируемое счисление. Течение и дрейф на данный исходный момент не учитываются. Коэффициент точности счисления $K_{с_0} = 0,85$. Место корабля определяется по навигационным ориентирам каждый час. СКП обсерваций $M_o = 0,5$ мили. Первая невязка после исходной обсервации $C_1 = 222,0^\circ - 2,4$ мили. Определить после каждой обсервации элементы сноса, их точность, коэффициент точности счисления, вероятнейшее место корабля, его СКП и фактические элементы движения корабля — путь и путевую (абсолютную) скорость.

Решение. Последовательность решения и результаты уточнения элементов движения и места корабля представлены в табл. 13.2.1.

Для оценки точности полученного результата интересно сравнить вычисленные с помощью ПМК данные с фактическими: в период от исходной до третьей обсервации фактический снос был $210^\circ - 2,0$ уз, а от третьей обсервации до шестой фактический снос был $90^\circ - 2,0$ уз. Из табл. 13.2.1 видно, что первый вектор скорости сноса уже после второй обсервации был определен с погрешностью $6,7^\circ$ по направлению и $0,25$ уз по скорости; погрешность определения второго вектора скорости после третьего уточнения составила: по направлению $2,9^\circ$, по скорости $0,08$ уз. При этом было четко зафиксировано изменение сноса на интервале между второй и третьей обсервациями.

Приведенные данные относятся лишь к условиям рассматриваемого примера, исходные данные которого были получены путем статистического моделирования случайных погрешностей обсерваций относительно действительных мест корабля.

Таблица 13.2.1

Действия оператора	Номера наблюдений					
	1	2	3	4	5	6
Измерение невязок C C'	222°—2,4 мили —	100°—1,5 мили 179—2,1 »	45°—3,5 мили 76—1,7 »	110°—1,0 мили 88—2,6 »	190°—0,3 мили 94—2,0 »	259°—2,3 мили 220—0,5 »
Ввод исходных данных C C' t M_{0i} M_{w_i-1} или M_{0i-1} $0,7 K_{c_i}$ —	2,4 П0 2,4 П9 1 П1 0,5 П2 0,5 П3 0,595 П4 2,1 П6 57,3 П8	1,5 П0 2,1 П9 1 П1 0,5 П2 0,5 П3 0,7 П4 2,1 П6 —	3,5 П0 1,7 П9 1 П1 0,5 П2 — 0,494 П4 2,1 П6 —	1,0 П0 2,6 П9 1 П1 0,5 П2 0,5 П3 0,651 П4 2,1 П6 —	0,3 П0 2,0 П9 1 П1 0,5 П2 — 0,476 П4 2,1 П6 —	2,3 П0 0,5 П9 1 П1 0,5 П2 — 0,385 П4 2,1 П6 —
Пуск	В/О С/П	В/О С/П	В/О С/П	В/О С/П	В/О С/П	В/О С/П
Определение первого знака	+	+	+	+	+	—
Пуск	С/П	С/П	С/П	С/П	С/П	С/П
Определение второго знака	—	+	—	+	+	—

Продолжение табл. 13.2.1

Действия оператора	Номера наблюдений					
	1	2	3	4	5	6
Анализ невязок (знаков) с помощью структурно-логической схемы	Определение сноса; места не объединяются	Уточнение сноса с учетом данных первой обсервации; объединение мест	Существенное изменение сноса. Определение сноса по данным только этой обсервации; места не объединяются	Уточнение сноса с учетом предыдущих данных; объединение мест	Дальнейшее уточнение сноса; объединение мест	Преращение учета сноса. Объединение места со счислимой точкой на линии НК
Ввод данных α' (α) Обустройство ячеек памяти	222 П6 —	179 П6 —	76 П6 0П5, П7, ПА, ПВ	88 П6 —	94 П6 —	— —
Пуск	С/П	С/П	С/П	С/П	С/П	—
Результат (элементы сноса) ИПА $\rightarrow K_{сн}$ ИПВ $\rightarrow v_{сн}$, уз ИПС $\rightarrow 1,4m_{сн}$ ИПД $\rightarrow 1,4m_{сн}$, уз ИПА $\rightarrow K_c$	222° 2,4 16,8° 0,707 1,0	203,3° 2,25 12,7° 0,5 0,706	76° 1,7 22,3° 0,67 0,93	84,1° 2,13 12,8° 0,48 0,68	87,1° 2,08 10,7° 0,39 0,55	— — — — —
Полетный расчет вероятнейшего места (объединение мест)	—	Производятся	—	Производятся	Производятся	—

Продолжение табл. 13.2.1

Действия оператора	Номера наблюдений					
	1	2	3	4	5	6
Результат (вероятнейшее место) ИП1 → С _н , МДЛД ИП3 → М _н , ВДЛД	— —	1,42 0,43	— —	0,73 0,43	0,19 0,39	— —
Направление лани пути* Путевая скорость, уз*	77,0° 10,0	79,0° 10,6	71,0° 13,7	73,0° 14,1	73,0° 13,9	70,0° 12,0

* Элементы деления — направление лани пути и путевая скорость определяются по результатам навигационной прокладки, т. е. снимаются с карты после построения соответствующих треугольников скоростей.

В общем случае установлено, что при наличии систематической составляющей сноса и при отношении $v_{\text{сн}}t/M_0 \approx 3-4$ фактические погрешности счисляемых мест, найденных методом корректируемого счисления, уменьшаются после второго уточнения сноса на 40—60 % (относительно погрешностей счисляемых мест, полученных при однократном определении сноса), после третьего уточнения — на 50—80 %. Примерно в такой же пропорции повышается точность определения элементов сноса, коэффициента точности счисления и элементов движения корабля — пути и путевой скорости.

Точность корректируемого счисления зависит от точности определения элементов сноса. Априорные СКП вектора скорости сноса после n -кратного его уточнения по наблюдениям могут быть рассчитаны по формулам:

$$m_{K_{\text{сн}}} = 57,3M_0/v_{\text{сн}}t\sqrt{n}; \quad m_{v_{\text{сн}}} = M_0/t\sqrt{n}.$$

Отсюда следует, что чем больше отношение $v_{\text{сн}}t/M_0$, тем точнее определяется вектор скорости сноса.

Минимальный интервал времени между двумя последовательными наблюдениями для определения сноса должен быть таким, чтобы обеспечивалось проявление сноса на фоне погрешностей наблюдений. Этому требованию соответствуют интервалы, удовлетворяющие неравенству $t \geq 3M_0/v_{\text{сн}}$.

Рассчитанный по этой формуле интервал должен быть сопоставлен со временем действия систематической составляющей сноса. Определение сноса эффективно в том случае, если рассчитанные его элементы могут быть учтены при дальнейшем счислении пути корабля. Поэтому для определения сноса необходимо использовать высокоточные наблюдения, при которых допустимо сокращение интервалов между ними.

§ 13.3. ОБСЕРВАЦИОННОЕ СЧИСЛЕНИЕ

Обсервационное счисление — это метод определения координат и элементов движения корабля, основанный на комплексированном использовании информации, непрерывно поступающей от автономных корабельных ТСН, и информации, получаемой в результате практически непрерывного измерения навигационных параметров относительно навигационных ориентиров.

В результате совместной обработки счисляемых и обсервованных данных методом наименьших квадратов или методом оптимальной линейной фильтрации производится непрерывное уточнение вероятнейших координат и элементов движения корабля. Поэтому точность каждого последующего места выше точности предыдущего. Также уточняются и элементы движения корабля: по невязкам вероятнейших мест уточняются элементы сноса и, следовательно, в каждом цикле повышается точность определения фактических пути и путевой скорости корабля. График на рис. 13.3.1 характеризует последовательное повышение точности выработки навигационных величин с каждым последующим измерением (с каждым циклом обработки). Как видно на графике, максимальный эффект уточнения достигается на первых циклах обработки.

В каждом цикле обсервационного счисления измеряется одна (или несколько) навигационная изолиния. Если измеряется одна изолиния, обработка информации производится в реальном масштабе времени. В противном случае производится накопление информации и приведение ее к одному моменту.

Поскольку измерения навигационных параметров производится автоматически с большой частотой, то на каждый данный момент вырабатывается вероятнейшее место и линия пути корабля практически является геометрическим местом обсервованных точек. Именно поэтому такой способ счисления называется обсервационным.

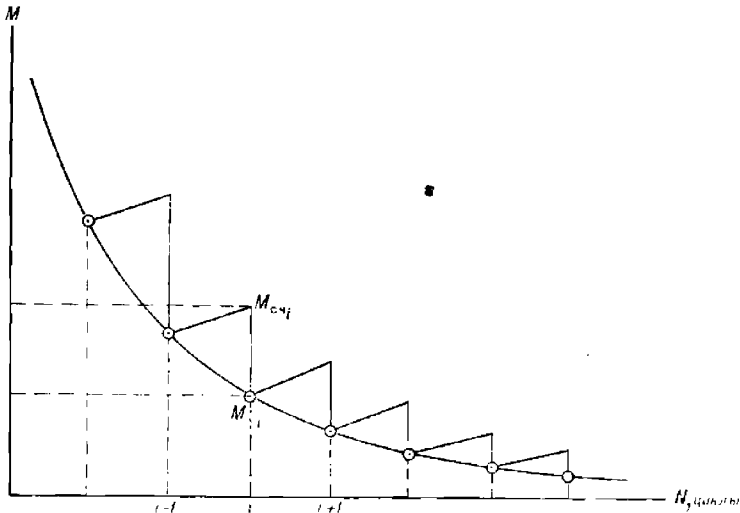


Рис. 13.3.1

Реализация обсервационного счисления в полной мере возможна при наличии корабельных приемоиндикаторов, автоматически и непрерывно измеряющих навигационные параметры, и специализированной корабельной ЭВМ, сопряженной с приемоиндикаторами. Результаты автоматической обработки навигационной информации при обсервационном счислении отображаются на карте или планшете автопроектировщика и индицируются на индикаторах ЭВМ.

При приближенно линейном характере связи измеренных навигационных параметров с искомыми величинами математической основой обработки навигационной информации в процессе обсервационного счисления является оптимальный фильтр Калмана. При последовательном уточнении нескольких навигационных величин (например, двух координат и вектора скорости сноса) рекуррентная формула линейной оптимальной фильтрации имеет следующий вид

$$\mathbf{X} = \mathbf{X}_c + \mathbf{S}\mathbf{H}^T (\mathbf{H}\mathbf{S}\mathbf{H}^T + \mathbf{R})^{-1} (\mathbf{Z} - \mathbf{Z}_c), \quad (13.3.1)$$

где \mathbf{X} — вектор (матрица-столбец) искоемых величин;

\mathbf{X}_c — вектор (матрица-столбец) счислимых навигационных величин, найденных по результатам всего комплекса предыдущих измерений;

\mathbf{S} — корреляционная матрица счисляемых навигационных величин;

\mathbf{H} — матрица коэффициентов исходных уравнений, связывающих измеренные и искомые навигационные величины;

\mathbf{H}^T — транспонированная матрица коэффициентов;

\mathbf{R} — корреляционная матрица погрешностей измеренных навигационных величин;

Z — вектор (матрица-столбец) результатов измерения;
 Z_c — вектор (матрица-столбец) счислимых величин, соответствующих измеренным.

Точность полученного вектора X оценивается корреляционной матрицей

$$P = SH^T(HSH^T + R)^{-1}(H^T)^{-1}R. \quad (13.3.2)$$

Если, например, при обсервационном счислении по каждому последовательно измеренному навигационному параметру определяются вероятнейшие координаты и элементы сноса, то матрицы рекуррентной формулы (13.3.1) (без учета корреляции) имеют следующий вид:

$$X = \begin{bmatrix} \varphi_B \\ \omega_B \\ v_{сн, x} \\ v_{сн, y} \end{bmatrix}; \quad X_c = \begin{bmatrix} \varphi_c \\ \omega_c \\ v_{сн, x_c} \\ v_{сн, y_c} \end{bmatrix}; \quad S = \begin{bmatrix} m_{\varphi_c}^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_{\omega_c}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_{v_{x_c}}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_{v_{y_c}}^2 \end{bmatrix};$$

$$H = \begin{bmatrix} a & b & 0 & 0 \\ 0 & 0 & t & 0 \\ 0 & 0 & 0 & t \end{bmatrix}; \quad R = \begin{bmatrix} m_{\Delta\varphi}^2 & 0 & 0 \\ 0 & m_{\Delta\omega}^2 & 0 \\ 0 & 0 & m_{\Delta w}^2 \end{bmatrix}; \quad Z = \begin{bmatrix} U \\ \Delta\varphi_{изм} \\ \Delta w_{изм} \end{bmatrix}; \quad Z_c = \begin{bmatrix} U_c \\ \Delta\varphi_c \\ \Delta\omega_c \end{bmatrix}.$$

Здесь φ_B, ω_B — вероятнейшие широта и отстояние;

$v_{сн, x}, v_{сн, y}$ — составляющие вероятнейшего вектора сноса по меридиану и параллели;

a, b — коэффициенты уравнения линии положения;

t — интервал счисления между двумя последовательными измерениями навигационного параметра;

$\Delta\varphi_c$ и $\Delta\omega_c$ — счислимые поправки, т. е. поправки к счислимой точке на линии истинного курса (рис. 13.3.2), рассчитанные по данным сноса, определенного в предыдущем цикле (по предшествующему навигационному параметру)

$$\Delta\varphi_{c_i} = v_{сн, x_{i-1}} t; \quad \Delta\omega_{c_i} = v_{сн, y_{i-1}} t;$$

$\Delta\varphi_{изм}$ и $\Delta w_{изм}$ — измеренные поправки, равные

$$\Delta\varphi_{изм} = \Delta\varphi_c + \Delta\varphi_0; \quad \Delta w_{изм} = \Delta\omega_c + \Delta\omega_0,$$

где $\Delta\varphi_0$ и $\Delta\omega_0$ — поправки для перехода от счислимого места корабля к вероятнейшему месту, определенному по последней измеренной линии положения;

U и U_c — измеренный и счислимый навигационные параметры.

Данные матрицы составлены для параметрических уравнений связи

$$a\Delta\varphi_0 + b\Delta\omega_0 = l;$$

$$v_{сн, x} t = \Delta\varphi_{изм};$$

$$v_{сн, y} t = \Delta w_{изм}.$$

В данном случае измеренные навигационные параметры считаются корреляционно независимыми (корреляционные матрицы диагональные). Элементы сноса — направление и скорость — рассчитываются по формулам:

$$K_{сн} = \arctg \frac{v_{снy}}{v_{снx}}; \quad v_{сн} = \sqrt{v_{снx}^2 + v_{снy}^2}.$$

Величина $SH^T(HSH^T + R)^{-1} = K$ в формуле (13.3.1) называется коэффициентом усиления. Этот коэффициент характеризует степень уточнения счисляемых навигационных элементов по данным измеренных

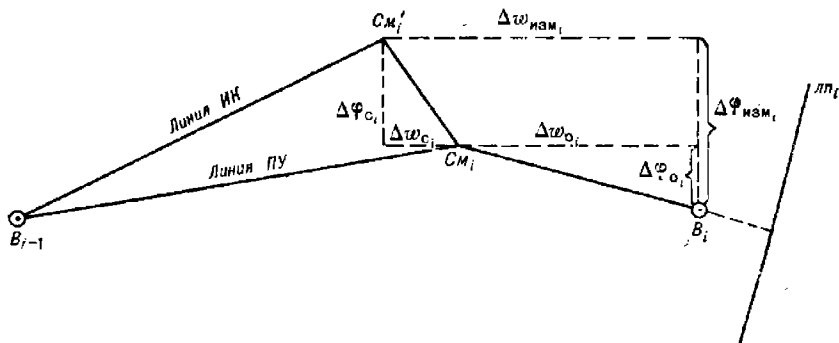


Рис. 13.3.2

навигационных параметров. Для рассматриваемого случая коэффициент усиления соответствует следующей матрице:

$$K = \begin{bmatrix} \frac{m_{\varphi_c}^2 a}{m_{\varphi_c}^2 a^2 + m_{w_c}^2 b^2 + m_U^2} & 0 & 0 \\ \frac{m_{w_c}^2 b}{m_{\varphi_c}^2 a^2 + m_{w_c}^2 b^2 + m_U^2} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{m_{v_{xc}}^2 t}{m_{\varphi_{xc}}^2 + m_{\Delta\phi}^2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{m_{\sigma_{yc}}^2 t}{m_{\sigma_{yc}}^2 t^2 + m_{\Delta w}^2} \end{bmatrix}.$$

Рекуррентные формулы (13.3.1) при обзорационном счислении могут быть реализованы и другими способами, например путем совместной обработки нескольких обзоранных и счисляемых линий положения.

При отсутствии специализированных вычислительных машин вероятнейшие координаты места корабля и их точность на каждый момент измерения навигационных параметров можно получить с помощью

ПМК. Для расчета вероятнейших поправок к счислимым координатам при измерении навигационного параметра относительно одного ориентира используются следующие рекуррентные формулы оптимального фильтра Калмана:

$$\left. \begin{aligned} \Delta \varphi_{в_i} &= \Delta \varphi_{в_{i-1}} + V t_i \cos \Pi Y + \frac{0,5 M_{сч_i}^2 n_i \cos \tau_i}{0,5 M_{сч_i}^2 + m_{лп_i}^2}; \\ \Delta \varpi_{в_i} &= \Delta \varpi_{в_{i-1}} + V t_i \sin \Pi Y + \frac{0,5 M_{сч_i}^2 n_i \sin \tau_i}{0,5 M_{сч_i}^2 + m_{лп_i}^2}; \\ M_{в_i}^2 &= \frac{(M_{сч_i} m_{лп_i})^2 + (0,5 M_{сч_i}^2)^2}{0,5 M_{сч_i}^2 + m_{лп_i}^2}; \\ M_{сч_i}^2 &= M_{в_{i-1}}^2 + 0,5 (K_c t)^2, \end{aligned} \right\} \quad (13.3.3)$$

где $\Delta \varphi_{в_i}$ и $\Delta \varpi_{в_i}$ — поправки координат i -го вероятнейшего места относительно координат счислимого места, соответствующего моменту измерения первого навигационного параметра;

t_i — интервал счисления между измерениями $(i-1)$ -го и i -го навигационных параметров; $t_i = 0,1 \dots 0,3$ ч;

$M_{в_i}$ и $M_{сч_i}$ — СКП вероятнейшего и счислимого мест на момент измерения i -го навигационного параметра;

$m_{лп_i}$ — СКП obserвованной линии положения;

K_c — коэффициент точности счисления.

Последовательное уточнение координат по этим формулам с помощью ПМК после каждого отдельного измерения навигационного параметра (относительно одного и того же ориентира) наиболее просто

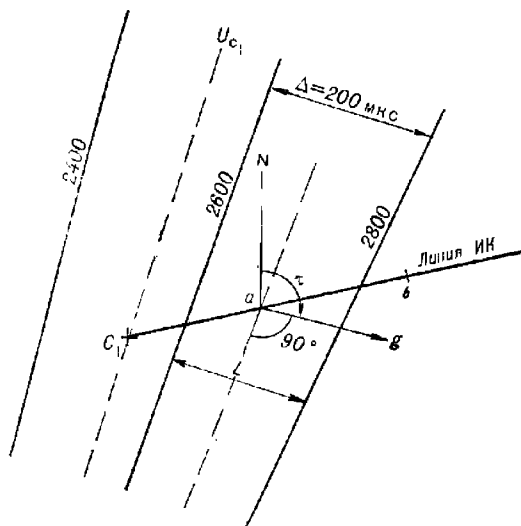


Рис. 13.3.3

производится с использованием радионавигационной карты (с сеткой изолиний). Для этого:

— в момент первого измерения навигационного параметра U_1 по карте определяется счислимый навигационный параметр U_c , т. е. значение той навигационной изолинии, которая проходит через счислимое место C_1 (рис. 13.3.3);

— рассчитывается величина $l_1 = U_1 - U_c$; значение U_c в дальнейшем используется и для расчета всех последующих l_i ;

— намечается интервал между измерениями навигационных параметров (дискретность уточнения места) и для средней точки отрезка пути C_1b , соответствующему этому интервалу (для точки a), по карте определяется направление τ и модуль g градиента: градиент направлен перпендикулярно изолинии точки a в сторону возрастания навигационного параметра (в сторону изолинии с большим числовым значением), а его модуль рассчитывается по формуле $g = \Delta/L$, где Δ — разность значений, а L — кратчайшее расстояние между изолиниями в районе точки a . При незначительном изменении градиента расчет его элементов может производиться один раз для средней точки отрезка, соответствующего всему периоду измерений;

— измеряются координаты φ_c и λ_c первой счислимой точки C_1 и рассчитывается ее средняя квадратическая погрешность $M_{сч}$;

— далее все расчеты по определению места после первого и всех последующих измерений навигационного параметра производятся с помощью ПМК по следующей программе:

В/О	F ПРГ								
ИПД	Fx^2	ИПС	Fx^2	+	$F\sqrt{\quad}$	ИПВ	×	ИПА	ИПО
—	$F\cos$	×	ИП9	+	П9	—	ИПА	ИП3	—
$F\cos$	ИП4	×	ИПВ	×	ИП8	+	П8	—	ПС
ИПА	$F\cos$	ИПВ	×	ИП1	:	П0	×	ИП1	:
П7	ИПА	$F\sin$	ИПВ	×	ИП1	:	ПА	ИП1	:
ИПС	×	ПС	ИП0	Fx^2	2	ИП2	Fx^2	:	П1
+	П2	×	ИП0	ИПА	×	ПВ	ИП7	×	—
ИПА	Fx^2	ИП1	+	П0	ИП2	×	ИПВ	Fx^2	—
ПА	:	ПД	ИП7	ИП0	×	ИПС	ИПВ	×	—
ИПА	:	ПС	ИП3	$F\cos$	ИП4	×	$C_1П$	(98 шагов)	

F АВТ.

Реализация программы:

а) после первого измерения навигационного параметра U_1 по радионавигационной карте определяются координаты φ_c и λ_c счислимого места и соответствующее этому месту счислимое значение навигационного параметра U_c ;

б) в ПМК вводятся исходные данные, соответствующие первому измерению: m_U , П1; $M_{сч}$, П2; L_U П3; φ_c , П5; λ_c , П6; τ_1 , ПА; g_1 , ПВ;

в) на ПМК вычисляется разность $l_1 = (U_1 - U_c)$ и нажимаются клавиши В/О С/П;

г) после отработки программы производится ее завершение нажатием следующих клавиш: + 60 : ИП5 + П5 ИП3 $F\sin$ ИП4 × ИПД + 60 : ИП5 $F\cos$: ИП6 + П6 ИП2 ИП0 + ИПА : $F\sqrt{\quad}$ П2 (при использовании ПМК «МК-52» эта часть программы может быть введена в ППЗУ микрокалькулятора);

д) нажатием клавиш на индикаторе высвечивается ответ — вероятнейшее место и его СКП после первого уточнения: ИП5 → $\varphi_{в}$; ИП6 → $\lambda_{в}$; ИП2 → $M_{в}$;

е) определяется направление невязки α . Оно или совпадает с направлением введенного градиента, или отличается от него на 180° . Поэтому для определения направления невязки достаточно, используя знаки проекции невязки на меридиан $\Delta\varphi$ (ИПС) и параллель $\Delta\psi$ (ИПД), определить по табл. 13.3.1 четверть горизонта, в которой расположена невязка.

Если невязка в одной четверти с градиентом, то $\alpha_i = \tau_i$, если в разных, то $\alpha_i = \tau_i \pm 180^\circ$;

ж) после второго и каждого последующего измерения навигационного параметра в ПМК вводятся данные: α_i ПО; m_i П1; PU_i П3 (если $PU_i \neq PU_{i-1}$); S_i П4 (если $S_i \neq S_{i-1}$); τ ПА; g ПВ;

з) на ПМК вычисляется разность $l_i = (U_i - U_{c_i})$ и производится запуск программы нажатием клавиш В/О С/П;

и) после отработки программы повторяются действия, изложенные в п. «г» — «е».

Если требуется уменьшение погрешности, обусловленной неточностью пройденного кораблем расстояния, то измеряются навигацион-

Таблица 13.3.1

$\Delta\psi$	$\Delta\varphi$	
	+	-
+	NE	SE
-	NW	SW

Таблица 13.3.2

№ измерения	Обсервованный радионавигационный параметр, мкс	Данные, вводимые в ПМК	Ответ					
			ИП5 → $\varphi_{в_i}$ N	ИП6 → $\lambda_{в_i}$ E	ИП2 → $M_{в_i}$ мили	Проекция невязки		Направление невязки α
						ИПС → $\Delta\varphi$	ИПД → $\Delta\psi$	
1	1806,0	1 П1; 1,6 П2; 120 П3; 71 П5; 27 П6; 153 ПА; 2,45 ПВ; 1806↑ 1803,4 — В/О С/П	70,986° 70°59,2'	27,022° 27°01,3'	1,19	-	+	153°
2	1807,5	153 ПО; 1 П1; 1,5 П4; 153 ПА; 2,45 ПВ; 1807,5↑ 1803,4 — В/О С/П	70,979° 70°58,8'	27,078° 27°04,7'	0,92	+	-	333°
3	1812,5	333 ПО; 1 П1; 153 ПА; 2,45 ПВ; 1812,5↑ 1803,4 — В/О С/П	70,960° 70°57,6'	27,156° 27°09,4'	0,74	-	+	153°
4	1814,0	153 ПО; 1 П1; 153 ПА; 2,45 ПВ 1814↑ 1803,4 — В/О С/П	70,951° 70°57,1'	27,216° 27°13,0'	0,61	+	-	333°
5	1817,5	333 ПО; 1 П1; 153 ПА; 2,45 ПВ; 1817,5↑ 1803,4 — В/О С/П	70,939° 70°56,4'	27,282° 27°16,9'	0,52	+	-	333°
6	1022,0	333 ПО; 1 П1; 153 ПА; 2,45 ПВ; 1022↑ 1803,4 — В/О С/П	70,923° 70°55,4'	27,354° 27°21,3'	0,46			

ные параметры, изолинии которых составляют угол с линией пути, близкий к прямому. Если требуется уменьшить погрешность места, обусловленную неточностью направления линии пути, то измеряются навигационные параметры, изолинии которых направлены вдоль линии пути.

Пример. В точке со счислимыми координатами $\varphi_{c_1} = 71^\circ 00,0' \text{ N}$ и $\lambda_{c_1} = 27^\circ 00,0' \text{ E}$ произведено первое измерение радионавигационного параметра РНС «Марс-75» $U_1 = 1806,0$ мкс и с радионавигационной карты снят для этой точки счислимый радионавигационный параметр $U_{c_1} = 1803,4$ мкс. В последующем измерения радионавигационных параметров производились через каждые 5 мин.

Определить вероятнейшие координаты места корабля и их точность на моменты измерений радионавигационных параметров, если $ПУ = 120,0^\circ$, $V = 18,0$ уз ($S_1 = 1,5$ мили), $m_{U_i} = 1,0$ мкс, $M_{сч} = 1,6$ мили. Элементы градиента на интервале измерений практически постоянны: $\tau = 153,0^\circ$, $g = 2,45$ мкс/мили.

Решение представлено в табл. 13.3.2.

В данном примере по результатам шести измерений одного и того же радионавигационного параметра, выполненных в течение 25 мин, счислимое место корабля уточнилось на 15 % (относительно расстояния, пройденного кораблем за время измерения параметров). При этом частная погрешность места уменьшилась втрое. Повторяющаяся погрешность радионавигационного параметра при использовании данного способа не компенсируется и не учитывается при расчете СКП полученных мест.

Раздел V

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА КОРАБЛЯ ПО НАЗЕМНЫМ
ОРИЕНТИРАМ**

ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА КОРАБЛЯ ПО ОРИЕНТИРАМ**§ 14.1. НАВИГАЦИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ И НАВИГАЦИОННЫЕ
ИЗОЛИНИИ**

Накопление с течением времени погрешности в счислимом месте обуславливает необходимость периодической его корректуры. Корректура счислимого места производится с помощью *обсервации*, т. е. определения места корабля независимо от счисления по измерениям, выполненным относительно навигационных ориентиров с известными координатами.

В качестве навигационных ориентиров используются наземные и небесные объекты (естественные и искусственные).

К наземным ориентирам относятся маяки, радиомаяки, знаки, вершины гор, рельеф дна, приметные искусственные сооружения (башни, трубы, церкви и т. п.), специальные радиотехнические станции и т. д.

К небесным ориентирам относятся естественные светила — Солнце, Луна, звезды и планеты, а также искусственные навигационные спутники Земли.

Основой определения места корабля по ориентирам является измерение величин, зависящих от взаимного расположения корабля и ориентира. Такими величинами могут быть: направление на ориентир, расстояние до него или скорость изменения этого расстояния, разность расстояний до двух ориентиров, высота наземного ориентира или небесного светила и т. п.

Измеряемая величина, связанная с положением корабля относительно ориентира определенной функциональной зависимостью, называется *навигационным параметром*.

Навигационные параметры могут быть получены непосредственным измерением (визуальный пеленг, курсовой угол и др.) и опосредовано путем измерения и преобразования радиотехническими устройствами физических величин радионавигационного поля, создаваемого радионавигационными ориентирами (амплитуды, фазы, разности фаз принимаемых сигналов и др.), связанных определенной функциональной зависимостью с навигационными параметрами и называемых *радионавигационными параметрами*.

Значение навигационного (радионавигационного) параметра, снятого со шкалы измерительного прибора, называют отсчетом навигационного (радионавигационного) параметра*.

Измеренный прибором навигационный параметр, исправленный всеми соответствующими ему поправками, называют *обсервованным*.

* В дальнейшем в этой главе все параметры, измеряемые относительно ориентиров, будем называть навигационными, не выделяя особо радионавигационные параметры.

Различие истинного (действительного) навигационного параметра и обсервованного обусловлено наличием погрешностей измерения и неточностью вводимых поправок.

Зависимость навигационного параметра от положения корабля относительно ориентира равнозначна его зависимости от географических координат. Поэтому каждый навигационный параметр можно представить в виде функции

$$U = f(\varphi, \lambda). \quad (14.1.1)$$

Эта функция выражает собой уравнение навигационной изолинии.

Навигационная изолиния — это линия на земной поверхности, каждая точка которой соответствует одному и тому же значению навигационного параметра.

Каждому навигационному параметру соответствует своя изолиния, занимающая определенное положение на земной поверхности (относительно ориентира).

Таким образом, измерив навигационный параметр U , можно заключить, что корабль в момент измерения находился на навигационной изолинии $U = f(\varphi, \lambda)$, соответствующей этому параметру.

Наиболее распространенным в кораблевождении навигационным параметром соответствуют следующие навигационные изолинии:

— при измерении пеленга на ориентир — *изоазимута* — линия, в каждой точке которой угол A между истинным меридианом и кратчайшим направлением на ориентир есть величина постоянная (рис. 14.1.1);

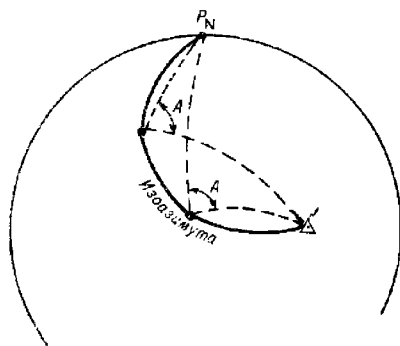


Рис. 14.1.1

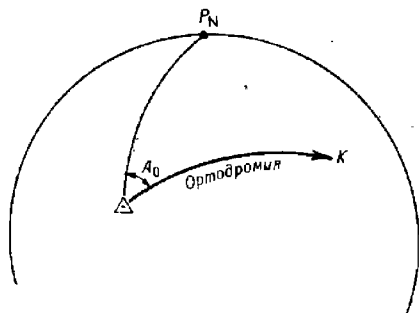


Рис. 14.1.2

— при измерении пеленга с ориентира на корабль — *ортодромия*, пересекающая меридиан ориентира под измеренным углом A_0 (рис. 14.1.2);

— при измерении расстояния — *изостадия* — сферическая окружность, проведенная из точки, в которой расположен ориентир, радиусом, равным измеренному расстоянию D (рис. 14.1.3);

— при измерении горизонтального угла или разности азимутов — *изогона* — кривая (при малых расстояниях до ориентиров — окружность), проходящая через ориентиры и вмещающая измеренный угол α (рис. 14.1.4);

— при измерении высоты светила — *круг равных высот* (высотная изолиния) — сферическая окружность, проведенная из географического

места светила (полюса освещения) как из центра, радиусом, равным зенитному расстоянию светила;

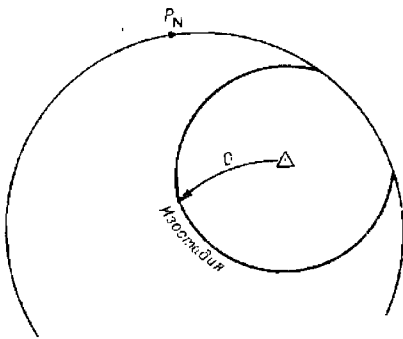


Рис. 14.1.3

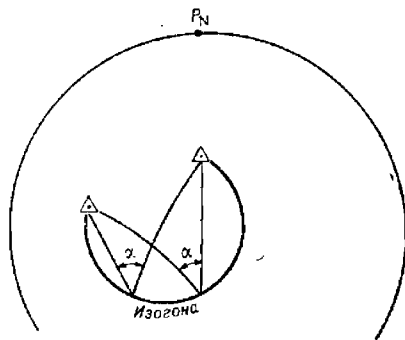


Рис. 14.1.4

— при измерении разности расстояний до ориентиров, расположенных в разных точках, — *сферическая гипербола*, в каждой точке которой разность расстояния ΔD до рассматриваемых ориентиров есть величина постоянная (рис. 14.1.5);

— при измерении глубины — *изобата* — линия, соединяющая точки с равными глубинами.

Существуют также навигационные изолинии, соответствующие постоянным значениям скорости сближения с искусственным спутником Земли (*изодона*), скорости изменения расстояния, пеленга и т. п.

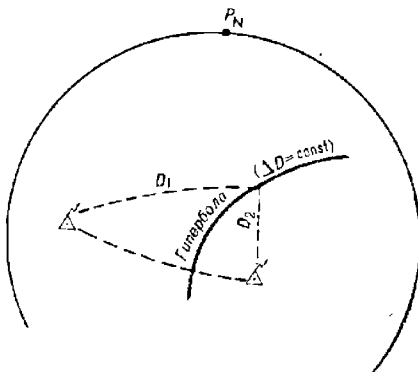


Рис. 14.1.5

§ 14.2. СУЩНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА КОРАБЛЯ ПО ОРИЕНТИРАМ

Одному измеренному навигационному параметру соответствует одно уравнение навигационной изолинии типа (14.1.1). Две искомые координаты корабля φ и λ по одному уравнению определить невозможно. Следовательно, одного навигационного параметра для определения места корабля недостаточно.

Если же одновременно измерить навигационные параметры U_1 и U_2 относительно двух ориентиров, то соответствующие им функции составят систему из двух уравнений с двумя неизвестными φ и λ :

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= f_1(\varphi, \lambda); \\ U_2 &= f_2(\varphi, \lambda). \end{aligned} \right\} \quad (14.2.1)$$

Совместное решение уравнений этой системы даст искомые координаты корабля φ и λ .

С геометрической точки зрения определение obserвованного места корабля сводится к проведению на карте двух навигационных изолиний, соответствующих одновременно измеренным навигационным параметрам, и к нахождению точки их пересечения.

Таким образом, для определения обсервованного места корабля достаточно измерить два навигационных параметра. Однако, с целью исключения промахов и более полной самокомпенсации случайных погрешностей, координаты корабля по возможности определяют по трем и более навигационным параметрам, используя для этой цели соответствующее количество ориентиров.

Место корабля, полученное независимо от счисления по навигационным параметрам, измеренным относительно ориентиров, называется *обсервованным*.

Совокупность действий, выполняемых при получении обсервованного места, называют *обсервацией*.

Координаты обсервованного места называются *обсервованными* координатами φ_0 и λ_0 .

В зависимости от числа и вида навигационных параметров, используемых для обсервации, определяется способ обсервации. Например, обсервация по трем компасным пеленгам, по двум радиопеленгам и т. п.

Обсервация может быть получена по однородным навигационным параметрам — по навигационным параметрам одного вида, например по двум горизонтальным углам или по двум разностям расстояний, и по разнородным навигационным параметрам — по навигационным параметрам различного вида, например по компасному пеленгу и радиолокационному расстоянию.

Счислимое место из-за погрешностей в элементах счисления в общем случае не совпадает с обсервованным.

Различие между обсервованным и счислимым местом называется *невязкой*. Она определяется вектором между счислимым и обсервованным местом и, являясь поправкой счислимого места, характеризуется направлением со счислимого места к обсервованному и длиной отрезка

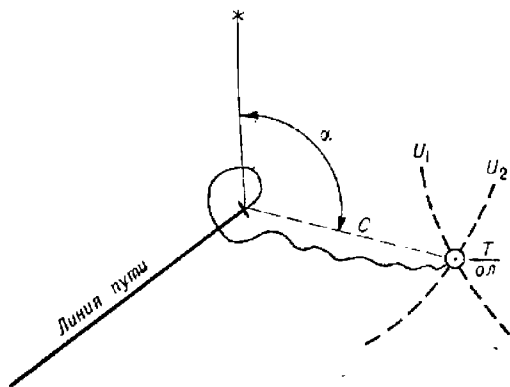


Рис. 14.2.1

между счислимым и обсервованным местом в милях (направление измеряется с точностью до градуса, длина отрезка в общем случае с точностью до 0,1 мили, в особых случаях — до 0,05 мили). Невязка обозначается символом C (рис. 14.2.1) и графически изображается затушающей кривой от счислимого места к обсервованному.

При наличии обсервованного места время и отсчет лага подписываются не у счислимого места, а у обсервованного.

Обсервованное место корабля, полученное с точностью, превышающей точность счислимого места в три и более раза, принимается за исходную точку для дальнейшего счисления. Этим условиям, как правило, соответствуют обсервации, полученные по видимым ориентирам при прибрежном плавании, а также обсервации, полученные с помощью высокоточных радионавигационных и спутниковых навигационных систем.

Обсервованное место корабля находится или графическим методом путем определения точки пересечения прокладываемых на карте навигационных изолиний, являющихся линиями положения корабля (в дальнейшем — линии положения), или аналитическим методом путем решения системы уравнений (14.2.1).

Графический метод реализуется, как правило, вручную. Он используется в двух разновидностях.

При плавании вблизи берегов, когда ориентиры находятся на дальности визуального контакта, навигационные изолинии (линии положения) изображаются на карте простыми линиями — прямыми или окружностями. Проведение на карте таких линий не вызывает затруднений. В этом случае обсервованное место корабля определяется по навигационным изолиниям, проведенным относительно ориентиров.

При плавании в открытом море (океане), когда ориентиры находятся на больших расстояниях от корабля, навигационные изолинии (линии положения) изображаются на карте сложными кривыми. Это обстоятельство, а также расположение ориентиров за пределами данного листа путевой карты существенно осложняют прокладку навигационных изолиний. В этом случае место корабля определяется не по навигационным изолиниям, а по заменяющим их прямым линиям, которые принято называть *линиями положения*, наносимым на карту относительно счислимого места корабля.

Чаще всего в качестве линии положения используется прямая, касательная к навигационной изолинии в точке, расположенной на кратчайшем расстоянии от счислимого места корабля.

Роль линии положения может выполнять также хорда, проведенная через две точки навигационной изолинии, расположенные вблизи счислимого места корабля.

Аналитический метод определения места в отличие от графического реализуется, как правило, с помощью вычислительной техники. Уравнения различных навигационных изолиний (14.1.1) выражаются существенно отличающимися друг от друга тригонометрическими функциями. Это вызывает необходимость разрабатывать специальные алгоритмы для каждого способа определения места, что приводит к усложнению математического обеспечения и к неэкономичной загрузке машинной памяти. Поэтому вместо аналитического решения уравнений навигационных изолиний современные специализированные цифровые вычислительные машины чаще всего решают задачу определения места путем совместной обработки уравнений линий положения.

Уравнения линий положения связывают обсервованный навигационный параметр и поправки к счислимым координатам $\Delta\varphi$ и $\Delta\lambda$ и для любых навигационных параметров имеют линейный вид:

$$U = F(\Delta\varphi, \Delta\lambda).$$

Использование уравнений линий положения унифицирует алгоритм определения места корабля и приводит к существенному упрощению решения задачи.

В море нередко возникают ситуации, когда имеется лишь один навигационный ориентир. В таких случаях место корабля определяется по разновременным измеренным навигационным параметрам.

Способ определения места корабля по разновременным измеренным навигационным параметрам называется *крыйс-способом*.

Сущность этого способа состоит в специальном разделении моментов измерения навигационных параметров и в приведении навигационной изолинии (линии положения), соответствующей первому навигационному параметру, к моменту измерения второго навигационного параметра. Поскольку приведение первой изолинии производится по счислению (первая навигационная изолиния смещается параллельно самой себе по вектору плавания за интервал времени между измерениями навигационных параметров), то полученное крыйс-способом место называется *счислимо-обсервованным*.

Точность счислимо-обсервованного места всегда ниже точности обсервованного места, определенного по тем же навигационным параметрам, так как оно дополнительно отягощено погрешностью счисления.

Каждое обсервованное или счислимо-обсервованное место обозначается на карте своим условным знаком. Вид знака зависит от способа определения места и от типа технических средств, с помощью которых измерялись навигационные параметры.

§ 14.3. ОБОБЩЕННЫЙ МЕТОД ЛИНИЙ ПОЛОЖЕНИЯ

Обобщенный метод линий положения — это метод нахождения обсервованного места корабля по линиям положения любых навигационных параметров, уравнения которых выражены в координатной системе с начальной точкой в счислимом месте корабля или в любой произвольно выбранной точке, расположенной вблизи счислимого места.

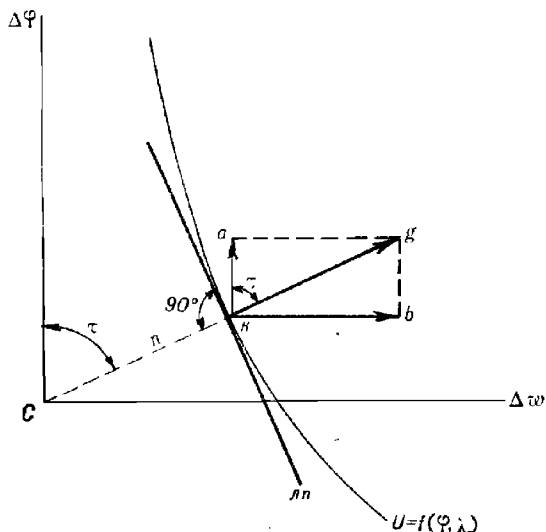


Рис. 14.3.1

Обобщенный метод линий положения применяется для нахождения обсервованного места корабля в случае отсутствия ориентиров на карте, т. е. при значительном удалении корабля от ориентиров, а также при автоматизированном способе определения места с помощью ЭВМ.

Место корабля принимается в точке пересечения линий положения. При графических методах линии положения наносятся на карту относительно счислимго места по рассчитанным элементам линий положения, при аналитических методах рассчитываются коэффициенты и свободные члены линий положения, производится совместное решение уравнений линий положения и в результате находятся поправки к счислимым координатам.

Уравнение линии положения, касательной к навигационной изолинии в точке, расположенной на кратчайшем удалении от счислимго места корабля (рис. 14.3.1) или от иной точки с известными координатами, имеет следующий вид

$$a\Delta\varphi + b\Delta\lambda = l, \quad (14.3.1)$$

$$\text{где } a = \left(\frac{\partial f}{\partial \varphi}\right)_c; \quad b = \left(\frac{\partial f}{\partial \lambda}\right)_c;$$

f — функция, связывающая измеренный параметр U и координаты φ, λ ;

$$l = U - U_c;$$

U — наблюдаемый навигационный параметр, т. е. измеренный навигационный параметр, исправленный всеми поправками;

U_c — счислимый навигационный параметр, т. е. параметр, вычисленный относительно счислимой точки или относительно любой расчетной точки (вблизи изолинии) с известными координатами.

Величины a и b называют коэффициентами уравнения линии положения, а l — свободным членом.

При графическом методе определения места используется уравнение линии положения в нормальном виде. Для перехода от уравнения линии положения в общем виде к уравнению линии положения в нормальном виде вводится понятие градиента навигационного параметра.

Градиентом навигационного параметра (навигационной изолинии, линии положения) называется вектор, характеризующий максимальное изменение навигационного параметра в данной точке.

Из математического анализа известно, что градиент функции определяется производной от этой функции по нормали к ней, т. е.

$$g = \left(\frac{\partial U}{\partial n}\right)_c.$$

Индекс «с» у производной свидетельствует о том, что производная вычисляется в рассматриваемой точке.

Переходя от бесконечно малых к конечным приращениям, получим

$$g = \frac{\Delta U}{\Delta n}, \quad (14.3.2)$$

где ΔU — некоторое малое приращение навигационного параметра;

Δn — смещение линии положения навигационной изолинии по нормали, соответствующее приращению ΔU .

Из этого выражения видно, что градиент определяет величину изменения навигационного параметра при смещении линии положения параллельно самой себе на одну единицу длины (в окрестности рассматриваемой точки).

Решив формулу (14.3.2) относительно Δn , получим

$$\Delta n = \frac{\Delta U}{g}. \quad (14.3.3)$$

Это соотношение показывает, что градиент является коэффициентом пропорциональности между изменением навигационного параметра и смещением линии положения.

Градиент навигационного параметра направлен по нормали к линии положения в сторону, соответствующую увеличению навигационного параметра. Направление градиента относительно оси ординат (меридиана) обозначается символом τ .

Из математического анализа известно также, что численное значение градиента равно геометрической сумме частных производных от функции по направлениям координатных осей, следовательно,

$$g = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial \varphi}\right)_c^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \omega}\right)_c^2} = \sqrt{a^2 + b^2}. \quad (14.3.4)$$

Отсюда видно, что коэффициенты a и b являются проекциями градиента навигационного параметра на координатные оси. Разделим обе части уравнения (14.3.1) на модуль градиента

$$\frac{a}{g} \Delta \varphi + \frac{b}{g} \Delta \omega = \frac{l}{g}. \quad (14.3.5)$$

Из рис. 14.3.1 следует, что

$$\frac{a}{g} = \cos \tau; \quad \frac{b}{g} = \sin \tau. \quad (14.3.6)$$

В соответствии с формулой (14.3.3) можно написать

$$\frac{l}{g} = \frac{U - U_c}{g} = n, \quad (14.3.7)$$

где n — отстояние обсервованной линии положения (линии положения, соответствующей обсервованному навигационному параметру) от счислимго места, называемое переносом линии положения.

После подстановки выражений (14.3.6) и (14.3.7) в равенство (14.3.5) получим уравнение линии положения в нормальном виде

$$\Delta \varphi \cos \tau + \Delta \omega \sin \tau = n. \quad (14.3.8)$$

Направление градиента навигационного параметра τ и перенос линии положения n называют элементами линии положения. С их помощью производится графическая прокладка линий положения относительно счислимго места корабля. Эта операция выполняется в следующей последовательности (рис. 14.3.2):

— рассчитывается модуль и направление градиента навигационного параметра. Для этого можно использовать формулы (14.3.4) и (14.3.6), однако значительно проще они рассчитываются по формулам, вытекающим из геометрической интерпретации сущности градиента;

— по формулам сферической или плоской тригонометрии (в зависимости от расстояния до ориентира) рассчитывается значение счислимго навигационного параметра — параметра, навигационная изолиния которого проходит через счислимое место корабля. Формулы для расчета счислимых навигационных параметров определяются видом навигационного параметра и приводятся в § 27.2;

— по формуле (14.3.7) рассчитывается перенос первой линии положения n_1 ;

— из счислимой точки под углом τ_1 к меридиану проводится прямая, на которой откладывается отрезок $ck_1 = n_1$; отрицательный перенос (счислимый навигационный параметр больше обсервованного) откладывается в направлении, обратном направлению τ . Полученная точка k_1 — точка касания линии положения и навигационной изолинии — определяющая точка;

— через определяющую точку k_1 перпендикулярно прямой ck_1 проводится первая линия положения ln_1 .

Проложив таким же образом вторую линию положения с элементами τ_2 и n_2 , в точке пересечения линий положения находят obserвованное место корабля.

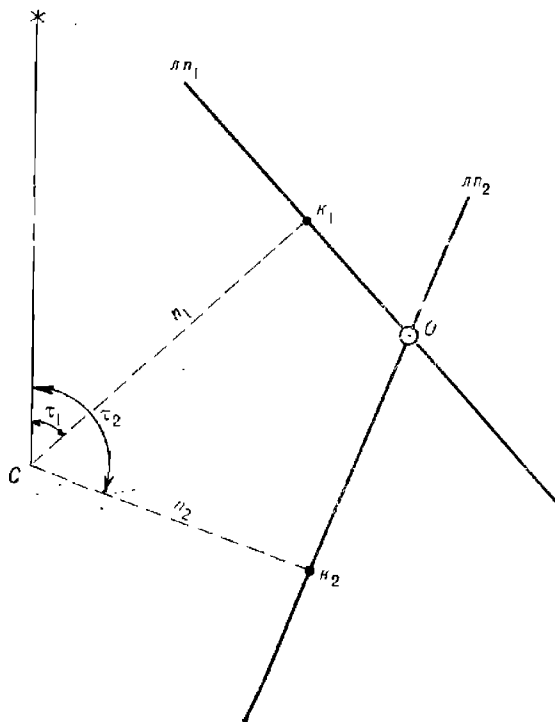


Рис. 14.3.2

Методической погрешностью, обусловленной прокладкой не самих навигационных изолиний, а касательных к ним, при реальных погрешностях счисления, при ручной обработке линий положения, как правило, пренебрегают.

При аналитическом способе определения места по двум навигационным параметрам совместно решаются два уравнения линий положения:

$$\left. \begin{aligned} a_1 \Delta\varphi + b_1 \Delta\omega &= l_1; \\ a_2 \Delta\varphi + b_2 \Delta\omega &= l_2. \end{aligned} \right\} \quad (14.3.9)$$

В результате находятся искомые поправки к счислимым координатам (или к точке, принятой за начало координат) $\Delta\varphi$ и $\Delta\omega$:

$$\left. \begin{aligned} \Delta\varphi &= \frac{b_2 l_1 - b_1 l_2}{a_1 b_2 - a_2 b_1}; \\ \Delta\omega &= \frac{a_1 l_2 - a_2 l_1}{a_1 b_2 - a_2 b_1}. \end{aligned} \right\} \quad (14.3.10)$$

Обсервованные координаты рассчитываются по формулам:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_0 &= \varphi_c + \Delta\varphi; \\ \lambda_0 &= \lambda_c + \Delta\omega \sec \varphi_0. \end{aligned} \right\} \quad (14.3.11)$$

С целью устранения методической погрешности, обусловленной заменой навигационных изолиний линиями положения, при автоматизированном решении (14.3.9) применяется способ последовательных приближений (итераций): вычисленные по линиям положения координаты принимаются за числимые и процедура расчета повторяется до тех пор, пока разность между последовательно рассчитанными координатами не достигнет пренебрежимо малой или допустимой величины.

§ 14.4. ВЛИЯНИЕ И УЧЕТ НЕОДНОВРЕМЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ НАВИГАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ

Неодновременность измерения навигационных параметров при движении корабля приводит к погрешности в obserвованном месте.

Выведем значение этой погрешности. Пусть в момент T_1 , когда корабль находится в точке O_1 (рис. 14.4.1), измерен первый навигационный параметр. Ему соответствует изолиния (линия положения) I—I.

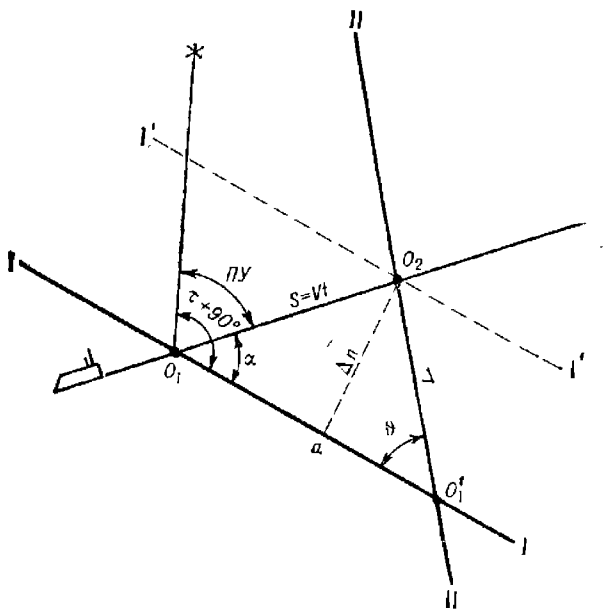


Рис. 14.4.1

После того как корабль прошел расстояние $S=V(T_2 - T_1) = Vt$, в момент T_2 измерен второй навигационный параметр и получена изолиния (линия положения) II—II. Если не учесть перемещения корабля за интервал между измерениями навигационных параметров, то место корабля будет получено не в точке O_2 , в которой фактически находился корабль, а в точке O_1' . Отрезок $\Delta = O_2O_1'$ составляет погрешность места, обусловленную неодновременностью измерения навигационных параметров.

Для определения величины этой погрешности из точки O_2 опустим перпендикуляр $O_2a = \Delta n$ на линию I—I. Тогда, учитывая, что изолинии (линии положения) пересекаются под углом θ , из треугольника aO_2O_1'

получим: $\Delta = \Delta n / \sin \theta$. Из треугольника aO_2O_1 следует, что $\Delta n = S \sin \alpha$. Поэтому

$$\Delta = \frac{S \sin \alpha}{\sin \theta} = \frac{V t \sin \alpha}{\sin \theta}, \quad (14.4.1)$$

где α — угол между линией пути и направлением первой навигационной изолинии (линии положения);

V — путевая скорость корабля;

t — интервал времени между измерениями навигационных параметров.

Учитывая, что $\alpha = \tau_1 \pm 90^\circ - \Pi Y$, последнюю формулу можно переписать так

$$\Delta = \frac{S \cos(\tau_1 - \Pi Y)}{\sin \theta}. \quad (14.4.2)$$

Анализируя полученное выражение, можно сделать следующие выводы:

— погрешность Δ равна нулю, если $\alpha = 0$, т. е. если первая навигационная изолиния совпадает с направлением пути корабля. Отсюда следует практическое правило: первым измеряется навигационный параметр относительно того ориентира, навигационная изолиния (линия положения) которого составляет острый угол с линией пути;

— величина погрешности растет с увеличением скорости хода корабля и с увеличением интервала времени между измерениями навигационных параметров;

— при прочих равных условиях (для независимых параметров) угол пересечения навигационных изолиний, близкий к прямому, является наиболее выгодным.

В общем случае первая навигационная изолиния не совпадает с направлением линии пути, т. е. $\alpha \neq 0$. Поэтому практически всегда возникает необходимость учета неодновременности измерения навигационных параметров. Он может быть произведен несколькими способами.

Первый способ состоит в приведении к одному моменту измеренных навигационных параметров. Этот способ основан на предположении, что навигационные параметры на коротком интервале изменяются равномерно с течением времени. Поэтому он применяется в случае, если все навигационные параметры измерены в течение короткого интервала времени, не превышающего 1,0—1,5 мин.

Способ реализуется следующим образом: в быстрой последовательности измеряются навигационные параметры U'_1 и U_2 относительно первого и второго ориентиров, замечается время и отсчет лага и после этого сразу же вновь измеряется навигационный параметр относительно первого ориентира U''_1 . Навигационные параметры, измеренные относительно первого ориентира, приводятся к моменту измерения второго навигационного параметра путем осреднения: $U_1 = 0,5 (U'_1 + U''_1)$.

Если место определяется по трем ориентирам, то первый и второй навигационные параметры приводятся к моменту измерения третьего путем повторных измерений навигационных параметров относительно второго и первого ориентиров и расчета их средних значений.

При более длительных интервалах между измерениями навигационных параметров применяется второй способ — приведение навигационных изолиний (линий положения). Из рис. 14.4.1 видно, что для получения истинного места в точке O_2 первую навигационную изолинию (линию положения) необходимо сместить параллельно самой себе вдоль линии пути на величину $S_1 = V (T_2 - T_1)$.

Если место определяется по трем ориентирам, то первая навигационная изолиния смещается на величину $S_1 = V(T_3 - T_1)$, а вторая на величину $S_2 = V(T_3 - T_2)$. Полученное при этом obserвованное место будет соответствовать времени и отсчету лага третьего измерения.

При приведении навигационных изолиний (линий положения) к одному моменту принципиально безразлично, от какой точки приводимой изолинии откладывается вектор \vec{S} : он может быть отложен и от точки пересечения навигационной изолинии с линией пути, и от любой другой произвольной точки, находящейся на навигационной изолинии. Если ориентиры расположены в пределах данной карты, то приведение навигационных изолиний может быть произведено путем прокладки их относительно смещенных ориентиров: первый ориентир смещается по направлению линии пути корабля на величину $S_1 = V(T_n - T_1)$, второй — на величину $S_2 = V(T_n - T_2)$, i -й — на величину $S_i = V(T_n - T_i)$. Ориентир, навигационный параметр относительно которого измерялся последним, не смещается.

Третий способ — аналитический. Его сущность состоит в расчете поправки ΔU_i к i -му навигационному параметру за приведение его к моменту измерения последнего или любого другого n -го навигационного параметра.

Из определения градиента навигационного параметра (формула 14.3.2) следует, что $\Delta U_i = g \Delta n$. Ранее имели $\Delta n = S \sin \alpha = S \cos(\tau_i - \text{ПУ})$. Поэтому после замены величины S на $V(T_n - T_i)$ получим

$$\Delta U_i = V(T_n - T_i) g \cos(\tau_i - \text{ПУ}).$$

Приведенное значение i -го навигационного параметра будет равно

$$U_i = U'_i + \Delta U_i,$$

где U'_i — obserвованный навигационный параметр.

При приведении навигационного параметра к последнему моменту знак поправки ΔU_i определяется знаком величины $\cos(\tau_i - \text{ПУ})$.

§ 14.5. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ДЕЙСТВИЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ОБСЕРВАННОГО МЕСТА КОРАБЛЯ

Определение obserвованного места корабля графическим методом производится в следующей последовательности:

- по навигационной карте относительно счислимого места корабля выбираются ориентиры. Предпочтение отдается близлежащим ориентирам, угол между направлениями на которые близок к прямому (во всяком случае не меньше 30°);

- производится опознание выбранных ориентиров по их характеристикам (режиму работы); при надежном счислении навигационные параметры, измеренные относительно ориентиров, не должны существенно отличаться от счислимых;

- производится точное измерение навигационных параметров с фиксацией времени и отсчета лага;

- навигационные параметры исправляют приборными и методическими поправками и в результате получают obserвованные навигационные параметры;

- рассчитывается счислимое место, соответствующее моменту измерения последнего навигационного параметра;

- производится приведение измерений к одному моменту;

— проводятся навигационные изолинии, соответствующие приведенным обсервованным навигационным параметрам;

— в точке пересечения навигационных изолиний находится обсервованное место корабля, которое обозначается соответствующим условным знаком, временем и отсчетом лага;

— определяются направление и величина невязки;

— рассчитывается СКП обсервации;

— производится запись обсервации на правую страницу навигационного журнала: время, отсчет лага, название ориентира, измеренный навигационный параметр, все поправки, которыми исправлялся измеренный параметр. Аналогичным образом записываются и другие навигационные параметры. После записи последнего навигационного параметра фиксируется невязка (направление и величина). При определении места по неаблюдаемым (визуально или с помощью РЛС) ориентирам дополнительно записываются координаты обсервованного места и его точность.

При определении места обобщенным методом линий положения после измерения навигационных параметров производится дополнительная операция — вычисление счислимых навигационных параметров. Для этого используются различного вида таблицы или ПКМ (ЭКВМ).

При использовании навигационных систем, сопряженных с электронной вычислительной техникой, реализуется аналитический метод обсервации: все основные операции по определению обсервованного места и по документированию обсервации производятся автоматически.

Если обсервованное место объединяется со счислимым, то невязка определяется относительно осредненного вероятнейшего места.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА КОРАБЛЯ ПО ВИЗУАЛЬНО НАБЛЮДАЕМЫМ НАЗЕМНЫМ ОРИЕНТИРАМ

К визуально наблюдаемым наземным ориентирам относятся те, которые видит наблюдатель невооруженным глазом или с помощью оптических средств.

Ожидаемая дальность видимости ориентиров в милях рассчитывается по приближенной формуле

$$D_n = 2,08(\sqrt{e} + \sqrt{h}),$$

где e — высота глаза наблюдателя, м;

h — высота ориентира относительно уровня моря, м (сведения о высотах ориентиров приводятся в навигационных пособиях „Огни и знаки“ и на морских навигационных картах).

В качестве визуально наблюдаемых наземных навигационных ориентиров используются: маяки, огни, знаки, вершины гор, мысы, характерные оконечности островов и береговой черты, а также обозначенные на карте искусственные сооружения: вышки, заводские трубы, приметные здания, церкви, башни и т. п.

Ориентиры могут визуально наблюдаться на сравнительно небольших расстояниях, поэтому все способы определения места, основанные на измерении навигационных параметров относительно наблюдаемых ориентиров, используются главным образом в прибрежном плавании, при выходе из базы и при подходе к берегу.

Основной особенностью способов определения места по визуально наблюдаемым ориентирам является их простота и сравнительно высокая точность.

§ 15.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА КОРАБЛЯ ПО ТРЕМ КОМПАСНЫМ ПЕЛЕНГАМ

Этот способ является основным при обеспечении безопасности кораблевождения в прибрежной зоне.

Для определения места используются любые надежно опознанные и четко видимые ориентиры, положение которых указано на карте. Для пеленгования выбираются ориентиры, расположенные на кратчайшем расстоянии от корабля. Углы между направлениями на ориентиры, как правило, должны находиться в пределах 30—150°. Предпочтительнее использовать ориентиры, расположенные по всему горизонту, т. е. в секторе ω , превышающем 180°. В этом случае (если линии пеленгов не пересекутся в одной точке) обсервованное место находится всегда внутри треугольника погрешностей.

Перед измерением пеленгов производится предварительная ориентация: сначала по карте — снимаются приближенные счислимые пеленги на выбранные ориентиры относительно счислимого места корабля, а затем на местности — производится опознавание ориентиров по их внешнему виду или характеристикам огней, а также путем сравнения счислимых пеленгов, снятых с карты, с предварительно измеренными с помощью пеленгатора компаса.

Окончательное пеленгование производится только после надежного опознавания ориентиров. В целях уменьшения методической погрешности за счет неодновременности пеленгования измерение пеленгов производится в быстрой последовательности. Днем сначала пеленгуются ориентиры, расположенные на носовых или кормовых курсовых углах, а затем ориентиры, расположенные на траверзе. В темное время суток первыми пеленгуются маяки и знаки, имеющие характеристики с более длительными интервалами затмения.

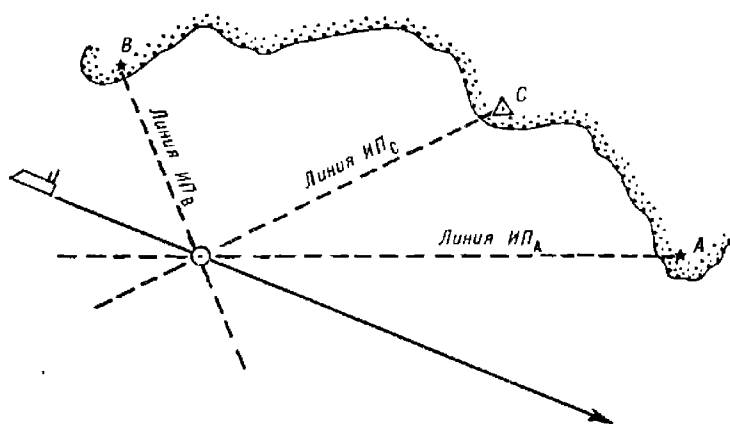


Рис. 15.1.1

Приведение пеленгов к одному моменту производится путем симметричного двукратного пеленгования первых двух ориентиров и расчетом средних пеленгов, т. е. соблюдается следующая очередность пеленгования (рис. 15.1.1): $KП_A$, $KП_B$, $KП_C$, $KП'_B$, $KП'_A$. В расчет принимаются:

$$KП_{Acp} = 0,5 (KП_A + KП'_A);$$

$$KП_{Bcp} = 0,5 (KП_B + KП'_B).$$

Время и отсчет лага фиксируются в момент измерения третьего пеленга, т. е. пеленга $KП_C$ на ориентир C .

Измеренные компасные пеленги исправляются поправкой компаса и тем самым рассчитываются истинные пеленги

$$ИП = КП + \Delta К.$$

Для исправления компасных пеленгов используется мгновенное значение поправки компаса, определенное непосредственно перед пеленгованием. Если мгновенное значение поправки неизвестно, то используется постоянная поправка. При этом следует иметь в виду, что после

маневрирования постоянная поправка гирокомпаса может существенно отличаться от мгновенной, что повлияет на точность и характер случайной взаимосвязи истинных пеленгов.

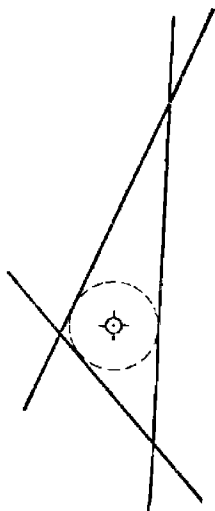


Рис. 15.1.2

Навигационной изолинией при визуальном пеленговании ориентиров является прямая — линия пеленга, проходящая через ориентир под углом, равным обратному истинному пеленгу.

При отсутствии систематических погрешностей, при пренебрежимо малых погрешностях измерения и при правильно опознанных ориентирах три линии пеленгов пересекутся в одной точке, которая и принимается за наблюдаемое место корабля.

Из-за наличия случайных погрешностей измерения пеленгов, неточности поправки компаса или в случае неверного опознания ориентира линии пеленгов образуют треугольник погрешностей.

Если стороны треугольника не превышают 0,5 мили, то вероятнейшее место корабля находится в центре на глаз вписанной окружности (рис. 15.1.2). Точность этого места оценивается приближенной СКП

$$M_0 = \frac{m_{\text{лпср}}}{\sin \theta_{\text{ср}}}, \quad (15.1.1)$$

где $m_{\text{лпср}}$ — среднее арифметическое значение средних квадратических погрешностей линий положения;

$\theta_{\text{ср}}$ — среднее арифметическое значение из острых углов между линиями пеленгов.

Если все внутренние углы треугольника острые, то

$$M_0 = 1,2m_{\text{лпср}}. \quad (15.1.2)$$

Если один внутренний угол тупой, то

$$\theta_{\text{ср}} = \frac{2}{3} (\theta_1 + \theta_2),$$

где θ_1 и θ_2 — острые углы треугольника.

Если стороны треугольника погрешностей превышают 0,5 мили, то прежде чем находить вероятнейшее место, следует определить характер погрешностей, обусловивших появление треугольника погрешностей. Для этого сначала убеждаются в правильности опознания ориентиров, а затем производится их повторное пеленгование. Получив в результате повторных измерений пеленгов новый треугольник погрешностей, сравнивают его с исходным. При этом может быть четыре случая.

А. Новый треугольник погрешностей оказался малых размеров со сторонами менее 0,5 мили. Место корабля получают в центре на глаз вписанной в треугольник окружности и его точность рассчитывают по формуле (15.1.1) или (15.1.2).

Б. Размеры треугольника погрешностей не изменились, но существенным образом изменилась его конфигурация (нарушилось их подобие). Если при этом поправка компаса известна надежно, а условия пеленгования были неблагоприятными (качка, нечеткие контуры ориентиров), то делается вывод о том, что причиной образования треугольника погрешностей являются независимые погрешности пеленго-

вания. За вероятнейшее место корабля принимается определяемый на глаз центр вписанной в треугольник окружности. СКП места рассчитывают по формуле (15.1.1) или (15.1.2).

В. Размеры и форма нового треугольника погрешностей не изменились. Если поправка компаса при этом была известна приближенно (например, после резкого маневра курсом или скоростью), то можно с большой вероятностью предположить, что постоянная поправка гирокомпаса искажена баллистическими погрешностями, а если условия пеленгования были благоприятные (практически идеальные), то делается вывод о том, что основной причиной образования треугольника погрешностей является повторяющаяся погрешность, обусловленная ошибкой в принятой поправке компаса. Причем величина повторяющейся погрешности значительно больше случайных погрешностей пеленгования.

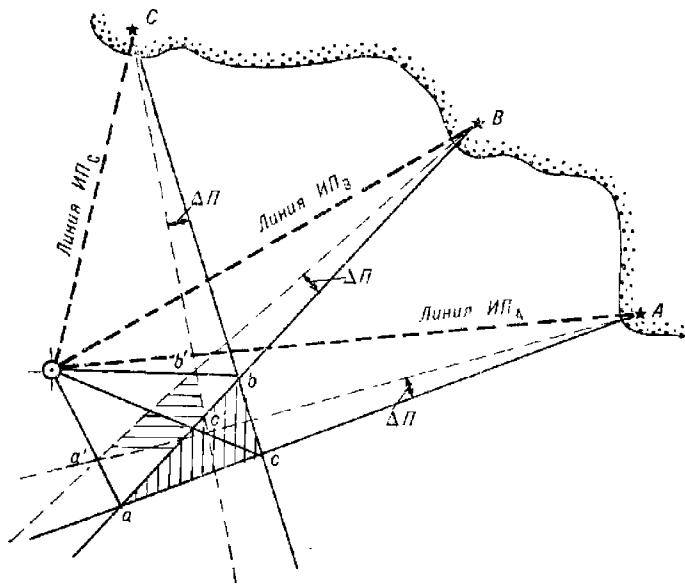


Рис. 15.1.3

В этом случае вероятнейшее место корабля принимается в точке пересечения разностных линий положения, соединяющих сходственные вершины данного треугольника abc (рис. 15.1.3) и треугольника $a'b'c'$, полученного при изменении всех трех пеленгов на одну и ту же произвольную величину ΔP . При расположении ориентиров в секторе $\omega > 180^\circ$ место корабля будет внутри треугольника, а при $\omega < 180^\circ$ — вне треугольника погрешностей.

Среднюю квадратическую погрешность места рассчитывают по приближенной формуле

$$M_0 = 0,01 m_{\Pi}^{\circ} \sum_{i=1}^3 D_i = \frac{m_{\Pi}^{\circ}}{100} (D_1 + D_2 + D_3), \quad (15.1.3)$$

где m_{Π}° — среднее квадратическое значение частной погрешности пеленга (СКП измерения пеленга);

D_i — расстояние до i -го ориентира.

Г. Форма и размеры нового треугольника погрешностей по сравнению с исходным не выявляют явных признаков преобладания тех или иных погрешностей. Условия пеленгования таковы, что не исключается наличие погрешностей измерения и погрешности в принятой поправке компаса.

В этом случае, при расположении ориентиров по всему горизонту (в секторе $\omega > 180^\circ$), вероятнейшее место корабля находится в определяемом на глаз центре вписанной в треугольник окружности.

При расположении ориентиров в секторе $\omega \leq 90^\circ$ и при

$$D_{\text{ср}} < 0,4(D_{\text{кр}_1} + D_{\text{кр}_2}),$$

где $D_{\text{ср}}$ и $D_{\text{кр}_{1,2}}$ — расстояния до среднего и до крайних ориентиров соответственно.

Вероятнейшее место корабля находится в точке O (рис. 15.1.4) — в точке пересечения линии пеленга на средний ориентир и биссектрисы противоположного угла.

При $D_{\text{ср}} > 0,7(D_{\text{кр}_1} + D_{\text{кр}_2})$ вероятнейшее место — в точке пересечения крайних пеленгов (рис. 15.1.5). В остальных случаях — в центре треугольника.

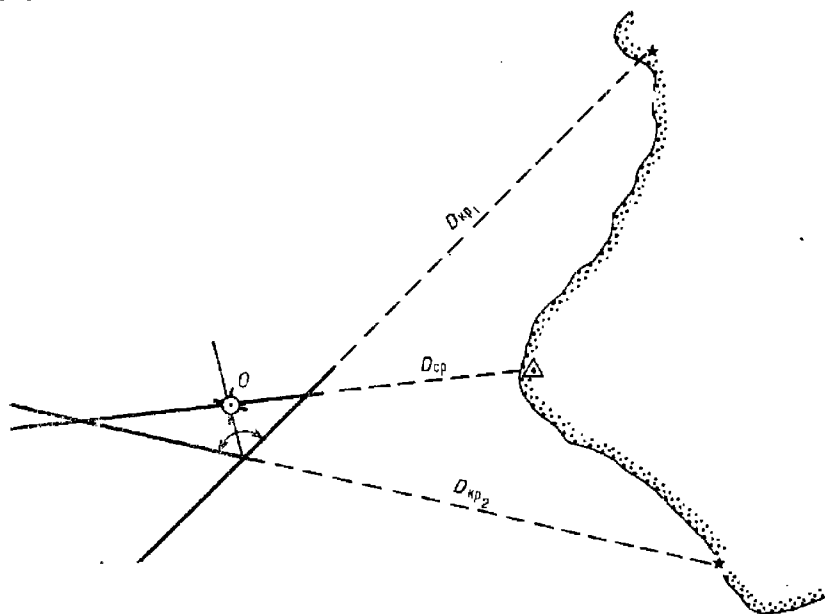


Рис. 15.1.4

При расположении ориентиров в секторе $90^\circ < \omega < 180^\circ$ и при $D_{\text{ср}} < 0,7(D_{\text{кр}_1} + D_{\text{кр}_2})$ вероятнейшее место — в точке пересечения пеленга на средний ориентир и биссектрисы противоположного угла; при $D_{\text{ср}} > 1,2(D_{\text{кр}_1} + D_{\text{кр}_2})$ вероятнейшее место — в точке пересечения крайних пеленгов. В остальных случаях — в центре треугольника.

Точность места корабля во всех этих случаях оценивается СКП, рассчитываемой по формуле (15.1.3).

Найденное вероятнейшее место корабля может быть использовано для уточнения мгновенной поправки компаса. Для этого с карты снимают значения истинных пеленгов на ориентиры $ИП_A$, $ИП_B$ и $ИП_C$ (рис. 15.1.3), а затем рассчитывают вероятнейшее значение поправки компаса

$$\Delta K = \frac{1}{3} \sum^3 (ИП_i - КП_i).$$

При средних условиях точность определения места по трем пеленгам оценивается $M_0 = 1 \dots 3$ кбт.

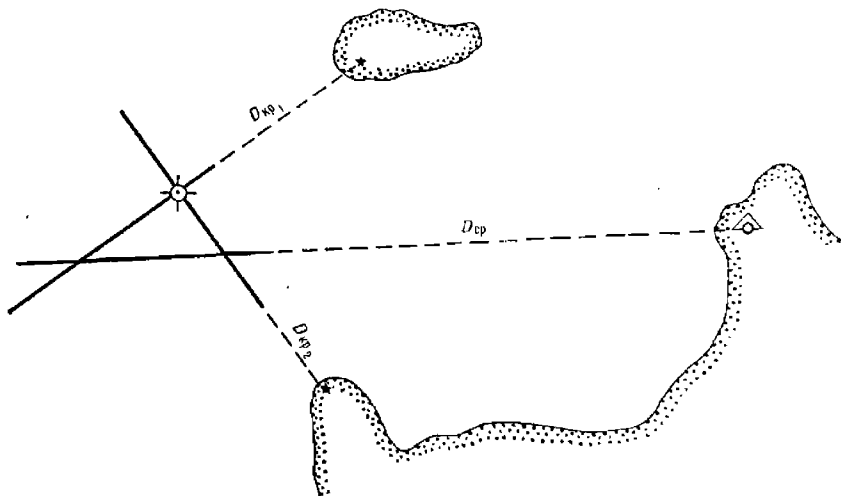


Рис. 15.1.5

§ 15.2. ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА КОРАБЛЯ ПО ДВУМ КОМПАСНЫМ ПЕЛЕНГАМ

Определение места корабля по двум компасным пеленгам производится только в том случае, когда в видимости наблюдателя находится не более двух ориентиров.

Очередность пеленгования и приведение пеленгов к одному моменту производится по принципу, изложенному в предыдущем параграфе: первым пеленгуется ориентир, расположенный на носовых или кормовых курсовых углах. Первый ориентир пеленгуется дважды — до и после измерения пеленга на второй ориентир. В расчет принимается средний пеленг на первый ориентир, а время и лаг фиксируются в момент измерения пеленга на второй ориентир.

Место корабля определяется в точке пересечения двух линий истинных пеленгов. Однако отсутствие третьей контрольной линии пеленга не позволяет проконтролировать безошибочность обсервации по критерию промахов, не дает возможности сделать суждение о надежности учитываемой поправки компаса. Именно поэтому обсервация по двум компасным пеленгам относится к разряду обсерваций с невысокой степенью надежности. Контроль отсутствия промахов осуществляется производством повторной обсервации, а надежность учитываемой поправки компаса определяется сравнением данной обсервации

с местом корабля, полученным по другим навигационным параметрам, не связанным с компасом. Рекомендуется, в частности, в момент обсервации фиксировать глубину и сравнивать ее со значением глубины на карте в обсервованном месте.

Средняя квадратическая погрешность обсервации рассчитывается по общей формуле (п. 40 приложения 3), которая с учетом зависимостей $g = \frac{57,3^\circ}{D}$ приводится к виду

$$M_0 = \frac{m_{\Pi}^{\circ}}{57,3^{\circ} \sin \Delta\tau} \sqrt{D_1^2 + D_2^2 - 2D_1 D_2 \cdot r \cos \Delta\tau}, \quad (15.2.1)$$

где m_{Π}° — полная СКП пленга, градус;

$\Delta\tau$ — угол между градиентами, равный углу между линиями пленгов ($\Delta\tau = \Delta\Pi = \Pi_2 - \Pi_1$);

D_1, D_2 — расстояния до ориентиров, мили;

r — коэффициент корреляции истинных пленгов:

- при благоприятных условиях измерения пленгов и при ориентировочно известной поправке компаса в момент пленгования $r \approx 1$;
- при неблагоприятных условиях пленгования (качка, ограниченная видимость) и при надежно известной поправке компаса в момент пленгования $r \approx 0$;
- во всех других случаях $r \approx 0,5$.

Анализ формулы (15.2.1) позволяет сделать следующие выводы:

— точность обсервации повышается с уменьшением погрешностей пленгов m_{Π}° , расстояний до ориентиров D_1 и D_2 с приближением угла $\Delta\tau$ к прямому;

— при априорной оценке корреляции предпочтительнее использовать ориентиры, направления на которые отличаются на величину, не превышающую 90° .

При существенном преобладании повторяющейся погрешности $r \approx 1$ и при $D_1 \approx D_2 = D_{\text{ср}} = 0,5 (D_1 + D_2)$ средняя квадратическая погрешность места оценивается векторiallyм отрезком

$$m = \frac{m_0^{\circ} D_{\text{ср}}}{57,3^{\circ}} \sec \frac{\Delta\Pi}{2}. \quad (15.2.2)$$

Направление и величина отрезка смещения m легко определяется графически: исходная точка пересечения пленгов — точка O (рис. 15.2.1) соединяется с точкой пересечения линий пленгов (с точкой O'), измененных в одну и ту же сторону на величину, равную повторяющейся погрешности m_0° , тогда $m = OO' = OO''$. Истинное место корабля находится в пределах отрезка $O'O''$ с вероятностью 0,39.

При существенном преобладании частных (независимых) погрешностей $r = 0$ и при

$$D_1 = D_2 = D_{\text{ср}} = 0,5 (D_1 + D_2)$$

средняя квадратическая погрешность места рассчитывается по формуле

$$M = \frac{m_{\Pi}^{\circ} D_{\text{ср}}}{41 \sin \theta}. \quad (15.2.3)$$

Относительно высокая точность определения места корабля по компасным пленгам (при отсутствии промахов и при правильном опознании ориентиров) и быстрота производства обсервации, обусловливаю-

шая возможность ее многократного повторения, позволяют использовать obserвованные места в качестве вероятнейших без их объединения со счислимыми местами, т. е. после каждой обсервации счислимое место корректируется на всю величину невязки.

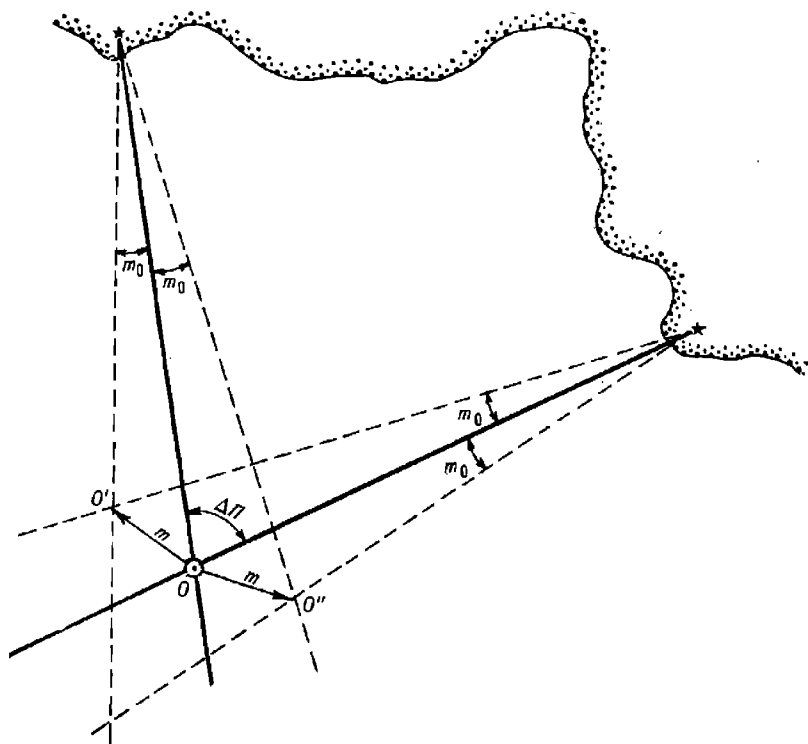


Рис. 15.2.1

§ 15.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА КОРАБЛЯ ПО ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ УГЛАМ

Способ применим при наличии в видимости наблюдателя не менее трех ориентиров. Навигационный параметр (горизонтальный угол между направлениями на два ориентира) измеряется секстаном с точностью в одну дуговую минуту. Поэтому определение места корабля по двум горизонтальным углам относится к разряду высокоточных. Этот способ может использоваться во всех случаях прибрежного плавания, когда к точности места корабля предъявляются высокие требования: при плавании по узким фарватерам, тралении, постановке корабля на якорь, координировании промерных и поисковых работ и т. п.

Измеряемые горизонтальные углы могут быть смежными, т. е. один ориентир является общим для обоих углов, или раздельными, когда каждый угол измеряется между своей парой ориентиров. Оба угла измеряются одновременно двумя наблюдателями. Если измерения производятся одним наблюдателем, то в общем случае при движении корабля производится приведение измеренных углов к одному

моменту: первый угол измеряется дважды — до и после измерения второго угла, а затем рассчитывается его среднеарифметическое значение.

Полученные в результате измерения углы (в градусах и минутах) исправляются поправкой секстана Δ_{oc} , включающей в себя поправку индекса i и инструментальную поправку s , т. е. истинный угол α рассчитывается по формуле

$$\alpha = oc + \Delta_{oc} = oc + (i + s),$$

где oc — отсчет секстана в момент измерения угла.

Навигационной изолинией, соответствующей горизонтальному углу, является *изогона* — окружность, проходящая через ориентиры и вмещающая измеренный и исправленный поправкой горизонтальный угол.

Обсервованное место корабля находят в точке пересечения двух окружностей, соответствующих углам α_1 и α_2 (рис. 15.3.1). При однократной обсервации место корабля находится построением на карте углов α_1 и α_2 с помощью протрактора. Крайние подвижные линейки протрактора устанавливаются относительно средней неподвижной линейки на величины α_1 и α_2 . Затем грани линеек совмещаются с изображениями соответствующих ориентиров на карте, при этом центральная точка оси вращения линеек будет соответствовать обсервованному месту корабля.

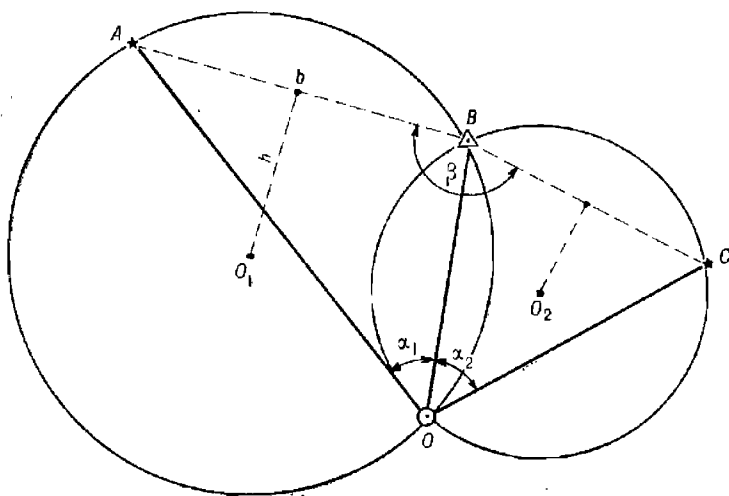


Рис. 15.3.1

При отсутствии протрактора измеренные углы могут быть смоделированы на кальке, на которой с помощью транспортира строятся измеренные углы α_1 и α_2 (рис. 15.3.2). Стороны углов совмещаются с соответствующими ориентирами, при этом вершина углов укажет обсервованное место.

Если планируется серия обсерваций по горизонтальным углам, то перед выходом корабля в море на крупномасштабной карте вычерчивается сетка изолиний горизонтальных углов — семейство изогон (окружностей), соответствующих различным углам α . Центр окруж-

ности, вмещающей угол α_i (рис. 15.3.1), находится на перпендикуляре к середине базы b — отрезку между ориентирами — в удалении от нее, равном

$$h_i = 0,5bi \operatorname{ctg} \alpha_i. \quad (15.3.1)$$

Изогоны каждой пары ориентиров проводятся различным цветом. Каждая изогона оцифровывается соответствующим значением угла α_i .

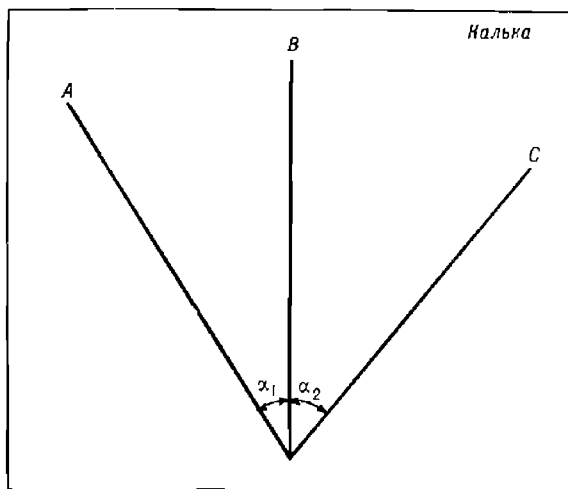


Рис. 15.3.2

Определение места корабля в этом случае существенно ускоряется. Оно сводится к нахождению точки пересечения двух изогон, соответствующих наблюдаемым углам α .

Если все три ориентира и наблюдатель находятся на одной окружности, то наблюдаемое место однозначно не определяется — случай неопределенности. Признаком неопределенности является соблюдение равенства: $\alpha_1 + \alpha_2 + \beta = 180^\circ$, где β — угол при среднем ориентире между базовыми линиями (рис. 15.3.1).

Неопределенность исключается при следующем взаимном расположении наблюдателя (корабля) и ориентиров:

- все три ориентира расположены на одной прямой линии (угол $\beta = 180^\circ$);
- средний ориентир располагается ближе к считаемому месту корабля, чем крайние ($\beta > 180^\circ$);
- считаемое место корабля находится на равных удалениях от всех трех ориентиров;
- считаемое место корабля находится внутри треугольника, образованного ориентирами.

Коэффициент корреляции углов α является величиной, несущественно отличающейся от нуля. Поэтому для оценки точности наблюдения по двум горизонтальным углам используется формула (57) приложения 3, в которой принимаются:

$$\Delta\tau = \alpha_1 + \alpha_2 + \beta - 180^\circ; \quad g = \frac{3438b}{D_i D_j} [\text{дуг. мин/ед. расст.}],$$

тогда формула п. 54 приложения 3 примет вид

$$M_0 = \frac{m'_c D_2}{3438 \sin(\alpha_1 + \alpha_2 + \beta)} \sqrt{\left(\frac{D_1}{b_1}\right)^2 + \left(\frac{D_3}{b_2}\right)^2},$$

где b_1 и b_2 — базовые расстояния между первым и вторым, вторым и третьим ориентирами соответственно, кбт;

D_1 , D_2 и D_3 — расстояния до ориентиров, снятые с карты, кбт;

m'_c — СКП измеренного и исправленного поправкой секстана горизонтального угла, дуг. мин.

СКП обсервации по горизонтальным углам в средних условиях ($D \approx 8 \dots 10$ милям, $b \approx 3 \dots 5$ милям, $\theta \approx 45^\circ$) оценивается величиной $M_0 = 0,1 \dots 0,3$ кбт.

Пример. Определили место по двум горизонтальным углам: $\alpha_1 = 29^\circ 36,5'$, $\alpha_2 = 56^\circ 18,0'$. Рассчитать СКП обсервации, если $D_1 = 4,3$ мили, $D_2 = 3,8$ мили, $D_3 = 5,6$ мили, $b_1 = 2,1$ мили, $b_2 = 4,7$ мили, $m'_c = 1,5'$, $\beta = 140^\circ 24'$.

Решение. Подставляя числовые значения в формулу, находим $M_0 = 0,05$ кбт.

§ 15.4. РАСЧЕТ РАССТОЯНИЯ ДО ОРИЕНТИРА ПО ВЕРТИКАЛЬНОМУ УГЛУ

Величина вертикального угла между направлениями на вершину и основание ориентира зависит от расстояния до ориентира. Следовательно, измерив вертикальный угол ориентира, можно рассчитать расстояние между ним и кораблем.

По высоте ориентира h , выбираемой из руководства «Огни и знаки», лощи или снимаемой с карты, высоте глаза наблюдателя e (в метрах) по формуле

$$D = \sqrt{\left(\frac{\operatorname{tg} \beta}{0,000245}\right)^2 + \frac{h-e}{0,22679}} - \frac{\operatorname{tg} \beta}{0,000245} \quad (15.4.1)$$

получаем расстояние до ориентира D в милях. Здесь β — угол между плоскостью истинного горизонта и направлением на вершину ориентира.

Величина угла β определяется по измеренному вертикальному углу ориентира.

Если счислимое расстояние до ориентира D_c больше дальности видимого горизонта D_e (нижняя часть B_2b ориентира B_2C — рис. 15.4.1 — скрыта линией видимого горизонта AA_1), то угол β рассчитывается по формуле

$$\beta = \gamma - |d|,$$

где γ — измеренный и исправленный поправкой секстана вертикальный угол; $\gamma = oc + (i + s)$;

d — наклонение видимого горизонта AA_1 относительно плоскости истинного горизонта AA_2 . Величина d измеряется наклонометром или определяется по табл. 11-а МТ—75.

Если счислимое расстояние до ориентира D_c меньше дальности видимого горизонта D_e (рис. 15.4.2), т. е. если наблюдателю видна вся высота $B_2C = h$ ориентира относительно уровня моря, то угол β рассчитывается по формуле

$$\beta = \gamma - |d_n|,$$

где d_n — наклонение зрительного луча, направленного на основание ориентира. Величина d_n определяется с помощью табл. 11-б МТ—75 по высоте глаза e и счислимому расстоянию до ориентира.

По формуле (15.4.1) составлена табл. 29 МТ—75. Аргументами для входа в таблицу являются угол β и разность высот $h - e$, м ($h > e$).

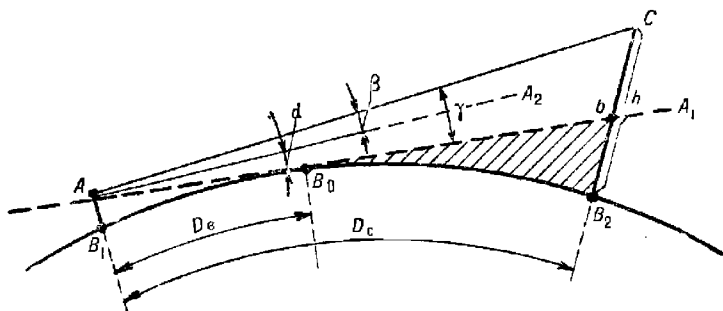


Рис. 15.4.1

При $\beta < 8^\circ$ приемлемый для практики результат дает приближенная формула

$$D = \sqrt{1,41\beta^2 + 4,41(h - e)} - 1,187\beta, \text{ мили} \quad (15.4.2)$$

Если ориентир находится в пределах дальности видимости горизонта ($D_c < D_e$) и основание ориентира (отвесная линия, проходящая через вершину ориентира) удалено от береговой линии на расстояние l

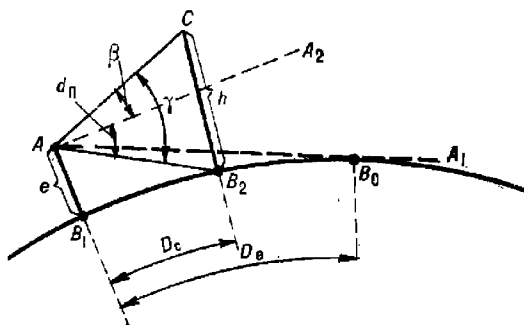


Рис. 15.4.2

(рис. 15.4.3), то к рассчитанному расстоянию D прибавляется поправка $\Delta D = Kl$. Величина коэффициента K определяется по табл. 15.4.1.

Пример.

Измерили вертикальный угол между вершиной ориентира ($h = 102$ м) и урезом воды ($oc = 1^\circ 08,0'$), $(i + s) = 0$, $e = 20$ м, $l = 1,2$ мили, $D_c = 2,4$ мили.

Определить расстояние до ориентира.

Решение:

— рассчитывается дальность видимости горизонта: $D_e = 9,3$ мили. Так как $D_c < D_e$, то наблюдали всю высоту ориентира;

— $\gamma = oc + (i + s) = 1^\circ 08,0'$;

- по $e = 20$ м и $D_c = 24$ кбт из табл. 11-6 МТ-75 определяется $d_n = -16,5'$;
- рассчитывается угол $\beta = \gamma - |d_n| = 68 - 16,5 = 51,5'$;
- по формуле (15.4.2) или с помощью табл. 29 МТ-75 определяется $D' = 2,9$ мили;
- рассчитываются отношения $e/h = 0,2$, $l/D' = 0,4$ и по ним из табл. 15.4.1 определяется коэффициент $K = 0,33$;
- рассчитывается поправка $\Delta D = 0,33 \cdot 1,2 = 0,4$ мили;
- рассчитывается искомое расстояние до ориентира: $D = D' + \Delta D = 2,9 + 0,4 = 3,3$ мили.

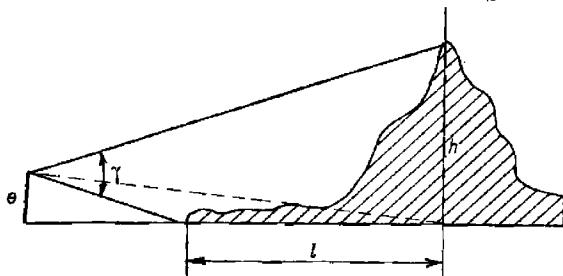


Рис. 15.4.3

Таблица 15.4.1

Коэффициенты K для расчета расстояний до ориентира по вертикальному углу

e/h	l/D'								
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
	K								
0,2	0	0,22	0,25	0,29	0,33	0,40	0,50	0,67	1,00
0,4	0	0,44	0,50	0,57	0,67	0,80	1,00	1,33	2,00
0,6	0	0,67	0,75	0,86	1,00	1,20	1,50	2,00	3,00
0,8	0	0,89	1,00	1,14	1,33	1,60	2,00	2,67	4,00

Следует учитывать, что в пособиях и на картах указывается высота ориентира относительно среднего уровня моря (нуля глубин). Поэтому в морях с приливами в высоту h необходимо вводить поправку Δh за высоту прилива. Неучет этой поправки вызовет методическую ошибку в рассчитанном расстоянии ΔD , равную

$$\Delta D = D \Delta h/h,$$

где величины ΔD и D выражены в милях, h и Δh — в метрах.

Случайная погрешность определения расстояния по вертикальному углу, обусловленная неточностью угла β , оценивается средним квадратическим значением

$$m_D = 1,2m_\beta \left| \frac{\beta}{D + \beta} - 1 \right|, \quad (15.4.3)$$

где m_β — СКП угла β

$$m_\beta = \sqrt{m_{oc}^2 + m_{i+s}^2 + m_a^2(d_n)}.$$

Средняя квадратическая погрешность наклона горизонта оценивается величиной:

- при определении наклона наклонномером $m_d \approx 0,2'$;
- при определении наклона с помощью табл. 11-а МТ—75 $m_d \approx 0,8'$.

Средняя квадратическая погрешность наклона зрительного луча оценивается по формуле

$$m'_{dн} \approx 1,3eM_{сн}/D^2,$$

где $M_{сн}$ — СКП счислимого места, мили;

D — расстояние до береговой линии (по пеленгу на ориентир), мили.

При небольших расстояниях между кораблем и ориентиром ($D_c < D_e$), т. е. когда ориентир находится в пределах дальности видимости горизонта, для расчета расстояния можно пользоваться приближенной, но более простой формулой, не учитывающей земную рефракцию

$$D = 1,86 \frac{h}{\gamma}, \quad (15.4.4)$$

где D — в милях, h — в метрах и γ — в дуговых минутах.

Методическая погрешность этой формулы (при $D_c < D_e$) составляет в среднем 0,1—0,2 мили.

Случайная погрешность расстояния при точно известной высоте ориентира оценивается средним квадратическим значением

$$m_D = \frac{m_\gamma}{\gamma} D, \quad (15.4.5)$$

где m_γ — СКП измерения угла γ :

$$m_\gamma = \sqrt{m_{oc}^2 + m_{I+s}^2}.$$

При неизвестной высоте ориентира (отдельно лежащей скалы, острова, нефтяной или газовой вышки, буя, бакена) и при небольшом расстоянии до него ($D < D_e$) величина D может быть ориентировочно оценена по измеренному вертикальному углу γ между направлением на

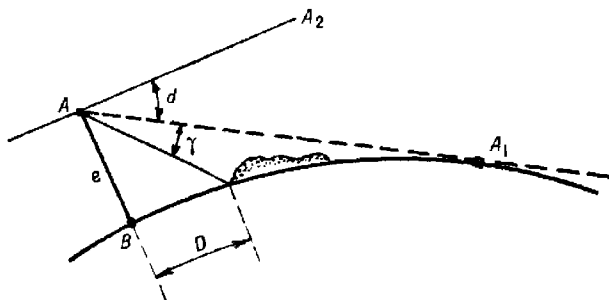


Рис. 15.4.4

видимый горизонт и направлением на основание ориентира (рис. 15.4.4):

$$D = 1,86 \frac{e}{\gamma + |d|}. \quad (15.4.6)$$

§ 15.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА КОРАБЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАССТОЯНИЯ, РАССЧИТАННОГО ПО ВЕРТИКАЛЬНОМУ УГЛУ

А. Определение места по двум расстояниям

Для реализации способа необходимо иметь в видимости наблюдателя два ориентира с известными высотами. Угол между направлениями на ориентиры должен находиться в пределах $30^\circ \leq \omega \leq 150^\circ$.

Измерение вертикальных углов γ производится одновременно двумя наблюдателями.

Если измерение вертикальных углов производится одним наблюдателем, то для уменьшения методической погрешности за счет неодновременности измерения навигационных параметров вертикальный угол первого ориентира измеряется дважды — до (γ_1) и после (γ'_1) измерения угловой высоты второго ориентира. При этом первой измеряется угловая высота того ориентира, который расположен на курсовом угле, близком к 90° . В расчет принимаются углы $\gamma_{cp} = 0,5(\gamma_1 + \gamma'_1)$ и γ_2 . Время и лаг записываются в момент измерения угловой высоты второго ориентира.

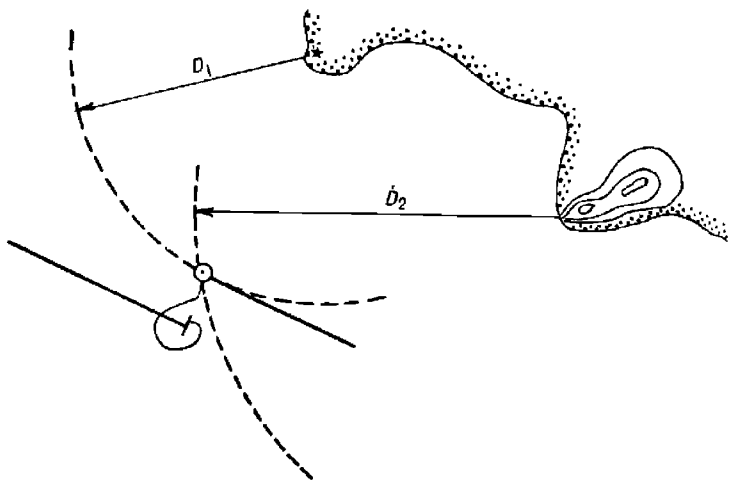


Рис. 15.5.1

Если измерение углов производилось одновременно двумя наблюдателями, то для исправления отсчетов, снятых со шкал секстанов, используются поправки этих же секстанов, которые определяются непосредственно перед определением места.

Навигационной изолинией расстояния до визуально наблюдаемого ориентира является окружность, проведенная из центра ориентира радиусом, равным вычисленному расстоянию (рис. 15.5.1). Обсервованное место корабля принимается в точке пересечения двух окружностей (ближайшей к счислимому месту корабля).

Если для определения расстояний до ориентиров использовались вертикальные углы β , включающие в качестве слагаемых наклонение плоскости видимого горизонта или наклонение зрительного луча, то эти расстояния являются корреляционно взаимосвязанными за счет по-

вторяющейся погрешности в определении d или d_n . Поэтому для расчета СКП места в этом случае используется общая формула п. 56 приложения 3, в которую подставляются значения:

$$g = 1; \Delta\tau = \omega \text{ и } m_D = 1,2m_\beta \left| \frac{\beta}{D + \beta} - 1 \right|,$$

тогда формула п. 56 приложения 3 примет вид

$$M = \frac{1,2m_\beta}{\sin \omega} \sqrt{\left(\frac{\beta_1}{D_1 + \beta_1} - 1 \right)^2 + \left(\frac{\beta_2}{D_2 + \beta_2} - 1 \right)^2 - 2r \left(\frac{\beta_1}{D_1 + \beta_1} - 1 \right) \left(\frac{\beta_2}{D_2 + \beta_2} - 1 \right) \cos \omega}. \quad (15.5.1)$$

Коэффициент корреляции r рассчитывается по одной из следующих формул:

$$r = \frac{m_d^2 + m_{i+s}^2}{m_{oc}^2 + m_d^2 + m_{i+s}^2} \text{ или } r = -\frac{m_{d_n}^2 + m_{i+s}^2}{m_{oc}^2 + m_{d_n}^2 + m_{i+s}^2}. \quad (15.5.2)$$

Пример. Высоты ориентиров $h_1 = 120$ м, $h_2 = 146$ м. Высота глаза наблюдателя $e = 8$ м. Отсчеты секстанов $oc_1 = 0^\circ 11,0'$, $oc_2 = 0^\circ 18,0'$; $i + s = 0$. Определили место по двум рассчитанным расстояниям. Вычислить СКП места, если $m_{oc} = 0,5'$, $m_{i+s} = 0,3'$, $m_d = 0,5'$, $\omega = 46,0^\circ$, $D_1 = 16,2$ мили, $D_2 = 13,7$ мили, $\beta_1 = 0^\circ 06,0'$, $\beta_2 = 0^\circ 13,0'$.

Решение:

— рассчитывается $m_\beta = \sqrt{m_{oc}^2 + m_{i+s}^2 + m_d^2} = \sqrt{0,25 + 0,09 + 0,25} \approx 0,8'$;

— рассчитывается коэффициент корреляции $r = 0,6$;

— по формуле (15.5.1) рассчитывается СКП места: $M = 0,9$ мили.

Б. Определение места по пеленгу и расстоянию, рассчитанному по вертикальному углу

Одновременно измеряются компасный пеленг на ориентир и его угловая высота.

Если наблюдения производятся одним наблюдателем, то первый параметр измеряется дважды — до и после измерения второго параметра, а затем вычисляется его среднее арифметическое значение. При расположении ориентира на носовых или кормовых курсовых углах, близких к 0 или 180° , первым измеряется пеленг на ориентир, а при расположении ориентира на траверзных курсовых углах первым измеряется вертикальный угол.

Отсчет компасного пеленга и снятый по секстану отсчет угла исправляются своими поправками:

$$ИП = КП + \Delta K;$$

$\beta = oc + (i + s) - |d|$ — при скрытом основании ориентира ($D > D_c$) — расстояние рассчитывается с помощью табл. 29 МТ-75 или по формуле (15.4.2);

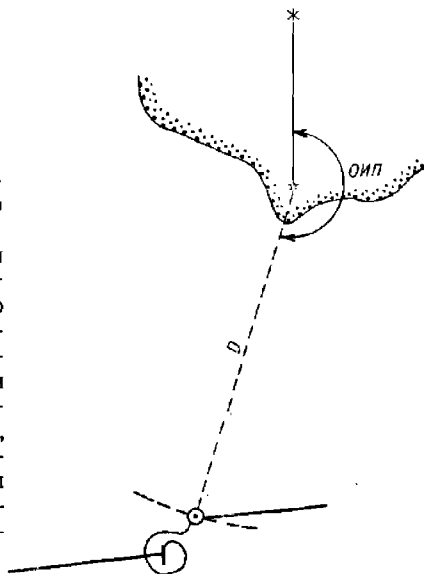


Рис. 15.5.2

$\beta = oc + (i + s) - |d_{\Pi}|$ — при видимом основании ориентира ($D < D_e$) — расстояние рассчитывается также с помощью табл. 29 МТ—75 или по формуле (15.4.2).

На карте через ориентир под углом к меридиану ($OИП = ИП \pm 180^\circ$) проводится линия пеленга (рис. 15.5.2) и на ней от ориентира откладывается расстояние D .

Так как компасный пеленг и вертикальный угол взаимонезависимы, то точность места рассчитывается по общей формуле (при $r=0$)

$$M = \sqrt{\left(\frac{m_{\Pi} D}{57,3^\circ}\right)^2 + m_D^2}, \quad (15.5.3)$$

где D — расстояние до ориентира;

m_{Π}° — СКП истинного пеленга; $m_{\Pi}^\circ = \sqrt{m^2 + m_{\Delta К}^2}$;

m — СКП измерения пеленга;

$m_{\Delta К}$ — СКП поправки компаса;

m_D — СКП расстояния.

В этой формуле величины D и m_D выражаются в одних и тех же единицах длины.

Точность места повышается (при прочих равных условиях) с уменьшением расстояния до ориентира.

§ 15.6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА КОРАБЛЯ КРЮЙС-СПОСОБАМИ

Сущность определения места корабля крюйс-способами состоит в преднамеренном разновременном измерении навигационных параметров до видимого ориентира и в приведении первой навигационной изо-

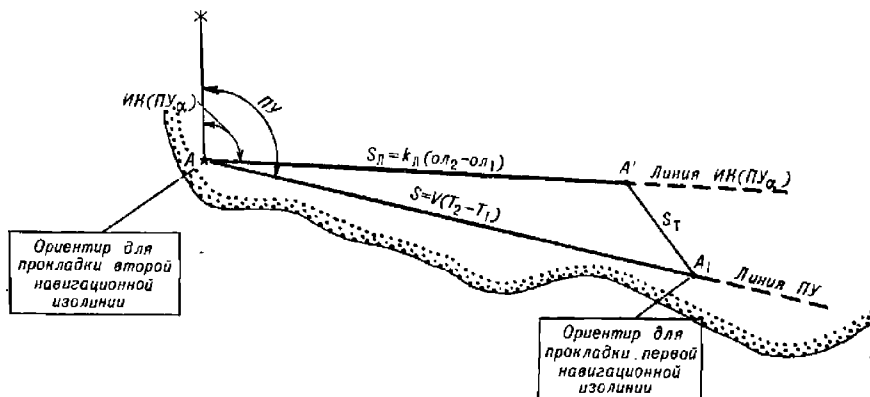


Рис. 15.6.1

линии к моменту измерения второго навигационного параметра. Пересечение первой приведенной изолинии со второй дает численно-обсервованное место корабля.

Приведение первой навигационной изолинии к моменту измерения второго навигационного параметра производится графически (рис. 15.6.1) путем смещения ориентира A в точку A_1 . Смещение производится по линии пути на величину S , соответствующую пройденному

кораблем расстоянию за время между измерениями навигационных параметров, т. е. на величину

$$S = V(T_2 - T_1),$$

где V — путевая скорость корабля, уз;
 T_1 и T_2 — моменты времени, соответствующие измерению первого и второго навигационного параметра, ч.

Направление путевого угла и величина путевой скорости при наличии течения определяются по данным навигационной прокладки (счисления) или же находятся графическим построением путевого навигационного треугольника $AA'A_1$: от ориентира A прокладываются линии истинного курса и пути, на линии IK откладывается расстояние $AA' = S_n = k_n(ol_2 - ol_1)$, где ol_1 и ol_2 — отсчеты лага в моменты измерения навигационных параметров, и из полученной точки A' проводится линия по направлению течения до пересечения с линией пути. Найденная таким образом точка A_1 и является искомым местом смещенного ориентира, относительно которого проводится первая навигационная изолиния.

При отсутствии течения ориентир A смещается в точку A' по направлению истинного курса на величину

$$S_n = k_n(ol_2 - ol_1). \quad (15.6.1)$$

При дрейфе вместо истинного курса используется угол \overline{PV}_a .

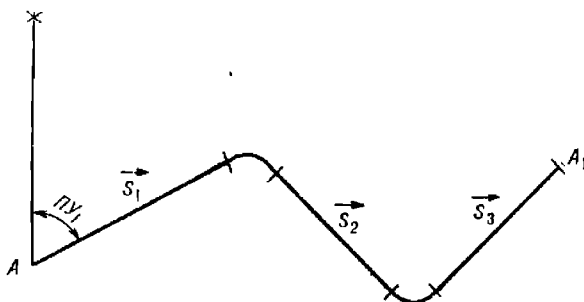


Рис. 15.6.2

Данный принцип приведения изолиний к одному моменту (путем смещения ориентира) не изменяется и при движении корабля различными курсами: от точки A (рис. 15.6.2) прокладываются все векторы плавания \vec{S}_i (с учетом циркуляции) за время между первым и вторым измерением навигационного параметра. Конец последнего вектора \vec{S} и является точкой смещенного ориентира — точкой A_1 .

Вторая навигационная изолиния проводится относительно несмещенного ориентира, т. е. относительно точки A .

Если в период между первым и вторым измерениями навигационный ориентир A скрылся, а в видимости наблюдателя появился другой ориентир B (рис. 15.6.3), то измерение второго параметра производится относительно ориентира B . При этом необходимо, чтобы угол между линиями пеленгов был не менее 30° .

Оптимальный интервал времени между измерениями навигационных параметров зависит от точности навигационных параметров и от точности счисления.

При измерении компасных пеленгов с помощью пеленгатора ПГК-2 этот интервал соответствует изменению направления на ориентир, равному $25-30^\circ$.

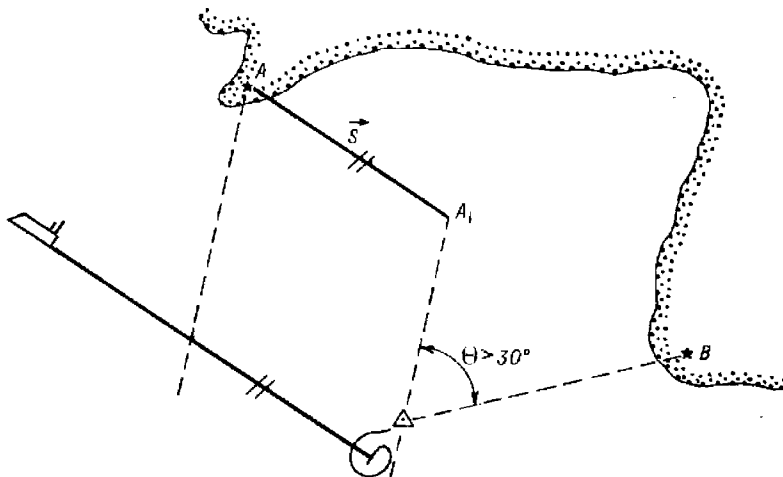


Рис. 15.6.3

Для уменьшения погрешности счисления на интервале времени приведения первого навигационного параметра ко второму следует стремиться к уменьшению этого интервала. Для заданного угла θ наиболее эффективно эта задача решается при расположении ориентира на траверзных курсовых углах и на небольших расстояниях от корабля.

СКП численно-обсервованного места рассчитывается по формуле

$$M_{\text{сo}} = \frac{1}{\sin \theta} \sqrt{m_{\text{лп}_1}^2 + m_{\text{лп}_2}^2 + \frac{M_{\text{сч}}^2}{2} - 2r(t) m_{\text{лп}_1} m_{\text{лп}_2} \cos \theta}, \quad (15.6.2)$$

где θ — угол между навигационными изолиниями;

$r(t)$ — коэффициент корреляции навигационных параметров, измеренных через интервал времени t .

Величина $r(t)$ определяется по нормированной корреляционной функции навигационного параметра ($t = \tau$). При измерении компасных пеленгов $r(t) = 0$ (при надежно известной поправке компаса) и $r(t) \approx 0,5$ (при ориентировочно известной поправке компаса). При измерении расстояний с помощью РЛС величина $r(t) = 0$. При определении расстояний по вертикальным углам величина $r(t)$ определяется по формулам (15.5.2).

Если интервал времени t (ч) $\leq 2/3 m_{\text{лп}}$ (мили), то погрешностью счисления в формуле (15.6.2) можно пренебречь (для кораблей с относительными лагами).

Практическое выполнение способа:

А. Крюйс-пеленг:

— измеряется пеленг на ориентир и фиксируются время (T_1) и отсчет лага ($ол_1$);

— рассчитывается истинный пеленг и на карте через ориентир проводится линия истинного пеленга (рис. 15.6.4);

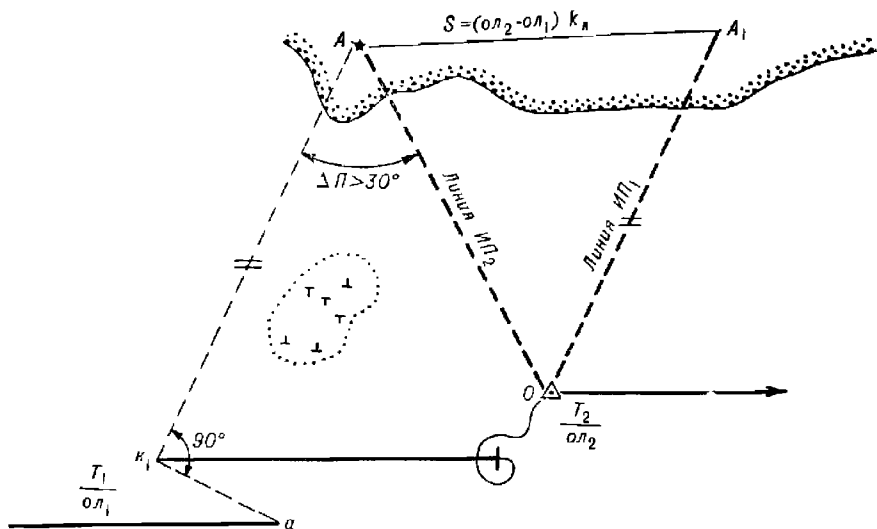


Рис. 15.6.4

— рассчитывается счислимое место на момент T_1 (точка a) и производится его уточнение по результату измерения первого пеленга: точка a переносится на линию первого пеленга (по перпендикуляру к ней) — в точку K_1 . Этот перенос особенно важен при плавании вблизи навигационных опасностей, когда линия курса после переноса оказывается смещенной в сторону опасности;

— рассчитывается требуемый интервал времени t между измерениями пеленгов. Для этого производится расчет по карте: находится счислимая точка на линии пути, соответствующая пеленгу на ориентир $ИП_2 = ИП_1 \pm 30^\circ$, и по ней находится расстояние S , требуемое для изменения пеленга на 30° , а затем и искомый интервал времени $t = S/V$;

— в момент времени, близкий к $T_2 = T_1 + t$, измеряется второй пеленг на тот же ориентир и замечается $ол_2$ и фактическое время T_2 . После исправления пеленга поправкой компаса на карте через ориентир A проводится линия второго истинного пеленга;

— ориентир A смещается по направлению пути на расстояние $S = V(T_2 - T_1)$ в точку A_1 и через нее проводится линия первого истинного пеленга до пересечения с линией второго пеленга. Точка O — счислимо-обсервованное место корабля;

— относительно точки K_1 ($T_1, ол_1$) рассчитывается счислимое место на момент измерения второго пеленга и измеряется невязка;

— по формуле (15.6.2) рассчитывается СКП места и производится запись в навигационный журнал.

Б. Крюйс-расстояние:

— с помощью корабельного радиолокатора (гидролокатора) или посредством измерения вертикального угла определяется первое расстояние до ориентира D'_1 , фиксируются время T_1 и отсчет лага $ол_1$;

— раствором циркуля, равным измеренному и исправленному поправкой расстоянию $D_1 = D'_1 + \Delta D$, из места ориентира (точка A) как из центра проводится дуга окружности (рис. 15.6.5);

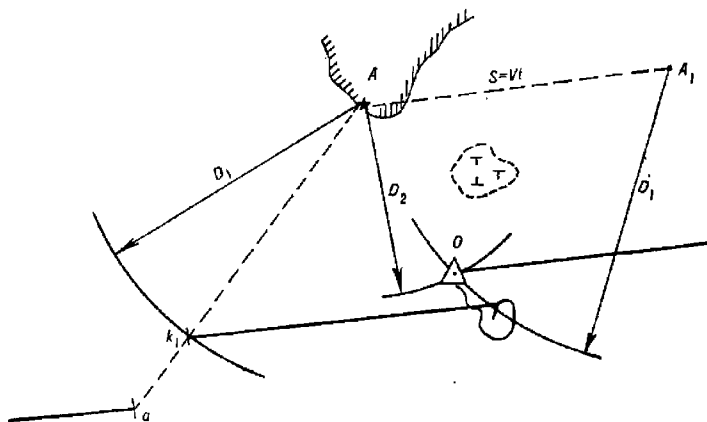


Рис. 15.6.5

— рассчитывается числимое место (точка a) на момент измерения первого расстояния и производится его корректура: точка a соединяется с ориентиром A и пересечение этой линии с дугой окружности D_1 дает откорректированное числимое место K_1 на момент измерения первого расстояния. Корректура места по одной линии положения целесообразна лишь в том случае, если место корабля смещается в сторону опасности;

— по результатам прокладки на карте определяется интервал счисления t между первым и вторым измерением расстояний до ориентира;

— в момент времени, близкий к $T_2 = T_1 + t$, измеряется второе расстояние на тот же ориентир и замечается фактическое время T_2 и отсчет лага $ол_2$. После исправления расстояния соответствующими поправками на карте из точки A как из центра проводится дуга окружности радиусом D_2 ;

— ориентир A смещается по направлению пути на расстояние $S = V(T_2 - T_1)$ в точку A_1 и из нее как из центра проводится дуга окружности радиусом D_1 . Пересечение этой окружности с окружностью D_2 дает числимо-обсервованное место корабля — точку O на момент T_2 ;

— относительно точки K_1 ($T_1, ол_1$) рассчитывается числимое место корабля на момент получения числимо-обсервованного места и измеряется невязка;

— по формуле (15.6.2) рассчитывается СКП места;

— производится запись в навигационный журнал.

В. Крюйс-угол

Способ используется при ненадежно известной поправке курсоуказания. Высокая точность измерения горизонтального угла секстаном позволяет получить обсервацию при сравнительно небольших углах пересечения навигационных изолиний ($0 = 5 - 10^\circ$) и, следовательно, при коротких интервалах между измерениями горизонтальных углов.

После измерения первого горизонтального угла α_1 находится центр окружности, вмещающей этот угол, — точка O_1 (рис. 15.6.6). Удаление центра O_1 от середины базы находится по формуле (15.3.1). Графически точка O_1 находится на пересечении перпендикуляра к середине линии базы и стороны угла $90^\circ - \alpha_1$, отложенного при одном из ориентиров от линии базы в сторону счислимго места корабля (при $\alpha > 90^\circ$ угол $\alpha - 90^\circ$ откладывается в противоположную сторону).

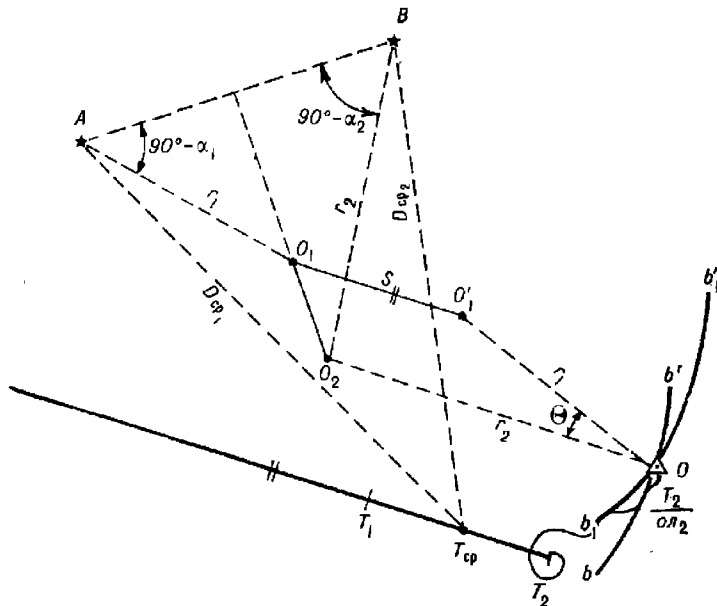


Рис. 15.6.6

После изменения счислимго направления на центр первой окружности O_1 на $5-10^\circ$ (через 2—4 мин после первого измерения) в момент T_2 вновь измеряется горизонтальный угол α_2 и одним из указанных способов находится центр окружности, вмещающей этот угол — точка O_2 . Из точки O_2 как из центра радиусом $r_2 = O_2B$ проводится дуга окружности bb' . Точка O_1 смещается по направлению пути на величину $S = V(T_2 - T_1)$ в точку O_1' и из нее радиусом $r_1 = O_1'A$ проводится дуга b_1b_1' . Полученная точка O и будет счислимго-обсервованным местом корабля.

СКП (в милях) рассчитывается по формуле

$$M_{co} = \frac{1}{\sin \theta} \sqrt{\left(\frac{m'_\alpha}{3438b}\right)^2 2D_{cp1}^2 \cdot D_{cp2}^2 + \frac{M_{сч}^2}{2}}, \quad (15.6.3)$$

где D_{cp1} и D_{cp2} — расстояния до левого и правого ориентиров соответственно, измеренные по карте от счислимой точки, соответствующей среднему моменту времени $T_{cp} = 0,5(T_1 + T_2)$, мили.

Учитывая, что первое слагаемое в реальных условиях определения места меньше одной трети второго, для практических расчетов можно принять формулу

$$M_{co} = \frac{M_{сч}}{1,4 \sin \theta}. \quad (15.6.4)$$

Угол θ может быть измерен как угол между направлениями OO_1 и OO_2 .

Малость угла θ обуславливает высокие требования к точности графических построений на карте. Целесообразно все расчеты производить с помощью ПМК. Точность данного способа (при $\theta = 5-10^\circ$) не ниже точности определения места корабля по двум компасным пеленгам (с надежно известной поправкой компаса).

§ 15.7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА КОРАБЛЯ ПО РАЗНОРОДНЫМ НАВИГАЦИОННЫМ ПАРАМЕТРАМ

В практике кораблевождения при плавании в видимости береговых ориентиров наиболее широкое применение нашли следующие способы определения места по разнородным навигационным параметрам:

- по пеленгу и расстоянию (§ 15.5);
- по пеленгу и горизонтальному углу;
- по створу и горизонтальному углу;
- по створу и пеленгу;
- по створу и расстоянию;
- по пеленгу и расстоянию относительно двух ориентиров.

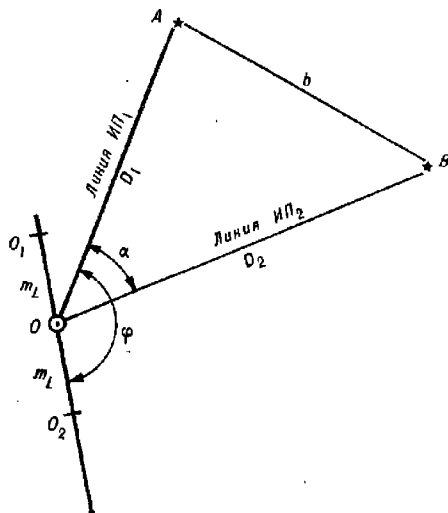


Рис. 15.7.1

Особенности определения места корабля по пеленгу и горизонтальному углу

Способ применяется в тех случаях, когда один из двух ориентиров невозможно запеленговать (ориентир не наблюдается с места установки пеленгатора).

Измерение пеленга и горизонтального угла производится одновременно двумя наблюдателями по команде.

Снятые отсчеты пеленга и угла исправляются поправками:

$$ИП_1 = КП_1 + \Delta К;$$

$$\alpha = oc + (i + s).$$

При $(i + s) < 6'$ отсчет секстана поправкой не исправляется.

Обсервованное место корабля находится в точке пересечения линии истинного пеленга $ИП_1$, проведенной через пеленгуемый (первый) ориентир, и линии истинного пеленга $ИП_2 = ИП_1 \pm \alpha_1$, проведенной через второй ориентир (скрытый от наблюдателя, стоящего у пелен-

гатора). Знак *плюс* — при расположении второго ориентира справа от первого относительно наблюдателя (рис. 15.7.1), знак *минус* — при расположении второго ориентира слева от первого.

При данном способе определения места измеренные пеленги содержат повторяющуюся погрешность, равную СКП первого (измеренного) пеленга m_{Π} . Коэффициент корреляции равен $r = m_{\Pi}^2 / m_{\Pi} \sqrt{m_{\Pi}^2 + m_{\alpha}^2}$. Пренебрегая малой по сравнению с m_{Π} погрешностью m_{α} горизонтального угла, получим $r \approx 1$. Поэтому точность места оценивается линейным средним квадратическим смещением, равным

$$m_L = \frac{m_{\Pi} b}{57,3^{\circ} \sin \alpha}, \quad (15.7.1)$$

где b — расстояние между ориентирами. (В данном параграфе m_{Π} в градусах).

Направление линии смещения относительно первого пеленга — угол φ — рассчитывается по формуле

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{D_1 \sin \alpha}{D_1 \cos \alpha - D_2}, \quad (15.7.2)$$

где D_1 и D_2 — расстояния до ориентиров.

Истинное место корабля (с вероятностью 0,39) находится в пределах отрезка $O_1 O_2 = 2m_L$, симметричного относительно obserвованного места O и проведенного по направлению φ относительно линии первого пеленга.

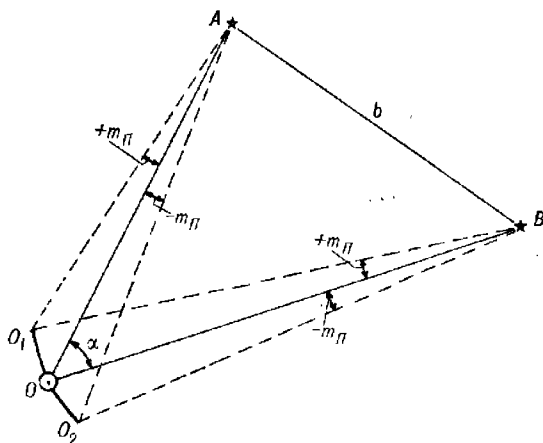


Рис. 15.7.2

Наиболее просто величина и направление линейного смещения определяются графически: сначала обе линии пеленгов изменяются на величину $+m_{\Pi}$ и находится точка O_1 , затем — на величину $-m_{\Pi}$ и находится точка O_2 (рис. 15.7.2). Ломаный отрезок $O_1 O_2 = 2m_L$ является отрезком, в пределах которого находится истинное место корабля (с вероятностью 0,39). Изменяя направления пеленгов на $\pm 3m_{\Pi}$, получим ломаный отрезок, в пределах которого находится истинное место корабля (с вероятностью 0,99). Линейное распределение погрешностей места дает более определенную информацию об истинном месте корабля, чем круговое. Поэтому способ определения места по пеленгу

и горизонтальному углу является более предпочтительным по сравнению со способом двух пеленгов, особенно при $\alpha < 90^\circ$. Его удобно использовать, когда требуется знать направление вероятного распределения погрешностей места.

Ориентировочная (заглубленная) оценка точности места может производиться с помощью СКП ($M = m_L$).

Особенности определения места корабля по створу и горизонтальному углу

Способ применяется при плавании по створу, когда наблюдателю, находящемуся у пелоруса с пеленгатором, створные знаки не видны и, следовательно, не может быть определена поправка компаса.

Горизонтальный угол α между передним створным знаком и ориентиром B (рис. 15.7.3) измеряется секстаном.

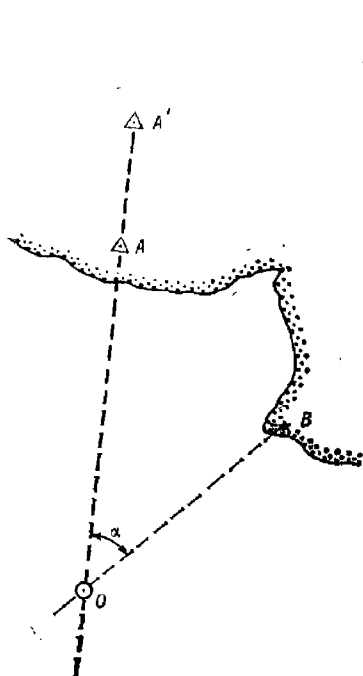


Рис. 15.7.3

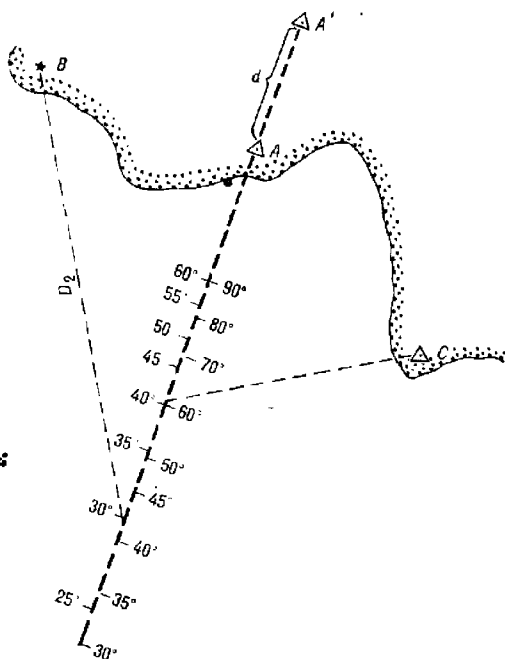


Рис. 15.7.4

Измерение углов производится в моменты нахождения корабля на линии створа. При малой поправке секстана ($\Delta_{oc} \leq 6'$) исправление измеренных углов не производится.

Для нахождения места корабля горизонтальный угол α устанавливается на протракторе, затем одна из его линеек совмещается с линией створа, а вторая — с ориентиром B . Место корабля — в точке O — в точке схождения линеек протрактора (в центральной точке протрактора).

Если планируется многократное определение места корабля на линии створа, то нахождение обсервованного места упрощается с по-

мощью заранее нанесенной на линию створа оцифровки горизонтальных углов (рис. 15.7.4). Оцифровка производится с помощью проtractора. В этом случае по измеренному углу α сразу же находится обсервованное место корабля на линии створа. При необходимости аналогичную оцифровку можно произвести с другой стороны линии створа для резервного ориентира C .

Точность полученного места оценивается СКП

$$M_0 = \frac{1}{\sin \alpha} \sqrt{\left(\frac{p}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{m'_a D_2}{3438}\right)^2}, \quad (15.7.3)$$

где m'_a — СКП измерения горизонтального угла, угл. мин;

D_2 — расстояние до второго ориентира (до ориентира B) в единицах длины, используемых при расчете величины p ;

p — линейная чувствительность створа:

$$p = D_1 \left(\frac{D_1}{d} + 1\right) \text{arc } 1',$$

здесь D_1 — расстояние до переднего створного знака;

d — расстояние между створными знаками.

Определение места корабля по створу и пеленгу

Способ отличается простотой и высокой точностью: в момент нахождения корабля точно на линии створа определяется мгновенное значе-

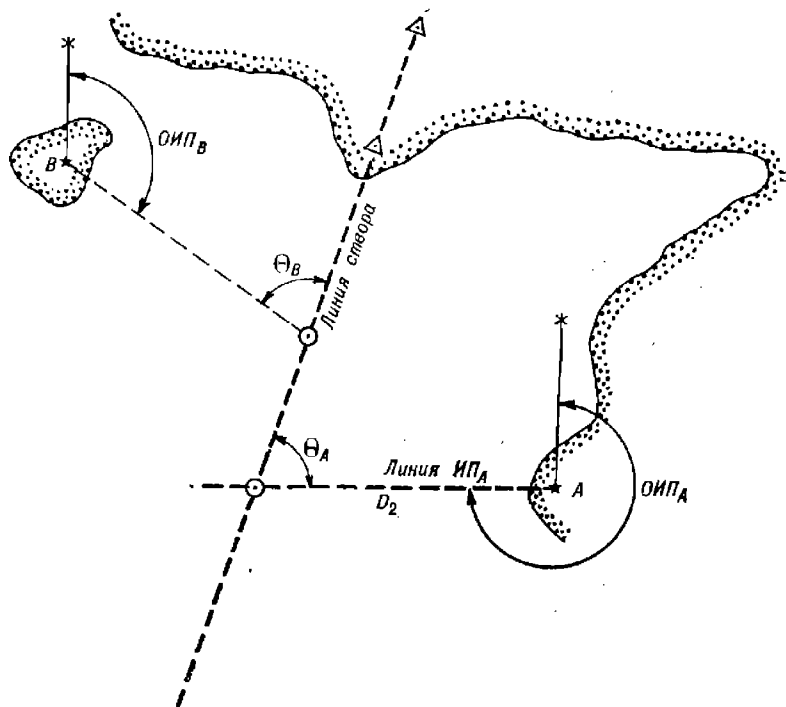


Рис. 15.7.5

ние поправки компаса и пеленгуется ориентир (рис. 15.7.5). Точность обсервации повышается, если пеленгуется ориентир, находящийся на

курсовом угле, близком к 90° . Обсервованное место корабля находится в точке пересечения проведенных на карте линии истинного пеленга и линии створа.

СКП места рассчитывается по формуле

$$M_0 = \frac{1}{\sin \theta} \sqrt{\left(\frac{p}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{m_{\Pi} D_2}{57,3^\circ}\right)^2}, \quad (15.7.4)$$

где D_2 — расстояние до пеленгуемого ориентира;

θ — угол пересечения линии пеленга с линией створа.

Учитывая высокую точность поправки компаса (она непрерывно определяется по створу) и небольшие расстояния до ориентиров, СКП обсервации данным способом не выходит за пределы одного кабельтова.

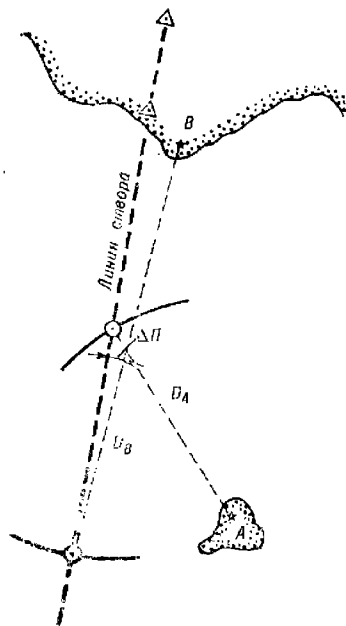


Рис. 15.7.6

Определение места корабля по створу и расстоянию

Способ эффективен, прост и точен при измерении расстояния с помощью радиолокатора до ориентира, расположенного на малом угловом расстоянии от линии створа, т. е. на носовых или кормовых курсовых углах. В этом случае изостадия пересекает линию пеленга под углом, близким к прямому (рис. 15.7.6, 15.7.7).

Расстояние до ориентиров может быть определено по вертикальному углу. Для этого заранее рассчитываются расстояния, соответствующие различным вертикальным углам, до ориентира (для данных h и e). При планировании многократных обсерваций на линии створа указываются точки, соответствующие измеренным расстояниям или вертикальным углам до определенных ориентиров.

СКП места рассчитывается по формуле

$$M_0 = \frac{1}{\cos \Delta\Pi} \sqrt{\left(\frac{p}{\sqrt{3}}\right)^2 + m_D^2}, \quad (15.7.5)$$

где $\Delta\Pi$ — острый угол между направлением линии створа и направлением на ориентир;

m_D — СКП расстояния до ориентира.

Определение места корабля по пеленгу и расстоянию относительно двух ориентиров

Способ используется в том случае, если невозможно измерить пеленг и расстояние относительно одного ориентира.

Пеленг измеряется пеленгатором компаса, или с помощью радиолокатора или шумопеленгатора. Расстояние измеряется радиолокатором, гидролокатором или вычисляется по вертикальному углу.

Оба навигационных параметра измеряются одновременно двумя наблюдателями. Если наблюдатель один, то первый навигационный параметр измеряется дважды — до измерения второго навигационного пара-

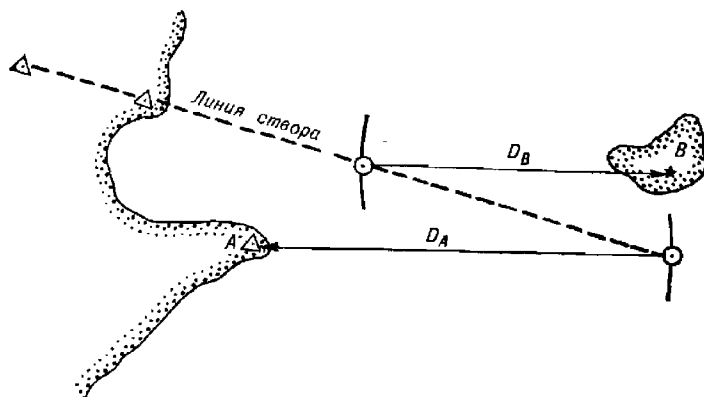


Рис. 15.7.7

метра и после. В расчет принимается среднее арифметическое значение из результатов этих измерений. Время и отсчет лага фиксируются

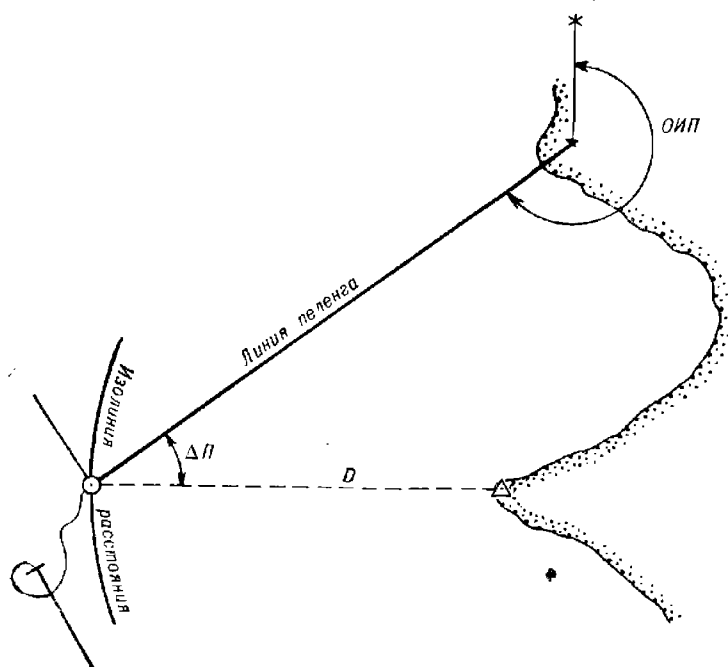


Рис. 15.7.8

в момент измерения второго навигационного параметра. Первым измеряется тот параметр, который при данном расположении ориентиров

изменяется медленней, чем другой: пеленг — при расположении пеленгуемого ориентира на курсовых углах, близких к нулю или 180° ; расстояние — при расположении пеленгуемого ориентира на траверзных курсовых углах.

Наиболее благоприятное расположение ориентиров соответствует минимальному углу между направлениями на них.

Место корабля — в точке пересечения линии пеленга и изостадии, соответствующей измеренному расстоянию (рис. 15.7.8).

СКП наблюдения рассчитывается по формуле

$$M_o = \frac{1}{\cos \Delta\Pi} \sqrt{\left(\frac{m_{\Pi D}}{57,3^\circ}\right)^2 + m_D^2}, \quad (15.7.6)$$

где $\Delta\Pi$ — угол между направлениями на ориентиры;

D — расстояние до пеленгуемого ориентира;

m_D — СКП измеренного (обсервованного) расстояния.

При прочих равных условиях максимальная точность достигается при расположении ориентиров на одном направлении ($\Delta\Pi=0$).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА КОРАБЛЯ С ПОМОЩЬЮ НАВИГАЦИОННЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ

§ 16.1. НАЗНАЧЕНИЕ И ВОЗМОЖНОСТИ НАВИГАЦИОННЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ

Навигационные радиолокационные станции являются универсальным и автономным навигационным средством, широко распространенным на кораблях и судах. Кроме того, они могут применяться совместно с береговыми устройствами — радиолокационными отражателями (РЛО) и радиолокационными маяками-ответчиками (РЛМк (отв), находящимися в радионавигационных точках.

Определение местоположения корабля относительно отражающих объектов производится путем измерения направления с РЛС на объект и расстояния между ними. Поэтому навигационные РЛС, по существу, являются дальномерно-азимутальными радионавигационными средствами.

Возможность решения задачи определения местоположения корабля при плавании в сложных в навигационном отношении условиях (отсутствие видимости, наличие навигационных опасностей, узкостей и т. д.), простота и быстрота решения этой задачи, наглядность обстановки в районе плавания определяют особую ценность навигационных РЛС как средств кораблевождения. Основные технические данные навигационных РЛС даны в табл. 16.1.1.

С помощью навигационных радиолокационных станций возможно решение следующих задач:

- определение координат места корабля по точечным и пространственным ориентирам путем измерения радиолокационных пеленгов и дистанций;
- определение места корабля по пространственным ориентирам путем совмещения равномасштабных изображений береговой линии или отражающих горизонталей, наблюдаемых на индикаторе кругового обзора РЛС и на карте;
- опознание побережья и глазомерная ориентировка при плавании в стесненных условиях;
- обнаружение надводных навигационных опасностей, плавучего льда, ливневых облаков и снежных зарядов;
- обнаружение и наблюдение встречных судов, определение элементов их движения для оценки ситуации сближения и решения задачи безопасного расхождения с ними;
- определение относительного места корабля при плавании в строях и ордерах;

Таблица 16.1.1

Тактико-технические данные	Наименование радиолокационных станций						
	„Дон“	„Волга“	„Наядв-5“	MP-212/201-1	„Океан-С“	„Донец-2“	„Миус“
Длина волны, см	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2; 10	3,2	3,2
Длительность им- пульса, мкс	0,13; 0,5; 1,0	0,13; 0,5; 1,0	0,07; 0,25; 0,7	0,1; 0,25; 1,0	0,11; 0,2; 0,4; 0,8	0,12; 0,55	0,1; 0,3
Мощность импуль- са передатчика, кВт	85	80	15	60	70	15	7
Скорость обзора, об/мин	11—16	15	19	15	16	15	18
Ширина диаграммы направленности ан- тенны (по уровню по- ловинной мощности), градусы:							
— в горизонталь- ной плоскости	1,1	1,1	0,7	1,1	0,7 (на волне 3,2 см); 2,3 (на волне 10 см)	1,4	1,0±0,1
— в вертикальной плоскости	20	20	20	20	17 (на волне 3,2 см); 20 (на волне 10 см)	22	20±2
Разрешающая спо- собность:							
— по расстоянию, м	25	30	20	25	15	30	25
— по углу, градусы	1,2	1,2	0,9	1,2	0,7 (3,2 см); 2,1 (10 см)	3	1
Погрешность изме- рения расстояния ($P=0,95$):							
— на шкалах до 4 миль, м	90	90	50	40	—	—	Не более 60
— на остальных шкалах, в % от изме- ренной величины	0,6—1,5	1	1	0,7	1	3	1
Погрешность из- мерения направления ($P=0,95$), градусы	1	1	1	0,8	1	1	1
Минимальная даль- ность обнаружения для наименьшей шка- лы при высоте антен- ны 15 м, м, не более	50	50	30	50	50	40	30
Рабочий диаметр экрана, см	310; 230	310; 230	254	400	400	230	180 (230 с лупой)
Время непрерывной работы, ч	24	24	24	24	Не огра- ничено	24	48

Продолжение табл. 16.1.1

Тактико-технические данные	Наименование радиолокационных станций						
	„Дон“	„Волга“	„Наядя-5“	МР-212/201-1	„Океан-С“	„Донец-2“	„Миус“
Масштабные шкалы дальности, м/ми	0,8	1,0	0,5	1,0	1,0	1,5	0,4
	2,5	2,5	1,0	2,0	2,0	3,0	0,8
	5,0	5,0	2,0	4,0	4,0	6,0	1,6
	15,0	15,0	4,0	8,0	8,0	12,0	4,0
	30,0	50,0	8,0	16,0	16,0	24,0	8,0
	50,0		16,0	32,0	32,0		16,0
			32,0	64,0	64,0		24,0
			64,0				

— определение маневренных элементов корабля (его скорости, элементов поворотливости и инерции).

Навигационные РЛС, сопрягаемые с системами автоматической радиолокационной прокладки (САРП) и автоматизированными навигационными комплексами, позволяют, кроме того:

— автоматизировать прокладку линий относительного движения встречных судов, расчеты элементов их движения и маневра расхождения с ними;

— осуществлять обсервационную прокладку пути корабля при плавании в стесненных условиях и в прибрежном плавании;

— непосредственно измерять элементы суммарного сноса корабля.

При использовании навигационных РЛС для кораблевождения необходимо учитывать:

— наличие мертвой зоны вблизи корабля, в радиусе которой объекты не обнаруживаются; не обнаруживаются они и в теневых секторах, которые образуются вследствие экранирующего влияния надстроек корабля на излучение антенны;

— специфическое искажение объектов на экране РЛС относительно их изображения на морской навигационной карте и затруднение их опознания;

— ограниченность дистанций обнаружения объектов географическим фактором радиолокационной видимости, зависимость от отражающих способностей и размеров объектов, а также зависимость возможности обнаружения от маскирующего влияния осадков ливневого характера;

— относительно низкую точность радиолокационного пеленгования;

— недостаточную автоматизацию отдельных РЛС, что вынуждает (в целях безопасного расхождения с судами) вести ручную радиолокационную прокладку на маневренном планшете;

— демаскирующие факторы радиолокационного излучения.

Ориентировочное значение географической радиолокационной дальности видимости объектов (в милях) при нормальной радиолокационной наблюдаемости* (РЛН) может быть рассчитано по формуле

$$D_p = 2,39 (\sqrt{h_a} + \sqrt{h_o}), \quad (16.1.1)$$

где h_a — высота антенны РЛС над уровнем моря, м;

h_o — высота отражающей части объекта над уровнем моря, м.

Определенные из практики средние дистанции обнаружения некоторых объектов с помощью современных навигационных РЛС при нормальной РЛН и при высоте антенны РЛС 15 м приведены в табл. 16.1.2. При

* Характерные для нормальной РЛН условия: атмосферное давление 760 мм, температура воздуха 15 °С, температурный градиент 0,0065 °С/м, относительная влажность 60 %.

использовании РЛС необходимо учитывать, что обильные осадки (ливни, град, снежные заряды) уменьшают дальность обнаружения объектов на 30—50 %, а наличие качки снижает точность измерений. В этих условиях нужно переходить на наблюдение с помощью других РЛС корабля, имеющих длину волны 10 см и более. На условия наблюдения влияет волнение моря, вызывающее засветку центральной части экрана РЛС отражениями от волн. Для предупреждения этого явления целесообразно использовать устройства подавления помех.

Таблица 16.12

Средние дальности обнаружения объектов с помощью навигационных РЛС

Наименование объекта	Дальность обнаружения, мили
Низменный песчаный берег	1—5
Холмы и горы	15—40
Скалы и утесы высотой до 60 м	20
Волноломы и пирсы	5—10
Здания	5—20
Мосты и доки	До 5
Отдельно расположенные маяки	5—10
Мели и рифы	До 4
Приливо-отливная волна	0,5—1
Сулой	До 2
Ровные ледяные поля	До 3
Отдельные льдины	До 3
Смерзшийся лед, торосы	До 5
Айсберги (высокие)	3—15
Шлюпки	До 2
Малые деревянные суда	1—4
Рыболовные траулеры	6—9
Плавающие маяки	6—10
Суда водоизмещением 1000 т	6—10
Суда водоизмещением 3000 т	10—13
Суда водоизмещением 10 000 т	10—16
Суда водоизмещением 50 000 т	16—20
Буй малые морские	0,5—1
Буй средние морские	2—4,5
Буй большие морские	4—6
Буй с пассивным радиолокационным отражателем	6—8
Слабое волнение	0,5—1
Сильное волнение	2—4
Грозовые облака	2—5
Сильные ливни	10—20

Примечание. При антициклоническом типе погоды, относительно холодной поверхности моря и теплом сухом воздухе дистанции обнаружения объектов увеличиваются — *сверхрефракция*; при теплой поверхности моря и относительно холодном воздухе наблюдается обратное явление — *субрефракция* (дистанции обнаружения объектов уменьшаются).

На точность определения места корабля с помощью РЛС непосредственно влияют искажения за счет размеров ориентиров и углов их облучения РЛС. При определении места по радиолокационным пеленгам и дистанциям необходимо использовать точечные ориентиры, соизмеримые с площадью разрешения РЛС (площадь, ограниченная разрешающей способностью РЛС по углу и дистанции). Пространственные ориентиры, размеры которых больше площади разрешения, целесообразно использовать только для обсерваций по измеренным радиолокационным дистанциям до участков, облучаемых РЛС под прямым углом. При облучении таких ориентиров (объектов) под острыми углами их изображение на экране РЛС смазывается (растягивается), что вызывает появление трудно учитываемых систематических погрешностей как по направлению, так и по дистанции.

При определении места по естественным радиолокационным ориентирам, особенно пространственным, необходимо учитывать, что их отражающие поверхности (скалы, обрывистый берег, сопки и т. п.) не совпадают на местности с береговой линией, а лежат на уровнях (горизонталях), обычно превышающих уровень моря, а на больших расстояниях — и высоту антенны РЛС. По этой причине появляется погрешность в измеренной дальности, для предупреждения которых отражающие горизонтالي, определенные опытным путем, целесообразно заранее нанести на карты.

Вопросы применения РЛС для решения задач безопасного расхождения с судами рассматриваются в главе 5 книги второй. Методика применения РЛС для определения маневренных элементов корабля изложена в главе 11.

§ 16.2. НАВИГАЦИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ, ИЗМЕРЯЕМЫЕ С ПОМОЩЬЮ НАВИГАЦИОННЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ, И ИХ ТОЧНОСТЬ

К навигационным параметрам, измеряемым с помощью РЛС, относятся радиолокационные пеленги (*РЛП*) и дистанции (*D_p*).

Радиолокационные пеленги могут быть измерены непосредственно по шкале компасных направлений РЛС с помощью электронного или механического визиров, а при их отсутствии — рассчитаны как сумма измеренных по одноименному лимбу экрана РЛС курсовых углов *KУ_p* в круговом счете и компасных курсов *КК*, зафиксированных в моменты измерений, т. е.:

$$РЛП = KУ_p + КК. \quad (16.2.1)$$

Радиолокационные дистанции могут быть измерены с помощью подвижного визира дальности (ПВД), подвижного кольца дальности (ПКД), а также с помощью неподвижного кольца дальности (НКД). Для измерения дистанции с помощью ПВД (представляющего собой яркостную метку дальности, перемещающуюся по электронному визиру) вначале на цель наводят электронный визир, а затем совмещают с отметкой цели. Если используется ПКД, то дистанция измеряется путем касания или наложения ПКД на отметку (эхо-сигнал) объекта, после чего значение измеренной дистанции снимается с электронного табло. При использовании НКД дистанция определяется подсчетом числа колец и интерполированием на глаз промежуточного значения дистанции между соседними с объектом кольцами. В навигационных РЛС с САРП измерение пеленгов и дистанций автоматизировано: с момента «захвата» наблюдаемого объекта, в режиме автослежения, соответствующие индикаторы показывают текущие значения пеленга и дистанции до объекта.

Наличие САРП в составе РЛС позволяет производить измерение элементов суммарного сноса корабля по точечному радиолокационному ориентиру, взятому на автослежение. САРП при этом используется в режиме определения элементов движения объекта (цели).

Снятый с индикатора САРП курс объекта есть не что иное, как направление, обратное направлению сноса (HC) корабля, т. е.

$$HC = K_{ц} \pm 180^{\circ},$$

где $K_{ц}$ — курс объекта (цели), а скорость объекта — скорость суммарного сноса корабля.

В состав навигационных РЛС могут включаться картосличительные приставки (блоки совмещения), позволяющие совмещать изображения береговой линии (отражающие горизонталы) на ИКО РЛС и на карте и определять таким образом место корабля, совпадающее с центром развертки.

Точность радиолокационного пеленга характеризуется следующими случайными или повторяющимися средними квадратическими погрешностями:

— погрешностью нуля курсовых углов антенны РЛС относительно диаметральной плоскости корабля, носящей характер повторяющейся погрешности ($0,2-0,3^{\circ}$);

— погрешностью передачи угла поворота антенны на экране РЛС случайного характера (в ИКО с вращающейся отклоняющей системой $0,3^{\circ}$, в ИКО с неподвижной системой $0,2^{\circ}$);

— погрешностью визирования ориентира (объекта), зависящей от их видимых размеров и от ширины диаграммы направленности антенны в горизонтальной плоскости: для пространственных ориентиров (объектов) она носит систематический характер и не поддается учету, для точечных ориентиров (объектов) проявляется как случайная, величина которой зависит от дистанции до объекта, выраженной в долях радиуса развертки ($0,25R-0,4^{\circ}$; $0,5R-0,2^{\circ}$; $R-0,1^{\circ}$);

— погрешностью за счет эксцентриситета механического визира и смещения центра развертки относительно лимба компасных направлений (курсовых углов), носящей случайный характер и также зависящей от дистанции до объекта ($0,25R-0,8^{\circ}$; $0,5R-0,4^{\circ}$; $R-0,2^{\circ}$); при использовании электронного визира эта погрешность практически не проявляется;

— погрешностью радиолокационной девиации; при неучете поправки курсовых углов проявляется как систематическая, при их учете — как повторяющаяся ($0,2-0,3^{\circ}$);

— носящей случайный характер погрешностью отсчета пеленга (курсового угла) по лимбу индикатора РЛС ($0,3^{\circ}$) и электронному визиру ($<0,1^{\circ}$);

— погрешностью согласования шкалы курсовых углов с гирокомпасом, проявляющейся как повторяющаяся погрешность ($0,1-0,3^{\circ}$);

— погрешностью поправки курсоуказания, носящей характер повторяющейся погрешности; для гирокомпасов максимальна при маневрировании ($0,4-1,6^{\circ}$).

Таким образом, суммарная величина средней квадратической погрешности радиолокационного пеленга находится в пределах:

— для РЛС с механическим визиром $m_{рлп} = 0,7-2,0^{\circ}$;

— для РЛС с электронным визиром $m_{рлп} = 0,6-1,8^{\circ}$.

Средняя квадратическая погрешность автоматического радиолокационного пеленгования в режиме автослежения за ориентиром при

благоприятном маневрировании корабля зависит от длины волны, на которой работает РЛС, и составляет:

— для РЛС с длиной волны 3 см $m_{рлп} = 0,5^\circ$;

— для РЛС с длиной волны 10 см $m_{рлп} = 0,7^\circ$.

Для неавтоматизированных навигационных РЛС (ИКО с размерами экрана менее 230 мм) значения этих погрешностей увеличиваются на 20—30 %.

Анализ перечисленных погрешностей показывает, что в целях определения места корабля с помощью РЛС следует измерять пеленги только на точечные радиолокационные ориентиры, расположенные на периферии ИКО, используя для этой цели (при наличии) электронный визир или режим автослежения.

Точность радиолокационной дистанции зависит также от характера объекта (ориентира) и от способа измерения. Острые углы ($< 30^\circ$) между продолжением направления на пространственные ориентиры и береговой линией обуславливают появление положительных (со знаком +) систематических погрешностей, трудно поддающихся учету. При прокладке дистанций, измеренных до пространственных ориентиров, возникает случайная погрешность, обусловленная тем, что контуры береговой линии наносятся на карту с меньшей точностью, чем точечные ориентиры (средняя квадратическая погрешность контурной линии на карте составляет 0,8 мм в масштабе карты).

При использовании ПКД измерение радиолокационной дистанции сопровождается средними квадратическими погрешностями:

— инструментальной погрешностью, или погрешностью фазовращателя, носящей случайный характер (для РЛС с кварцевой стабилизацией частоты не выходит за пределы 5—8 м);

— погрешностью за уход частоты ударного возбуждения генератора развертки, носящей характер повторяющейся погрешности (может достигать около 1 % от диапазона показаний шкалы РЛС);

— погрешностью юстировки РЛС, зависящей от способа ее выполнения; проявляется как повторяющаяся погрешность (при калибровке с получением эталонной дистанции геодезическим способом составляет около 0,01 кбт или 18 м; при калибровке методом условного нуля — 0,02 кбт или 36 м; при калибровке по дистанциям, полученным по измеренному секстаном вертикальному углу, — 15—20 м);

— погрешностью совмещения ПКД с отметкой (эхо-сигналом) объекта, зависящей от разрешающей способности глаза и способа совмещения; носит случайный характер (составляет 0,08 мм в масштабе шкалы РЛС при совмещении с объектом передней кромки или 0,05 мм — при наложении на объект половины толщины ПКД);

— масштабной погрешностью, проявляющейся на шкалах РЛС (отличных от шкалы калибровки) как систематическая; может быть учтена как дополнительная поправка и рассчитывается по формулам:

а) $\Delta D_m = a (C_k - C_i)$ (РЛС калибрована способом касания, дистанция измерена касанием ПКД);

б) $\Delta D_m = 0,5a (C_k - C_i)$ (РЛС калибрована способом наложения, дистанция измерена наложением ПКД);

в) $\Delta D_m = 0,5a (2C_k - C_i)$ (РЛС калибрована способом касания, дистанция измерена наложением ПКД);

г) $\Delta D_m = a (0,5C_k - C_i)$ (РЛС калибрована способом наложения, дистанция измерена касанием ПКД),

где a — среднее значение диаметра рисующего пятна ПКД (0,6 мм);

C_k — знаменатель масштаба шкалы, на которой проводилась калибровка РЛС;

C_i — знаменатель масштаба шкалы измерения дистанции (составляет от 0,02 до 1,5 кбт в зависимости от шкалы РЛС).

В общем случае суммарная средняя квадратическая погрешность измерения дистанции с помощью ПКД современных РЛС на шкалах более 4 миль не выходит за пределы:

— 0,5—1,0 % от диапазона показаний шкалы РЛС при измерении дистанции до точечных ориентиров;

— 0,5—3,0 % от диапазона показаний шкалы РЛС при измерении дистанции до пространственных ориентиров.

При измерениях радиолокационной дистанции с использованием НКД кроме погрешностей калибровки и за уход частоты генератора возникают следующие средние квадратические погрешности:

— погрешность интерполяции промежуточного значения дистанции, носящей случайный характер, которая может быть рассчитана в процентах и в линейных мерах (мили, кбт) по формулам:

$$m'_{D_p} = \frac{1}{30N} 100 \text{ или } m'_{D_p} = \frac{D_{ш}}{30N}, \quad (16.2.2)$$

где $D_{ш}$ — диапазон показаний шкалы РЛС в кбт или в милях;
 N — число неподвижных колец дальности;

— погрешность за нелинейность хода развертки, носящую характер повторяющейся погрешности; максимальна, как правило, на периферии ИКО (составляет около 1 % от шкалы РЛС).

Таким образом, суммарная величина средней квадратической погрешности радиолокационной дистанции, измеренной по НКД, лежит в пределах $m_{D_p} = 2,0—4,0$ % от диапазона показаний шкалы РЛС.

Анализ рассмотренных погрешностей показывает, что точность измерения дистанции может быть повышена не только за счет выбора наиболее точного способа калибровки, но и за счет выбора способа измерения с помощью ПКД. Оптимальным является вариант, когда РЛС калибруется способом наложения и дистанции измеряются тем же способом, а масштабная погрешность учитывается как дополнительная поправка к дистанции ΔD_m . По сравнению с применением НКД использование ПКД дает значительный выигрыш в точности измерений.

Электронный визир позволяет производить измерения как при калибровке, так и при наблюдениях способом так называемого внутреннего касания, т. е. совмещения заднего фронта подвижного импульса с передним фронтом эхо-сигнала; при этом масштабная погрешность не возникает и до минимума снижается погрешность совмещения.

Средняя квадратическая погрешность автоматического измерения дистанции с помощью РЛС в режиме автослежения практически постоянна и составляет 20—30 м.

Точность определения элементов суммарного сноса с помощью САРП при времени наблюдения более 6 мин характеризуется погрешностями (средние квадратические значения): $m_{нс} = 1,0—2,0$ %; $m_{vc} = 0,5—1,0$ уз.

Для исключения из результатов измерений систематических погрешностей измеренные радиолокационные пеленги и дистанции исправляются соответствующими поправками Δf_p и ΔD_p . Эти поправки определяются в базе путем сравнения направлений и дистанций, измеренных с помощью РЛС, с теми же параметрами, принятыми за истинные, которые получены с помощью высокоточных средств или вычислений. Эти работы производятся после калибровки РЛС.

§ 16.3. МЕТОДИКА ОПОЗНАНИЯ ПОБЕРЕЖЬЯ С ПОМОЩЬЮ НАВИГАЦИОННЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ

При достаточной высоте побережья, имеющее характерные очертания, или прилегающие острова, легко опознаются на экране ИКО РЛС. Радиолокационное изображение обрывистых берегов опознается с помощью карты с расстояния 10—15 миль. Труднее опознается пологий низменный берег. При невозможности глазомерного опознавания побережья рекомендуются следующие действия.

В быстрой последовательности через 10—15 с измеряют серию радиолокационных пеленгов и дистанций до участков наблюдаемого побережья, облучаемых РЛС под прямыми углами.

На кальке (рис. 16.3.1) в масштабе карты, на которой ведется счисление, строится веер исправленных поправками пеленгов и дистанций и показывается направление меридиана. Когда за время между измерениями пеленгов и дистанций корабль проходит не более $\frac{1}{4}$ кбт, то пеленги и дистанции проводятся из одной точки — счислимого места; когда это расстояние превышает $\frac{1}{4}$ кбт — из точек, соответствующих моментам измерений. В первом случае время и отсчет лага замечаются на средний момент измерений. Калька накладывается на карту и вершина веера пеленгов совмещается со счислимым местом корабля. Далее калька перемещается до такого положения, при котором концы расходящегося веера коснутся большинства контуров, показанных на карте и наблюдаемых на ИКО РЛС участков побережья, сохраняя при этом параллельность меридианов на кальке и на карте.

Проколом циркуля в вершину веера на карте фиксируется observedанное место корабля на средний момент наблюдений, а по пеленгам веера опознаются наблюдаемые ориентиры или участки побережья. Наиболее точное опознание побережья возможно, когда вершина веера ориентируется относительно точного места корабля, полученного другими навигационными средствами.

Радиолокационные изображения отдельных участков побережья и узостей показываются в логиях.

При плавании вдоль нехарактерно изрезанного побережья последнее может быть опознано по сетке параллельных пеленгов и соответствующих им дистанций, проложенных на кальке из точек, соответствующих счислимым местам. Observedанное место в этом случае фиксируется на карте проколом счислимой точки на последний момент измерений после того, как наибольшее число параллельных отрезков совпадет с контурами побережья на карте (рис. 16.3.2).

Рассмотренные способы радиолокационных observations могут быть рекомендованы только при отсутствии точечных и опознанных пространственных ориентиров, так как являются приближенными. Однако эти способы наряду с фотографированием радиолокационного изображения участков побережья или его зарисовками могут быть рекомендованы с целью опознания побережья и составления его радиолокационного описания для последующего плавания в данном районе.

§ 16.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА КОРАБЛЯ ПО РАДИОЛОКАЦИОННЫМ ПЕЛЕНГАМ И РАССТОЯНИЯМ

Во избежание смазывания радиолокационного изображения на ИКО вследствие рыскания корабля изображение должно быть стабилизировано относительно меридиана (режим «Север»).

Шкала, на которой производятся измерения, должна соответствовать условиям видимости ориентиров и наблюдений обстановки плавания, а также необходимой точности измерений.

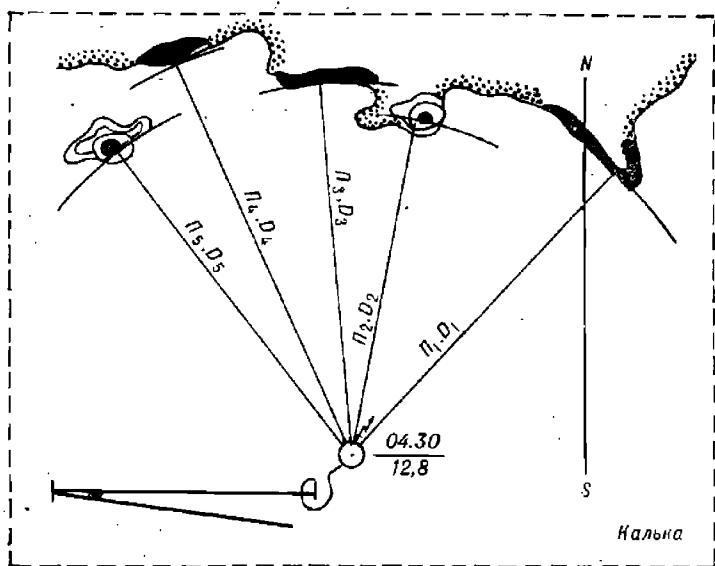


Рис. 16.3.1

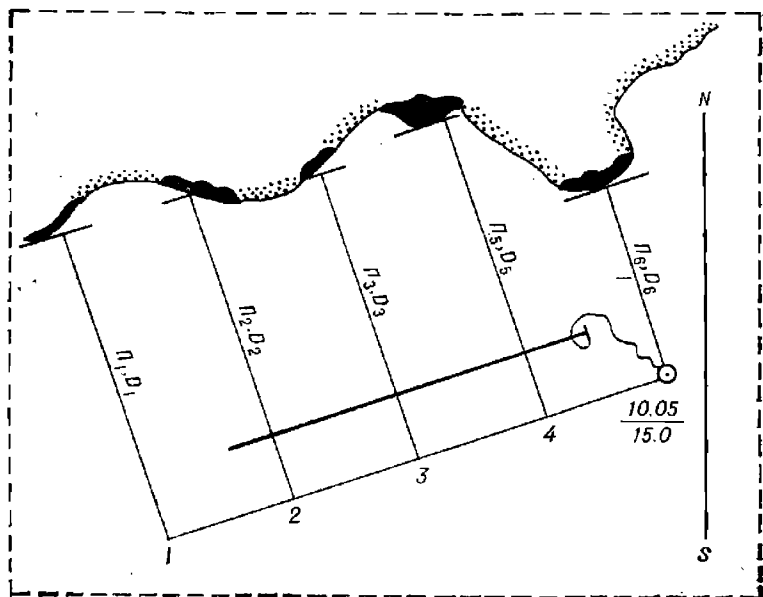


Рис. 16.3.2

Измеренные с помощью РЛС радиолокационные пеленги (РЛП) исправляют постоянной поправкой $\Delta \Gamma K_n$ гирокомпаса или другого курсоуказателя, связанного с РЛС, поправками курсовых углов (радиолокационной девиации Δf_p) и получают истинный пеленг по формуле

$$ИП = РЛП + \Delta \Gamma K_n + \Delta f_p. \quad (16.4.1)$$

Радиолокационные дистанции (D_p) исправляют поправками дистанций (ΔD_p)

$$D = D_p + \Delta D_p. \quad (16.4.2)$$

При необходимости измеренные дистанции исправляют дополнительными поправками ΔD_m (см. § 16.2).

Прокладка пеленгов осуществляется с помощью транспортира и параллельной линейки, прокладка расстояний — с помощью циркуля. Перед прокладкой пеленгов или дистанций производится приведение их к одному моменту наблюдений общеизвестными способами.

При выборе способа определения места корабля по точечным ориентирам необходимо учитывать, что точность определения места по радиолокационным дистанциям выше, чем по радиолокационным пеленгам.

Определение места по радиолокационным пеленгам на пространственные ориентиры имеет, как правило, более низкую точность, чем по радиолокационным дистанциям не только из-за значительных случайных погрешностей, но и за счет наличия систематических погрешностей, практически не поддающихся учету.

При наличии в поле зрения РЛС только одного точечного радиолокационного ориентира выбор способа обсервации (крюйс-дистанция или пеленг и дистанция) зависит от точности счисления, точности радиолокационного пеленгования и скорости корабля, как это видно из формулы определения допустимого коэффициента K_c точности счисления:

$$K_c = \frac{m_{РЛП}}{28,7} V, \quad (16.4.3)$$

где $m_{РЛП}$ — средняя квадратическая погрешность радиолокационного пеленга;

V — скорость корабля.

Если реальный коэффициент точности счисления меньше допустимого (заданного), то для обсервации целесообразен способ крюйс-дистанции, если больше допустимого — способ пеленга и дистанции. Допустимые величины коэффициента точности счисления приведены в табл. 16.4.1. Способ крюйс-дистанции может быть рекомендован только при высокоточном счислении, в остальных случаях способ пеленга и дистанции предпочтительней.

Измерение пеленгов и дистанций с помощью РЛС позволяет определять место следующими способами:

- по радиолокационным дистанциям;
- по радиолокационным пеленгам;
- по радиолокационному пеленгу и радиолокационной дистанции;
- радиолокационной крюйс-дистанции;
- радиолокационного крюйс-пеленга.

Для определения места корабля по радиолокационным дистанциям достаточно иметь две дистанции, измеренные соответственно до двух ориентиров. Для измерения дистанций применяют ПКД или электронный визир. Первой измеряется дистанция до ориентира, расположенного

Таблица 16.4.1

Допустимые величины коэффициента точности счисления
для выбора способа определения места

Скорость корабля V , уз	Средняя квадратическая погрешность $m_{РЛП}$		
	0,5°	1,0°	2,0°
6	0,10	0,21	0,42
12	0,21	0,42	0,84
18	0,31	0,63	1,26
24	0,42	0,84	1,68
30	0,52	1,04	2,08

ближе к траверзу (рис. 16.4.1). При скорости корабля более 12 уз и времени измерения дистанции более 30 с первую дистанцию приводят к моменту измерения второй повторным ее измерением и прокладкой на карте среднего значения дистанции до первого ориентира.

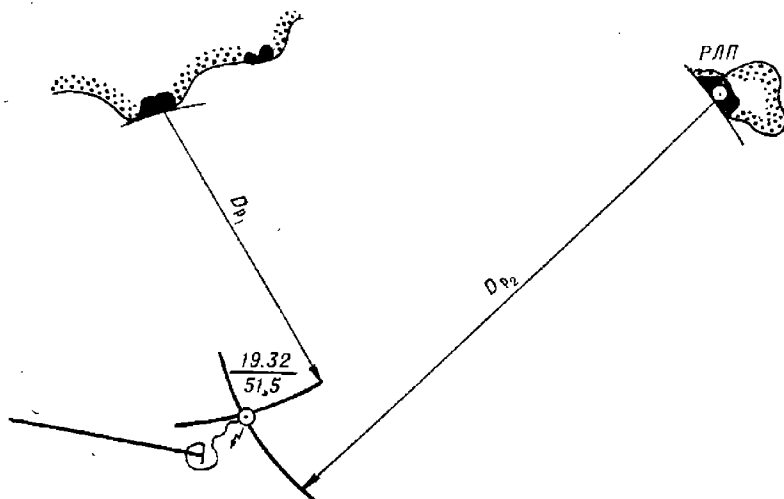


Рис. 16.4.1

При времени измерения дистанции более 1 мин приведение дистанций к последнему моменту производят способом графических построений (рис. 16.4.3).

Если в поле зрения навигационной РЛС имеется только один точечный ориентир, а другой представляет собой слабоизрезанное побережье (рис. 16.4.2), то после измерений obserвованное место корабля находят следующим образом. На карте прокладывают первую дистанцию до точечного ориентира, а затем на кальке в масштабе карты проводят окружность радиусом, равным второй дистанции. Наложив кальку на

карту и перемещая центр окружности второй дистанции по окружности первой, добиваются ее касания пространственного ориентира (бережья), фиксируют наблюдаемое место проколом с помощью циркуля центра окружности второй дистанции.

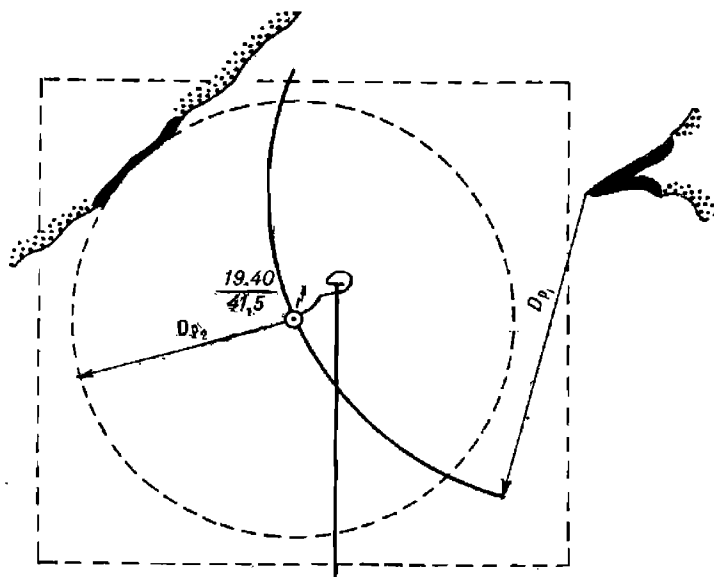


Рис. 16.4.2

При измерениях с помощью ПКД или электронного визира (если калибровка РЛС выполнена точным способом и поправки к дистанции определены правильно) суммарная величина погрешности измерения дистанции значительно больше суммы повторяющихся погрешностей, поэтому коэффициент корреляции между двумя измеренными дистанциями близок к нулю. Поскольку градиент дистанции равен 1, средняя квадратическая погрешность места корабля по двум радиолокационным дистанциям равна

$$M_0 = \frac{1}{\sin \theta} \sqrt{m_{D_{p_1}}^2 + m_{D_{p_2}}^2}, \quad (16.4.4)$$

где $m_{D_{p_1}}$ — средняя квадратическая погрешность измерения первой дистанции;

$m_{D_{p_2}}$ — средняя квадратическая погрешность измерения второй дистанции;

θ — угол пересечения линий положения.

Неравноточными в пределах одной шкалы РЛС можно считать дистанции, когда одна из них измерена до точечного, а другая до пространственного ориентира. При равноточных измерениях формула (16.4.4) принимает вид

$$M_0 = \frac{1.41}{\sin \theta} m_{D_p}. \quad (16.4.5)$$

Способ двух дистанций не позволяет выявить промахи в измерениях или в прокладке дистанций, ошибок опознания ориентиров и систематических погрешностей в измерениях, поэтому при наличии в поле зрения РЛС более двух ориентиров рекомендуется определять место по трем радиолокационным дистанциям (рис. 16.4.3). Вероятнейшее место в этом случае определяется одним из способов, изложенных в разделе VIII.

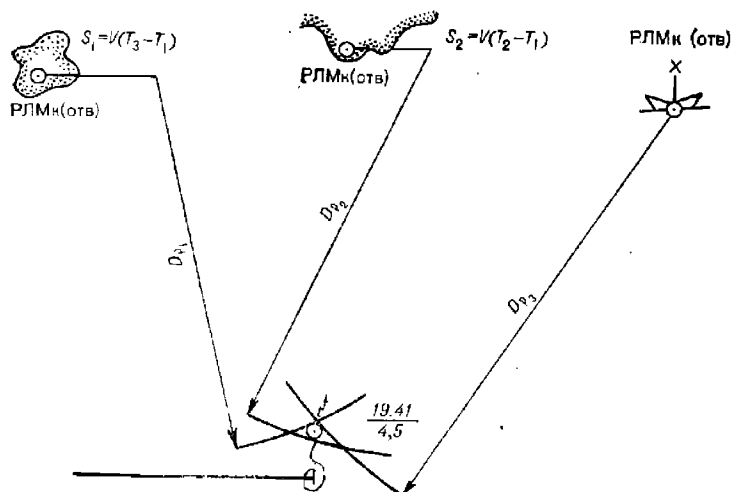


Рис. 16.4.3

При равноточных измерениях точность определения места по трем радиолокационным дистанциям оценивается средней квадратической погрешностью

$$M_0 = \frac{m_{D_p} \sqrt{3}}{\sqrt{\sin^2 \theta_{1,2} + \sin^2 \theta_{2,3} + \sin^2 \theta_{3,1}}}, \quad (16.4.6)$$

где θ — углы между линиями положения.

В общем случае третья дистанция повышает точность определения места корабля (уменьшает погрешность) на 20—30 %.

Определение места по пеленгам, измеренным с помощью навигационной РЛС, может быть целесообразно только в случае выхода из строя электронного визира, ПКД, НКД, т. е. когда нет возможности измерить дистанции.

Коэффициент корреляции при определении места корабля по двум радиолокационным пеленгам составляет $r=0,5-0,7$. В этом случае средняя квадратическая погрешность места определяется по формуле

$$M_0 = \frac{1}{57,3^\circ \sin \Delta\tau} \sqrt{(m_{РЛП_1} D_1)^2 + (m_{РЛП_2} D_2)^2 + 2m_{РЛП_1} \cdot m_{РЛП_2} \cdot D_1 D_2 \cos^2 \Delta\tau}, \quad (16.4.7)$$

где $m_{РЛП_{1,2}}$ — средние квадратические погрешности измерения радиолокационных пеленгов;

$\Delta\tau$ — угол между направлениями градиентов линий положения;

$D_{1,2}$ — дистанции до ориентиров, измеренных по карте.

При зависимых измерениях (при наличии значительного коэффициента корреляции) измерение третьей линии положения к значительному повышению точности не приводит, но позволяет убедиться в отсутствии или наличии промахов в измерениях.

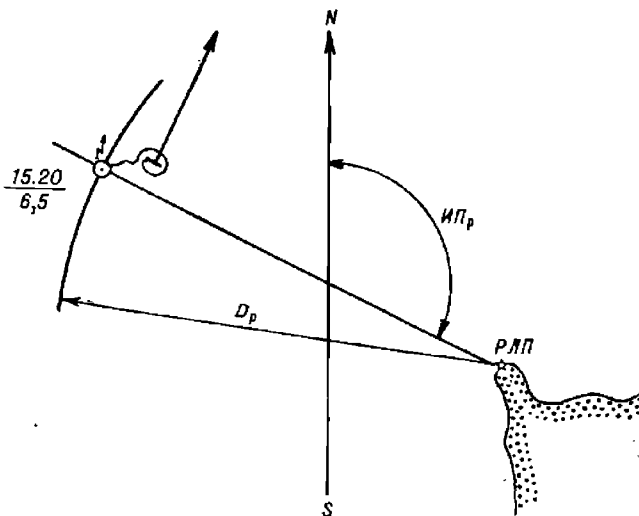


Рис. 16.4.4

Способ определения места по радиолокационным пеленгу и дистанции является комбинированным и, в отличие от двух предыдущих, требует для реализации меньшего времени измерения и наличия только одного точного радиолокационного ориентира. При минимальных погрешностях радиолокационного пеленгования ($m_{\text{РЛП}} = 0,3 \dots 0,6^\circ$) способ равнозначен наблюдениям по двум дистанциям до точечных ориентиров и предпочтительнее способа определения места по дистанциям до пространственных ориентиров. Способ требует наименьших затрат времени для прокладки наблюдаемого места на карте (рис. 16.4.4) и эффективен при плавании в стесненных условиях. Основной недостаток способа — невозможность отыскания промахов в измерениях и опознавания ориентира.

Поскольку в способе реализуются измерения разнородных навигационных параметров, линии положения которых перпендикулярны, средняя квадратическая погрешность места корабля рассчитывается по формуле

$$M_0 = \sqrt{\left(D_p \frac{m_{\text{РЛП}}}{57,3^\circ}\right)^2 + m_{D_p}^2}, \quad (16.4.8)$$

где $m_{\text{РЛП}}$ — средняя квадратическая погрешность радиолокационного пеленга;

m_{D_p} — средняя квадратическая погрешность радиолокационной дистанции;

D_p — радиолокационная дистанция до ориентира.

Способ радиолокационного крест-пеленга не может быть рекомендован по соображениям точности, поскольку в большинстве случаев

погрешности линий положения радиолокационных направлений гораздо выше погрешностей радиолокационных дистанций; кроме того, погрешности всех крайс-способов свойственны ошибки числения, которые увеличивают погрешность первой линии положения.

Способ радиолокационной крайс-дистанции применяется при ненадежной поправке курсоуказателя. Его сущность и порядок реализации изложены в § 15.6.

Средняя квадратическая погрешность определения места корабля по крайс-дистанции рассчитывается по формуле (15.6.2).

§ 16.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА КОРАБЛЯ С ПОМОЩЬЮ КАРТОСЛИЧИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

Картосличительное устройство (блок совмещения) позволяет производить совмещение равномасштабных изображений пространственных ориентиров, наблюдаемых на ИКО РЛС, с их изображениями (отражающими горизонталями) на морских навигационных картах. Совмещение изображений может быть реализовано оптическим способом с помощью полупрозрачного зеркала, телевизионным способом путем наложения изображения на ИКО, преобразованного из круговой развертки электронным методом в телевизионное, на подобное изображение на карте, полученное с помощью телевизионной трубки — видеоконна. Кроме того, изображение навигационной карты может быть формализовано и с помощью ЭЦВМ, т. е. преобразовано в круговую развертку для наложения ее на радиолокационное изображение побережья.

ИКО оптических картосличительных устройств может проецировать на карту радиолокационное изображение в относительном или в истинном движении. В последнем случае в составе РЛС имеется устройство, аналогичное автосчислителю, которое по элементам движения собственного корабля (путь, скорость, элементы дрейфа и течения) вырабатывает сигналы перемещения центра развертки в масштабе шкалы ИКО. Во всех случаях проецирования и совмещения изображений обсервованное место корабля индицируется центром развертки.

Определению места корабля с помощью оптического картосличительного устройства предшествует регулировка масштаба, которая осуществляется с помощью карты, а также неподвижных колец дальности (рис. 16.5.1). Рукояткой МАСШТАБ ПЛАВНО добиваются положения, чтобы большее число колец совпало на карте с соответствующими делениями боковой рамки. После регулировки масштаба необходимо карандашом темного цвета выделить на карте пространственные ориентиры, наблюдаемые на индикаторе РЛС.

Процесс обсервации с помощью картосличительной приставки состоит в совмещении изображений одноименных объектов на ИКО и на карте путем перемещения карты, если ИКО в режиме относительного движения, или путем перемещения радиолокационного изображения, если ИКО в режиме истинного движения. Место корабля фиксируется на карте как проекция на нее центра развертки.

Применение картосличительных приставок исключительно целесообразно при плавании в стесненных условиях, так как при этом легко опознается вся наблюдаемая обстановка и точность обсерваций высока.

Средняя квадратическая погрешность места, определенного с помощью картосличительной приставки оптического типа, составляет

$$M_0 = C_{ш} \sqrt{M_{н.т}^2 + M_{с.м}^2 + M_{с.н}^2 + M_{о.ц}^2}, \quad (16.5.1)$$

где $C_{ш}$ — знаменатель масштаба шкалы РЛС (карты);

- $M_{к.т}$ — СКП изображения контурной точки на карте (0,8 мм);
 $M_{с.м}$ — СКП согласования масштаба (0,4 мм);
 $M_{с.н}$ — СКП совмещения изображений ИКО и карты (0,8 мм);
 $M_{о.ц}$ — СКП отметки центра развертки на карте (0,4 мм).

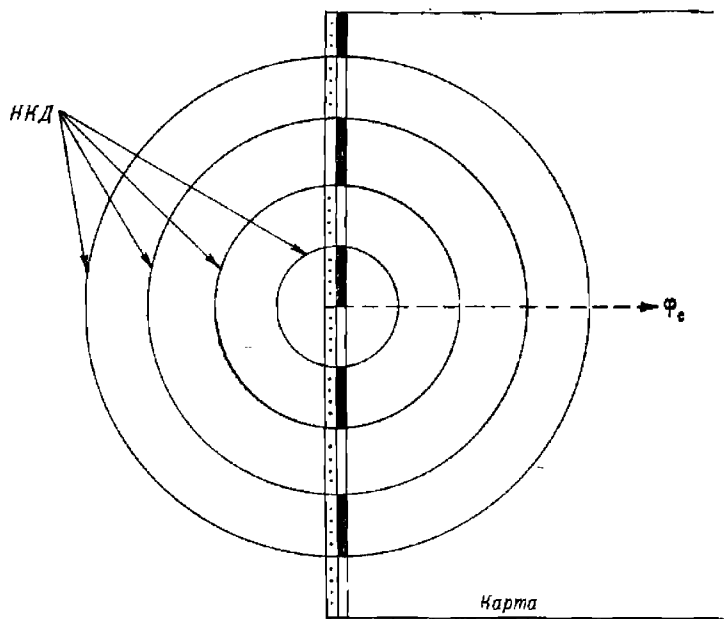


Рис. 16.5.1

Суммарная средняя квадратическая погрешность определения места методом совмещения изображений составляет 1,3 мм в масштабе карты. Применительно к блоку совмещения типа «Пальма» эта погрешность показана в табл. 16.5.1.

Таблица 16.5.1

Средние квадратические погрешности места корабля, определенного с помощью картосличительного устройства «Пальма»

Масштаб карты	Погрешность, кбт
1 : 25 000	0,17
1 : 50 000	0,35
1 : 100 000	0,70
1 : 200 000	1,40
1 : 300 000	2,10

В отличие от ИКО относительного движения ИКО истинного движения позволяет фиксировать не только obserвованное, но и текущее-счислимое место корабля, для чего необходимо лишь отметить на карте-

положение центра развертки. Смещение изображений ИКО и карты свидетельствует о накоплении погрешностей автосчисления и необходимости корректуры элементов движения корабля. Картосличительная приставка с таким ИКО позволяет осуществить в стесненных условиях плавание с заданной точностью, для чего необходимо выделить на карте точечный радиолокационный ориентир и описать около него окружность радиусом, равным заданной погрешности плавания. Каждая очередная обсервация в этом случае производится, когда рассогласование положения ориентира и его эхо-сигнала будет граничить с указанной окружностью.

§ 16.6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА КОРАБЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАССИВНЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ОТРАЖАТЕЛЕЙ И НАВИГАЦИОННОЕ ОРИЕНТИРОВАНИЕ КОРАБЛЯ С ПОМОЩЬЮ БЕРЕГОВЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ

Пассивные радиолокационные отражатели (РЛО) представляют собой конструкции, состоящие из элементов, так называемых уголков, основой которых являются взаимно перпендикулярные плоские металлические поверхности, преимущественно квадратной или треугольной формы, смонтированные в группы или комплекты таким образом, чтобы вторичное излучение электромагнитной энергии было максимальным.

Пассивные радиолокационные отражатели применяются для повышения отражательной способности навигационных знаков, плавучих предостерегательных знаков, а также обозначения отдельных точек, расположенных на водной поверхности или на низменном побережье, не имеющем характерных радиолокационных ориентиров.

Ориентиры с пассивными радиолокационными отражателями высвечиваются на индикаторах РЛС как точечные, поэтому обсервации по береговому навигационным знакам с РЛО и плавмаякам наиболее точны и надежны.

В практике навигационного оборудования применяются следующие типы уголковых отражателей:

на береговых средствах навигационного оборудования — спиральные пассивные отражатели СПО-600 или СПО-900, шестиуголковые комплекты К-1,0 или восьмиуголковые комплекты К-0,5;

на буйях и вехах — шестиуголковые или восьмиуголковые отражатели.

Пассивные радиолокационные отражатели могут с успехом применяться не только для радиолокационных обсерваций, ориентирования при плавании по каналам и фарватерам, когда они расположены на плавучих предостерегательных знаках, но и для вождения корабля по определенным направлениям аналогично вождению по створам. Радиолокационный створ по заданному направлению образуется установкой, симметрично относительно линии движения, двух РЛО, хорошо наблюдаемых с моря (рис. 16.6.1).

Для плавания по заданному направлению судоводителю необходимо предпринимать такие действия, чтобы его корабль занимал установленную линию движения точно. Правильное положение корабля подтверждается касанием ПКД индикатора кругового обзора одновременно двух отметок от РЛО. Если дистанция до правого РЛО больше — корабль левее установленного направления, если дистанция до левого РЛО больше — корабль правее установленного направления.

Радиолокационные маяки-ответчики представляют собой приемопередатчики частот сантиметрового диапазона, излучающие определенного вида сигналы в ответ на сигнал, полученный от корабельной

РЛС. Сигнал от радиолокационных маяков-ответчиков проявляется на ИКО корабельной РЛС в виде прямой линии, радиальной относительно центра развертки, или в виде опознавательного сигнала по азбуке Морзе той же ориентации относительно центра развертки. Если

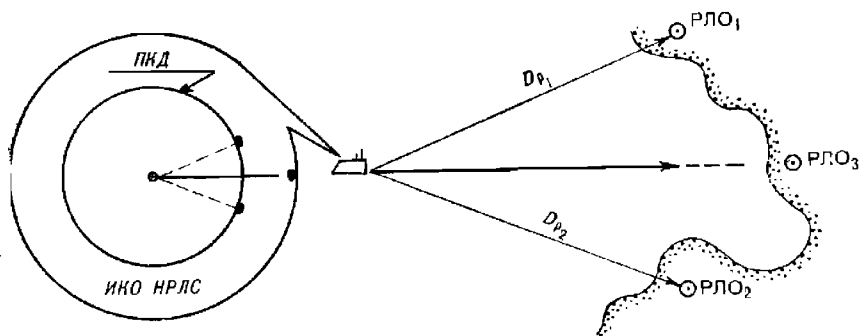


Рис. 16.6.1

сам РЛМк (отв) наблюдается на ИКО, то сигналы следуют на некотором расстоянии за ним (величины отстояния даются в руководстве РТСНО на район плавания вместе с наименованием, несущей частотой, частотой следования и позывными РЛМк (отв). Радиолокационные маяки-ответчики устанавливаются на береговых и плавучих средствах навигационного оборудования по тем же принципам, что и пассивные радиолокационные отражатели. Дальности действия РЛМк (отв) соответствуют максимальной дальности обнаружения РЛС в данных условиях наблюдения, поэтому сами объекты, на которых установлены РЛМк (отв), могут на индикаторах РЛС не наблюдаться.

При определении места корабля по радиолокационным маякам-ответчикам точность места корабля несколько ниже, чем по точечным радиолокационным ориентирам. Причиной этого является погрешность из-за нестабильности задержки ответного сигнала РЛМк (отв), эквивалентная 0,5—1,0 кбт.

Некоторые типы РЛМк (отв) выполняются в портативном виде; ими снабжаются лоцмана, совершающие проводку кораблей и судов по лимитированным путям, каналам и фарватерам. Эти РЛМк (отв) работают в системе с береговыми РЛС навигационного ориентирования и управления движением судов. По кодовому ответу РЛМк (отв) оператор береговой РЛС опознает наблюдаемое судно, а по каналу УКВ связи сообщает лоцману необходимую информацию об обстановке в районе плавания.

Навигационное ориентирование кораблей с использованием береговых радиолокационных станций (БРЛС) представляет собой систему установленных на берегу радиолокационных станций, взаимосвязанных с центрами сбора и обработки информации об обстановке и движении судов в определенной, охваченной наблюдением зоне, и организацию передачи необходимой информации на корабли. Береговые РЛС осуществляют постоянное наблюдение за движением кораблей и судов в зоне и передают информацию об этом в центр сбора и обработки информации. Центр сбора и обработки информации, кроме фактического положения кораблей и судов, по радиоканалам уточняет их классификацию и принадлежность, решаемые задачи и действия, определяет

элементы движения, координаты настоящего и прогнозируемого положения и вырабатывает рекомендации по регулированию безопасного движения.

В зависимости от уровня технической оснащенности, возможностей и предоставленных прав системы БРЛС могут осуществлять управление движением кораблей и судов на трех уровнях:

- навигационное ориентирование в пассивном режиме;
- активная радиолокационная проводка;
- полное регулирование движения в районе с помощью автоматизированной системы управления движением судов (АСУДС).

Навигационное ориентирование в пассивном режиме осуществляется по запросу с корабля или судна, нуждающегося в помощи БРЛС. Корабль производит опознавательный маневр, который позволяет оператору БРЛС определить, от кого поступил запрос, и в дальнейшем осуществлять за ним наблюдение. На БРЛС определяются координаты корабля в определенной системе, как правило в полярной (пеленг и дистанция от известного ориентира-маркера), и сообщаются на корабль в определенной последовательности. Полученные места используются на корабле для уточнения счисления, прокладки и принятия самостоятельных решений по безопасному управлению кораблем при проходе данного района.

Активная радиолокационная проводка предусматривает в качестве информации, передаваемой по радиоканалу на корабль, не только сведения о его положении на фарватере, но и рекомендации в части выбора курса следования, скорости движения и контрольных сроков прохода определенных участков судоходного пути.

Конкретная организация связи корабля с БРЛС и центром сбора и обработки информации устанавливается на флоте отдельно для каждого района.

При полном управлении и регулировании движения кораблей и судов в районе с помощью АСУДС система БРЛС замыкается на командно-диспетчерский пункт, на который ложится ответственность за безопасность плавания. Естественно, что в этих условиях техническое оборудование должно обеспечивать надежную двустороннюю связь с кораблями и судами, контроль за их местом и движением, а команды по управлению носить характер обязательных требований. Командиры кораблей и капитаны судов при таком уровне управления должны пунктуально выполнять требования командно-диспетчерского пункта. Однако и в этом случае ответственность за нарушение правил кораблевождения с командиров кораблей и штурманов полностью не снимается.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА КОРАБЛЯ С ПОМОЩЬЮ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

§ 17.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА КОРАБЛЯ С ПОМОЩЬЮ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Корабельные гидроакустические комплексы (ГАК) и гидроакустические станции (ГАС) могут работать в двух режимах — шумопеленгования и эхопеленгования. В режиме шумопеленгования ГАК (ГАС) позволяют определять только направление на объект, излучающий звуковые колебания. В режиме эхопеленгования ГАС излучают звуковые сигналы в направлении подводного объекта и принимают отраженные от него эхо-сигналы. По углу поворота излучателя по отношению к диаметральной плоскости определяется направление, а по времени, прошедшему между моментом излучения сигнала и приема эхо-сигнала, определяется расстояние до объекта. Дальность действия ГАК и ГАС зависит от гидрологических условий в районе и их технических характеристик. Во всех случаях в режиме шумопеленгования дальность обнаружения подводных объектов значительно превышает дальность действия при работе в режиме эхопеленгования.

Корабельные гидроакустические станции позволяют решать такие навигационные задачи, как определение места корабля при плавании в узкостях, определение маневренных элементов подводных лодок в подводном положении, определение элементов движения цели, предупреждение столкновений при плавании в подводном положении.

Подводные объекты, используемые в качестве гидроакустических ориентиров для определения места корабля, можно разделить на *пространственные и точечные*. К пространственным ориентирам относятся подводные участки берегового склона, на которых невозможно указать точку отражения гидроакустического импульса.

К точечным гидроакустическим ориентирам относятся такие подводные объекты, положение которых показано на карте в виде точки: небольшие островки, отдельно лежащие подводные скалы, затонувшие суда, подводные гидротехнические сооружения, а также специально выставленные гидроакустические средства навигационного оборудования (СНО) морского театра.

К гидроакустическим средствам навигационного оборудования относятся:

- гидроакустические маяки, работающие на излучение сигналов по запросу и позволяющие определять направление и расстояние до них;
- гидроакустические маяки, работающие по программе и позволяющие определять расстояние до них;

— гидроакустические пассивные отражатели, построенные по принципу радиолокационных уголкового отражателей и позволяющие определять направление и расстояние до них с помощью ГАС, работающей в режиме эхопеленгования;

— электромеханические излучатели, излучающие звуковые колебания и позволяющие определять направления на них с помощью корабельной ГАС в режиме шумопеленгования.

При определении места корабля с помощью ГАС измеряются гидроакустические пеленги или расстояния до точечных ориентиров и отыскивается точка пересечения изолиний, соответствующих измеренным навигационным параметрам.

Место корабля по точечным ориентирам может быть получено следующими способами:

— по гидроакустическому пеленгу и расстоянию до одного ориентира;

— по расстояниям до двух или трех ориентиров;

— по пеленгам на два или три ориентира;

— по крьюйс-пеленгу и крьюйс-расстоянию относительно одного ориентира.

При отсутствии в районе точечных ориентиров для определения места можно использовать пространственные ориентиры. Здесь следует учитывать, что отражение гидроакустического сигнала происходит не от береговой линии, а от точек грунта на глубине, примерно равной углублению вибратора-излучателя от поверхности воды.

Кривая, соединяющая точки берегового склона, от которых отражаются звуковые волны, называется *отражающей изобатой*.

Использовать отражающую изобату для определения места корабля можно лишь при достаточно крутом береговом склоне. При подготовке к определению места она может быть нанесена на путевую карту путем интерполирования глубин по отпечатанным на карте отметкам и изобатам.

Использование отражающей изобаты в качестве пространственного ориентира позволяет определить место корабля с помощью НГС:

— по вееру пеленгов и расстояний до отражающей изобаты;

— по траверсным кратчайшим расстояниям до отражающей изобаты;

— по двум кратчайшим расстояниям до отражающих изобат в участках.

Все способы определения места корабля с помощью ГАС по точечным и пространственным ориентирам аналогичны способам с использованием РЛС, которые описаны в главе 16.

Средняя квадратическая погрешность определения места корабля по гидроакустическим пеленгам на точечные ориентиры определяется формулой

$$M = \frac{1}{57,3^\circ \sin \Delta\Pi} \sqrt{(D_1^2 + D_2^2) m_{\text{ГЛП}}^2 - 2m_{\text{ДГК}}^2 D_1 D_2 \cos \Delta\Pi}, \quad (17.1.1)$$

где $\Delta\Pi$ — разность пеленгов на точечные ориентиры;

$m_{\text{ДГК}}$ — средняя квадратическая погрешность поправки компаса;

$m_{\text{ГЛП}}$ — полная средняя квадратическая погрешность гидроакустического пеленга, равная

$$m_{\text{ГЛП}} = \sqrt{m_{\text{н}}^2 + m_{\text{ДГК}}^2},$$

здесь $m_{\text{н}}$ — средняя квадратическая погрешность измеренного пеленга (выбирается из технической документации ГАС).

Средняя квадратическая погрешность при определении места по гидролокационным расстояниям определяется формулой

$$M = \frac{1}{\sin \omega} \sqrt{m_{г\text{ЛД}_1}^2 + m_{г\text{ЛД}_2}^2 - 2m_D^2 \cos \omega}, \quad (17.1.2)$$

где ω — угол между направлениями на ориентиры, до которых изменяются расстояния;

$m_{г\text{ЛД}}$ — средняя квадратическая погрешность гидролокационного расстояния

$$m_{г\text{ЛД}} = \sqrt{m_k^2 + m_D^2}.$$

Величина m_k — средняя квадратическая погрешность измерения расстояния, выбирается из технической документации ГАС; m_D — средняя квадратическая погрешность измерения расстояния, возникающая за счет отклонения фактической скорости звука в воде от расчетной, которая определяется по формуле

$$m_D = \frac{D_{\text{ср}}}{c} m_c,$$

где c — скорость звука в воде;

m_c — средняя квадратическая погрешность скорости звука в воде.

Средняя квадратическая погрешность места при определении по гидроакустическим пеленгу и расстоянию определяется по формуле

$$M = \sqrt{\left(\frac{m_{г\text{ЛП}}^c D}{57,3^\circ}\right)^2 + m_{г\text{ЛД}}^2}. \quad (17.1.3)$$

Для ориентировочных расчетов средней квадратической погрешности определения места всеми способами по точечным ориентирам можно принять: $m_{г\text{ЛП}} = 1^\circ$; $m_{г\text{ЛД}} = 0,01D$ при скорости хода до 15 узлов. При этом погрешность места по формуле (17.1.2) $M = 1-3$ кбт.

Средняя квадратическая погрешность места, полученного по отражающей изобате, определяется формулой

$$M = \frac{1,4}{\sqrt{n}} \sqrt{\sum m_i^2},$$

где n — количество измеренных расстояний до отражающей изобаты;

m_i — линейные погрешности определения положения отражающей изобаты на карте, которые зависят от большого количества факторов.

Наличие большого количества источников погрешностей при определении места по отражающей изобате делает этот способ недостаточно точным и к его использованию следует прибегать только при невозможности определить место другим, более точным способом.

§ 17.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА КОРАБЛЯ С ПОМОЩЬЮ ПОДВОДНЫХ ЗВУКОВЫХ МАЯКОВ-ОТВЕТЧИКОВ

Подводные звуковые (гидроакустические) маяки-ответчики устанавливаются на дне на глубинах до 6000 м. Места их установки определяются с высокой точностью и наносятся на карту.

Дальность действия гидроакустических маяков определяется гидролого-акустическими условиями распространения звуковых волн в воде и зависит от глубины установки маяка (рис. 17.2.1). При глубине установки маяка более 4000 м дальность его действия составляет

11—14 миль; при глубине установки до 1000 м дальность действия маяка 5—8 миль. При определении места подводной лодки, во всех случаях с увеличением глубины ее погружения, дальность действия маяка уменьшается.

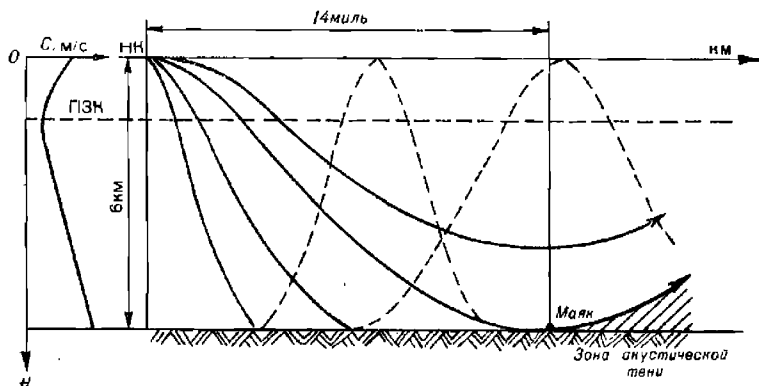


Рис. 17.2.1

На рис. 17.2.1 показана кривая изменения скорости распространения звука по глубине, а также кривые распространения звуковых волн от корабля в сторону маяка-ответчика.

Подводные звуковые маяки работают в режиме ретрансляции запросного сигнала и поэтому их называют маяками-ответчиками. Принципиально они позволяют определять место корабля всеми способами, которые используются при определении места с помощью ГАС. Но на практике применяются только два из них:

- по расстояниям до двух или трех маяков;
- по гидроакустическому пеленгу и расстоянию до одного маяка.

Два или три маяка-ответчика совместно с гидроакустической станцией и специальным бортовым устройством составляют подводную гидроакустическую систему (СНП).

При измерении расстояний запросный сигнал, излученный с корабля, принимается гидроакустическим маяком, после чего маяк излучает ответный сигнал, который принимается на корабле. На индикаторе бортового устройства высвечивается половина времени t прохождения запросного сигнала до маяка и ответного до корабля. Наклонное расстояние D_H определяется по формуле

$$D_H = ct,$$

где c — скорость распространения звука в воде в данном районе.

Горизонтальное расстояние D_G от корабля до маяка (при разности в заглублении ΔH корабельного излучателя и маяка) определяется по формуле

$$D_G = \sqrt{D_H^2 - \Delta H^2}.$$

Два горизонтальных расстояния до маяков дают две линии положения, в пересечении которых определяется наблюдаемое место корабля. Для устранения неоднозначности определения места по двум маякам необходимо априорно знать положение корабля относительно линии, соединяющей два маяка, т. е. знать, с какой стороны от этой линии находится корабль. При использовании трех маяков место корабля определяется однозначно.

Оценка точности определения места по расстояниям до двух маяков-ответчиков производится по формуле (17.2.1), но с учетом средней квадратической погрешности постановки гидроакустических маяков-ответчиков (M_{MO})

$$M = \frac{1}{\sin \omega} \sqrt{m_{ГЛД_1}^2 + m_{ГЛД_2}^2 - 2m_D^2 \cos \omega + M_{MO}^2}, \quad (17.2.1)$$

где $m_{ГЛД}$ — средняя квадратическая погрешность определения расстояния до гидроакустического маяка-ответчика.

При определении места корабля по пеленгу и расстоянию используются два импульса — короткий и длинный ответного сигнала маяка: короткий — для определения расстояния и длинный — для измерения пеленга. Пеленг измеряется с помощью гидроакустической станции в режиме шумопеленгования.

Поскольку измерение расстояния и пеленга производится через определенный интервал времени Δt , то необходимо их привести к одному моменту. В случае приведения к моменту пеленгования поправка ΔD к горизонтальному расстоянию рассчитывается по формуле

$$\Delta D = V \Delta t \cos q,$$

где V — скорость корабля;

q — курсовой угол на маяк-ответчик.

Оценка точности определения места по пеленгу и расстоянию производится по формуле

$$M = \sqrt{\left(\frac{m_{ГЛП} D_r}{57.3^\circ}\right)^2 + \left(\frac{D_n}{D_r} m_{D_n}\right)^2 + M_{MO}^2}, \quad (17.2.2)$$

где $m_{ГЛП}$ — средняя квадратическая погрешность гидроакустического пеленга, градус;

m_{D_n} — средняя квадратическая погрешность наклонного расстояния;

D_r — горизонтальная дальность до маяка-ответчика;

D_n — наклонная дальность до маяка-ответчика.

Точность этого способа определения места ограничивается в основном точностью пеленгования $m_{ГЛП}$.

§ 17.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА КОРАБЛЯ С ПОМОЩЬЮ НАВИГАЦИОННОЙ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

При определенном распределении по глубине температуры и солености в морской среде образуется подводный звуковой канал (ПЗК), в котором звуковые волны распространяются на сверхдальнее расстояние. Ось ПЗК располагается на глубине перегиба кривой изменения скорости звука по глубине, т. е. на глубине с минимальной скоростью распространения звука. Глубина залегания ПЗК, его толщина и скорость звука в нем в различных морях и в различное время года разные. Так, например, в северной части Атлантического океана ось ПЗК расположена на глубинах 50—100 м, в южной — на глубинах 500—1200 м. Летом ось ПЗК располагается на больших глубинах, чем зимой. Глубину и толщину ПЗК в районе плавания можно определить с помощью специальных приборов: обрывного термозонда (ТЗО), измерителя скорости звука в воде (ИЗМ-2000) или с помощью гидрологических атласов.

Взрыв заряда с массой 2—3 кг на глубине оси ПЗК хорошо прослушивается на расстоянии 2—3 тысяч миль.

Если произвести взрыв в строго фиксированный момент в какой-либо точке на оси ПЗК, то, зафиксировав момент приема сигнала на корабле, можно определить расстояние до источника звука по формуле

$$D = ct, \quad (17.3.1)$$

где c — горизонтальная скорость распространения звука в воде на оси ПЗК, м/с;

t — время, прошедшее с момента излучения до момента приема звукового сигнала, с.

Два-три излучателя звука, установленные в фиксированных точках моря (фокусах), и корабельная приемоиндикаторная аппаратура составляют навигационную гидроакустическую систему (НГС).

В качестве источников звука могут использоваться:

- подводные звуковые маяки;
- взрывы под водой подрывных зарядов, бомб или снарядов.

Для приема звуковых сигналов на кораблях используются:

- специальная приемная гидроакустическая аппаратура с хронометром и самописцем;
- шумопеленгаторные станции;
- гидрофоны.

По установленному расписанию в фокусах НГС на глубине ПЗК излучаются звуковые сигналы (взрывы или импульсные звуки). На корабле фиксируется время приема сигналов T_{A_n} , T_{B_n} , T_{C_n} и по известному времени излучения этих сигналов T_{A_i} , T_{B_i} , T_{C_i} рассчитываются интервалы времени:

$$\left. \begin{aligned} t_A &= T_{A_n} - T_{A_i}; \\ t_B &= T_{B_n} - T_{B_i}; \\ t_C &= T_{C_n} - T_{C_i}. \end{aligned} \right\} \quad (17.3.2)$$

По найденному t_i и известной скорости c по формуле (17.3.1) рассчитываются расстояния D_i до излучателей.

Для повышения точности измерений каждый излучатель подает не одиночный сигнал, а серию из двух-трех сигналов. В целях опознавания фокусов сигналы излучаются с разными временными интервалами, определенными для каждого фокуса. При расчете D в формулу (17.3.1) подставляются средние значения интервалов. Например,

$$t_{A_{cp}} = \frac{t_{A_1} + t_{A_2} + t_{A_3}}{3}. \quad (17.3.3)$$

Для определения места с помощью НГС выпускаются специальные карты с сетками изолиний. На этих картах изолинии (изостадии) проведены относительно фиксированных фокусов с учетом постоянной скорости распространения звука вдоль трассы распространения и оцифрованы в минутах и секундах.

В действительности горизонтальная скорость распространения звука на разных участках неодинакова. Поэтому при определении места с помощью гидрологических карт и атласов рассчитывается фактическая средняя скорость звука. Поправка, возникающая за счет отличия фактической скорости звука c от скорости звука c_0 , принятой при расчете сетки, рассчитывается по формуле

$$\Delta t_c = \left(\frac{c}{c_0} - 1 \right) t. \quad (17.3.4)$$

На картах помещаются таблицы поправок, рассчитанные по этой формуле.

При смещении излучателя из точки фокуса измеренный интервал времени прохождения сигнала от этого излучателя должен быть исправлен поправкой за смещение фокуса $\Delta t_{\text{ср}}$, которая определяется по формуле

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{r \cos(A - \alpha)}{c_0}, \quad (17.3.5)$$

где α — направление смещения фокуса;

r — величина смещения, мили;

A — пеленг из фиксированной точки фокуса на счислимое место корабля.

По этой формуле рассчитана номограмма, помещенная на картах с сеткой изолиний. Для определения пеленга A на картах приведена схема расположения фокусов.

Последовательность действий при определении места с помощью НГС следующая:

1. За 2—3 мин до очередного сеанса работы системы на корабле включается приемное устройство; по ленте самописца, фиксирующего точное время приема сигналов, определяются промежутки времени между сигналами в сериях и по ним производится опознавание фокусов.

2. По формулам (17.3.2), (17.3.3) рассчитываются средние интервалы времени прохождения сигналов: $t_{\text{Аср}}$, $t_{\text{Вср}}$, $t_{\text{Сср}}$. При этом моменты излучения сигналов $T_{\text{Аи}}$, $T_{\text{Ви}}$, $T_{\text{Си}}$ выбираются из специальных таблиц с расписанием работы в фокусах.

3. По фактической скорости звука в воде c и времени прохождения сигналов t_i из таблицы на карте выбираются поправки Δt_{c_i} за отличие скорости звука от расчетной.

4. При смещении фокусов из фиксированных точек по аргументам $(A - \alpha)$ и r с номограммы на карте снимаются поправки за смещение фокусов Δt_{ϕ_i} .

5. Измеренные интервалы $t_{\text{Аср}}$, $t_{\text{Вср}}$, $t_{\text{Сср}}$ исправляются поправками Δt_{c_i} и Δt_{ϕ_i} .

Полученные значения $t_{\text{А}}$, $t_{\text{В}}$ и $t_{\text{С}}$ являются параметрами, по которым на карте с сеткой изолиний находятся соответственные изостадии.

6. Навигационные изолинии приводятся к моменту измерения последнего сигнала и в точке их пересечения определяется место корабля.

При отсутствии карт с сетками изолиний место корабля можно определить методом линий положения (рис. 17.3.1).

Из счислимой точки C проводятся счислимые азимуты на фокусы излучения A_c и A_{c_0} , рассчитанные по формуле

$$\text{ctg } A_{c_i} = \text{tg } \varphi_{\phi_i} \cos \varphi_c \text{ cosec } \Delta \lambda_i - \sin \varphi_c \text{ ctg } \Delta \lambda_i, \quad (17.3.6)$$

где φ_{ϕ_i} — широта фиксированного фокуса;

φ_c — широта счислимой точки;

$\Delta \lambda_i$ — разность долгот фокуса и счислимого места.

При небольших расстояниях азимут можно получить более просто

$$\text{tg } A_{c_i} = \frac{P D_i}{P M \varphi_i}. \quad (17.3.7)$$

По направлениям $\tau = A_{c_i} \pm 180^\circ$ откладываются величины ΔD_1 и ΔD_2 — разности измеренных и счислимых расстояний:

$$\Delta D_i = D_i - D_{c_i}$$

Счислимые расстояния до фокусов можно получить по формуле

$$\cos D_{c_i} = \sin \varphi_{\phi_i} \sin \varphi_c + \cos \varphi_{\phi_i} \cos \varphi_c \cos \Delta \lambda_i. \quad (17.3.8)$$

При небольших расстояниях D_{c_i} можно получить проще

$$D_{c_i} = \frac{OTI\lambda_i}{\sin A_{c_i}} = P\mathcal{D}_i \cos \varphi_{cp} \operatorname{cosec} A_{c_i}.$$

Через полученные определяющие точки K_1 и K_2 под углом 90° к направлениям на фокусы проводятся линии положения I и II, в точке пересечения которых находится наблюдаемое место.

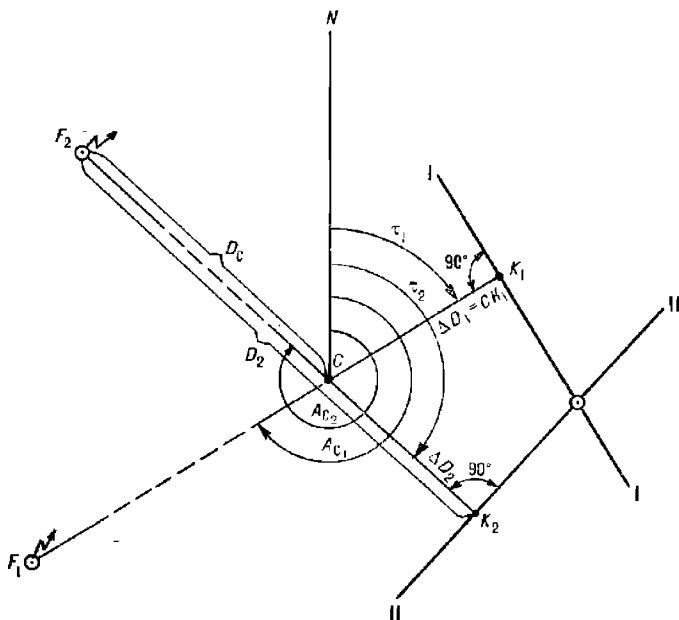


Рис. 17.3.1

Средняя квадратическая погрешность линии положения определяется формулой

$$m_D = \sqrt{t^2 m_c^2 + c^2 m_i^2 + m_\phi^2}, \quad (17.3.9)$$

где t — время распространения звукового сигнала;

m_ϕ — СКП положения излучателя в фокусе: $m_\phi = 0,7 M_\phi$;

m_c — СКП скорости звука на трассе распространения:

$$m_c = \sqrt{\frac{\sum l_i (c_l - c)^2}{(k-1) \sum l_i}}, \quad (17.3.10)$$

где l_i — длина участка трассы со скоростью звука c_i ;
 c — средневзвешенная скорость звука:

$$c = \frac{\sum l_i c_i}{\sum l_i};$$

κ — количество участков трассы с различными скоростями звука.
 СКП определения интервала времени t рассчитывают по формуле

$$m_t = \sqrt{m_{\text{изл}}^2 + m_{\text{T}}^2 + m_{\text{хр}}^2}, \quad (17.3.11)$$

где $m_{\text{изл}}$ — СКП момента излучения;
 m_{T} — СКП фиксации момента приема звукового сигнала на корабле;
 $m_{\text{хр}}$ — СКП поправки хронометра.

Поскольку погрешность поправки хронометра одинаково влияет на оба измеренных интервала времени, она является причиной их корреляционной зависимости. Коэффициент корреляции навигационных параметров определяется выражением

$$r = \frac{m_{\text{хр}}^2}{m_{D_1} m_{D_2}}.$$

Средняя квадратическая погрешность определения места с помощью НГС вычисляется по формуле

$$M = \frac{1}{\sin \omega} \sqrt{m_{D_1}^2 + m_{D_2}^2 - 2r m_{D_1} m_{D_2} \cos \omega},$$

или с учетом значения коэффициента корреляции r получим

$$M = \frac{1}{\sin \omega} \sqrt{m_{D_1}^2 + m_{D_2}^2 - 2m_{\text{хр}}^2 \cos \omega}. \quad (17.3.12)$$

§ 17.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА КОРАБЛЯ ПО РЕЛЬЕФУ ДНА

Многообразие и неповторимость форм подводного рельефа морского дна позволяют использовать их для определения места корабля в океане. Чем характернее формы рельефа, тем точнее можно определить место. Наиболее подходящими участками дна океана являются участки с сильно расчлененным рельефом (подводные горы, каньоны, подводные хребты, гряды подводных гор, холмов).

Сущность определения места корабля по рельефу дна состоит в отыскании на ограниченной площади по карте такого профиля дна, который наилучшим образом совпадает с профилем, полученным с помощью эхолота.

В измеренные эхолотом глубины должны быть введены следующие поправки:

1. Поправка глубины, измеренной эхолотом, за отличие фактической скорости распространения звука в воде от расчетной, которая рассчитывается по формуле

$$\Delta H_c = H_z \left(\frac{c}{c_0} - 1 \right), \quad (17.4.1)$$

где H_z — глубина, измеренная эхолотом, м;
 c — фактическая скорость звука в воде, м/с;
 c_0 — расчетная скорость, равная 1500 м/с.

По этой формуле рассчитана табл. 34-в МТ—75.

В случае отсутствия сведений о фактической вертикальной скорости звука в воде в районе плавания поправка ΔH_c может быть выбрана из специальных таблиц, помещенных в Инструкции по определению места корабля по рельефу дна или в Инструкции по маршрутному промеру (ИМП-74).

2. Поправка глубины, измеренной эхолотом, за отклонение фактической скорости вращения электромотора эхолота от номинальной. Она определяется по формуле

$$\Delta H_n = H_s \left(\frac{t}{t_0} - 1 \right), \quad (17.4.2)$$

где t_0 — эталонный промежуток времени, соответствующий номинальному числу вспышек неоновой лампочки (номинальной скорости вращения мотора эхолота);

t — измеренный секундомером промежуток времени, соответствующий тому же числу вспышек.

3. Поправка за углубление вибраторов эхолота от уровня моря ΔH_b .

4. Поправка за уровень моря ΔH_y , которая при использовании советских карт всегда отрицательна и численно равна высоте воды (выбирается из Таблиц приливов). Она учитывается только в случаях, когда величина прилива превышает 2 ‰ глубины. В открытом океане она не учитывается.

Общая поправка эхолота определяется суммой поправок

$$\Delta H_s = \Delta H_c + \Delta H_n + \Delta H_b + \Delta H_y. \quad (17.4.3)$$

При измерении глубины на подводной лодке в подводном положении необходимо учитывать глубину погружения \bar{H} , измеренную с помощью глубиномера. Тогда формула общей поправки эхолота примет вид

$$\Delta H_s = \Delta H_c + \Delta H_n + \Delta H_b + \Delta H_y + \bar{H}.$$

В современных эхолотах поправки ΔH_c , ΔH_n , ΔH_b могут быть до измерения глубин исключены путем соответствующей регулировки.

Рассмотрим два способа определения места корабля по рельефу дна:

- способ совмещения наблюдаемого профиля с программным;
- способ вмещения отрезков пути корабля между изобатами.

Способ определения места по совмещению наблюдаемого профиля с программным

Важным этапом работы при реализации этого способа является составление программного профиля. Для его составления на навигационной морской карте, имеющей достаточную подробность изображения рельефа дна, по маршруту плавания проводится ряд параллельных линий I, II, III, IV, V и т. д. (рис. 17.4.1). Эти линии должны быть равномерно удалены влево и вправо от намеченного пути и охватывать полосу шириной, равной предельной погрешности счисления места корабля. Перпендикулярно намеченным линиям проводится линия AA' начала профилей и параллельно ей линии 1, 2, 3, ... через 1—2 мили.

Сам маршрут плавания длиной 15—20 миль желательно прокладывать по линии наибольшей скорости изменения глубин, т. е. по направлению, перпендикулярному к изобатам.

С карты снимаются глубины в точках пересечения линий I, II, III, ... и 1, 2, 3, ..., которые сводятся в таблицу. По данным таблицы для каждой маршрутной линии I, II, III, ... на миллиметровой бумаге

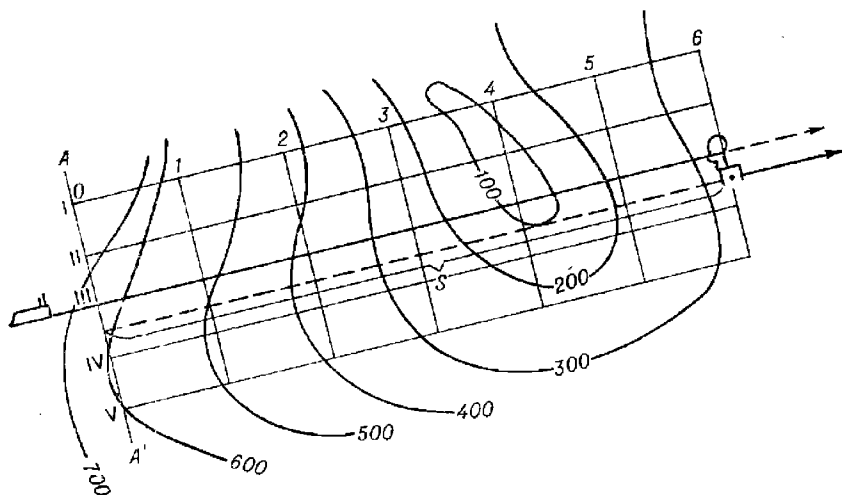


Рис. 17.4.1

строятся программные профили (рис. 17.4.2). При построении профилей масштаб по оси расстояний должен определяться по формуле

$$M = \frac{V_n}{V_k},$$

где V_n — скорость протяжки ленты самописца (из технического описания эхолота), мм/мин;

V_k — скорость корабля, уз.

Программные профили наносятся различным цветом и обозначаются номерами маршрутных линий (рис. 17.4.2).

С приходом корабля по счислению на линию начала профилей AA' начинается измерение глубин эхолотом с записью на ленту самописца. При этом в начальной и конечной точках профиля, а также через каждые 30 мин на эхограмме делают оперативные отметки и записывают на них время и отсчет лага.

В течение всего времени измерения глубин корабль должен следовать неизменными курсом и скоростью.

По окончании измерений с эхограммы снимается калька наблюдаемого профиля с оперативными отметками. Глубины наблюдаемого профиля исправляются поправками ΔH , если они превышают 0,5 % от измеренной глубины. В последнем случае на этой же кальке строится новый профиль.

Обсервованное место определяется путем совмещения наблюдаемого профиля с программным. Для этого калька с наблюдаемым профилем накладывается на график программных профилей так, чтобы линии нуля глубин совпадали. Перемещая кальку вдоль этой линии, добиваются совмещения наблюдаемого профиля с одним из программных

профилей. При невозможности достичь полного совмещения выбирают некоторое промежуточное положение между двумя программными профилями, имеющими с наблюдаемым наибольшее сходство. Затем по линии нуля глубин снимается расстояние S (в милях) от оси ординат графика программных профилей до последней оперативной отметки на кальке. Снятое расстояние откладывается на карте от линии начала профилей по направлению той маршрутной линии, которая соответствует опознанному программному профилю (рис. 17.4.1). Полученная точка является обсервованным местом корабля.

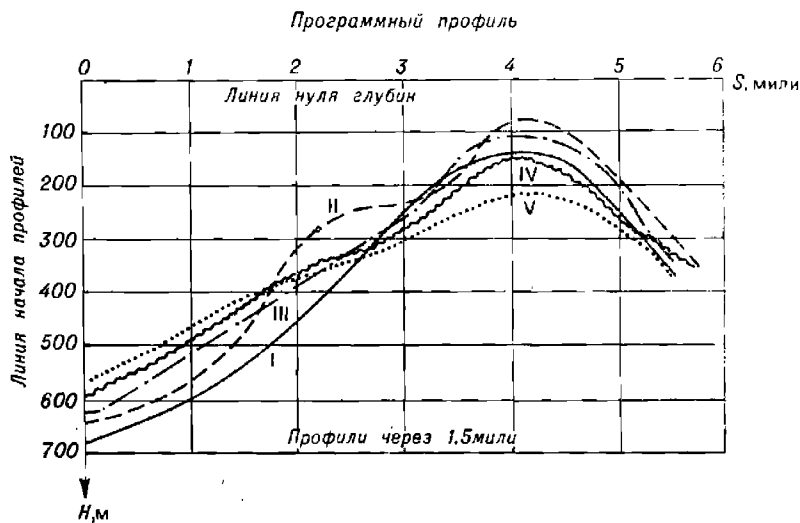


Рис. 17.4.2

Упрощенной разновидностью рассмотренного способа является прием опознавания места по ряду измеренных глубин на пути корабля. Он возможен в районах с подробным промером дна, имеющим выраженный уклон. Здесь измеренные глубины, снятые с эхограммы на оперативных отметках, наносятся на кальку. Калька накладывается на карту и передвигается в районе счислимого места до тех пор, пока глубины на кальке не совпадут с глубинами на карте или различие их будет минимальным. При этом необходимо сохранять параллельность линии глубин на кальке и пути корабля на карте. Точка, соответствующая моменту измерения последней глубины, принимается за опознанное место.

Средняя квадратическая погрешность места, опознанного по отдельной глубине, определяется по формуле

$$M_{(1)} = \sqrt{\frac{2}{8_{гд}} (m_{гд}^2 + m_{гн}^2) + M_0^2}, \quad (17.4.4)$$

где $m_{гд}$ — средняя квадратическая погрешность измеренных и исправленных поправками глубин при промере ($\approx 1\%$ от глубины);
 $m_{гн}$ — средняя квадратическая погрешность измерения глубин при определении места по рельефу дна ($\approx 1,5\%$ от глубины);
 M_0 — средняя квадратическая погрешность определения места при промере (1,5 мм в масштабе карты).

Градиент глубины определяется по карте отношением $g_{гд} = \Delta H/L$, в котором ΔH — разность двух соседних глубин на карте, L — расстояние между ними. При разных значениях ΔH и неодинаковых расстояниях L вычисляется средний градиент по всем близлежащим глубинам

$$g_{ср} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n g_{гд_i}$$

Средняя квадратическая погрешность места, определенного по серии измеренных глубин, рассчитывается по формуле

$$M = \sqrt{\frac{M_{сч}^2}{n} [1 + (n-1)r] + (n-1)M_{сч}^2},$$

где n — количество измеренных глубин;

$M_{сч}$ — средняя квадратическая погрешность счисления пути между измерениями глубин;

r — коэффициент корреляции глубин, рассчитываемый по формуле

$$r = \frac{m_c^2}{m_{гд}^2 + m_{гд_0}^2},$$

здесь m_c — средняя квадратическая погрешность глубины, обусловленная ошибкой определения вертикальной скорости звука в воде, которая оценивается величиной 0,3–0,5 % от глубины.

Способ определения места по вмещению отрезков пути корабля между изобатами

Для применения этого способа необходимо, чтобы район плавания имел достаточно расчлененный рельеф дна, представленный на карте в масштабе не менее 1 : 250 000 в виде изобат.

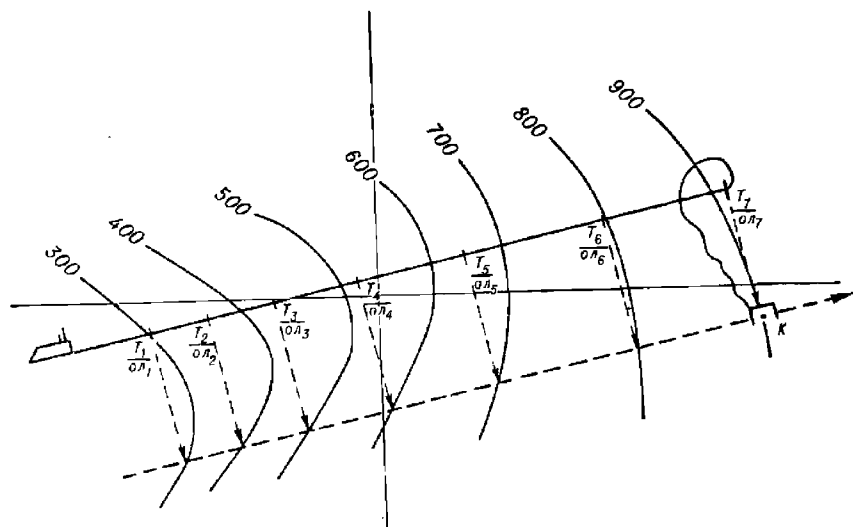


Рис. 17.4.3

При подготовке к определению места на карте проводится путь корабля, на котором намечается участок длиной 15–20 миль. Путь выбирается таким, чтобы угол пересечения его с изобатами по возможности был близок к 90°.

Для определения места с приходом в намеченный район включается эхолот и на эхограмме фиксируются моменты пересечения кораблем изобат и соответствующие отсчеты лага. На кальку наносятся линия пути и отметки пересечения изобат на расстоянии друг от друга, равном соответствующим разностям отсчетов лага в масштабе карты.

Для получения obserвованного места необходимо кальку положить на карту и перемещать ее параллельно линии пути до положения максимального совпадения отметок с соответствующими изобатами на карте (рис. 17.4.3). Точка совпадения отметки с последней изобатой покажет obserвованное место.

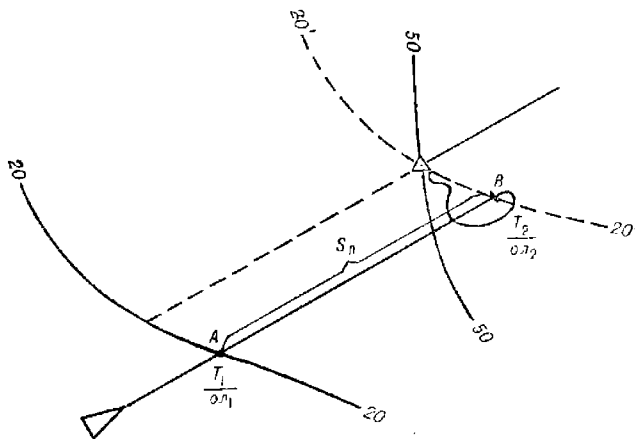


Рис. 17.4.4

Частным случаем этого способа является способ определения места корабля по крьюс-изобате. В нем в качестве линий положения используются две изобаты, расположенные на карте под углом 25—30° друг к другу. Для определения места этим способом корабль ложится на курс, пересекающий изобаты под углом, по возможности близким к 90°. Перед подходом к первой изобате включается эхолот, и в дальнейшем на его эхограмме фиксируются отсчеты лагов и моменты пересечения кораблем двух (или более) изобат.

На кальку с карты наносится первая изобата и проводится отрезок пути АВ между изобатами. Далее калька передвигается параллельно пути, удерживая точку А на первой изобате, до совмещения точки В со второй изобатой (рис. 17.4.4). Точка пересечения перенесенной изобаты со второй изобатой на карте будет счислимо-обсервованным местом корабля.

Средняя квадратическая погрешность места при определении его способом крьюс-изобаты рассчитывается по формуле

$$M_{co} = \frac{1}{\sin \Delta\tau} \sqrt{2M_{(1)}^2 (1 - r \cos \Delta\tau) + \frac{M_{сч}^2}{2}},$$

где $\Delta\tau$ — угол между градиентами изобат.

При определении места корабля по нескольким изобатам точность повышается в $\sqrt{n-1}$ раз (n — количество взятых изобат).

Раздел VI

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА КОРАБЛЯ С ПОМОЩЬЮ
РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СРЕДСТВ И СИСТЕМ**

Радионавигация — это наука о способах создания и применения навигационных средств, использующих эффект и закономерности распространения радиоволн для обеспечения подвижных объектов (кораблей, летательных аппаратов) навигационной информацией. Навигационная информация представляет собой совокупность навигационных параметров, то есть величин, характеризующих местоположение, ориентацию и перемещение объекта в определенной системе координат. Навигационные параметры находятся в функциональной зависимости с параметрами радионавигационного (электромагнитного) поля и определяются путем измерения и преобразования последних радиотехническими устройствами. Радионавигационное поле создается источниками излучения радиоволн, находящимися в приемном или космическом пространстве, в опорных радионавигационных точках, имеющих координаты, относительно которых определяется положение подвижного объекта.

Совокупность взаимодействующих радиотехнических устройств, размещенных как на борту подвижного объекта, так и в опорных радионавигационных точках, обеспечивающая подвижный объект навигационной информацией, называется *радионавигационной системой*. Различают приземные и космические радионавигационные системы (РНС).

Приземные РНС обеспечивают навигационной информацией подвижные объекты, находящиеся в атмосфере, на поверхности Земли и под водой.

Космические РНС обеспечивают подвижные объекты, находящиеся в космосе или на других планетах. Мореплавание интересует приземная, точнее — морская радионавигация, поскольку обеспечиваемые корабли находятся на поверхности морей или под водой. Излучающие или ретранслирующие радиосигналы опорные станции приземных РНС могут располагаться на Земле или на искусственных спутниках Земли. По этому признаку РНС принято разделять на радионавигационные системы с наземными опорными передающими станциями и спутниковые радионавигационные системы.

С помощью РНС могут быть определены следующие навигационные параметры:

- расстояние между кораблем и опорной радионавигационной точкой;
- разность расстояний между кораблем и двумя радионавигационными точками;
- угловая навигационная координата (азимут, курсовой угол);
- скорость движения корабля.

Обработывая эту первичную информацию, определяют координаты места корабля, являющиеся главными навигационными параметрами.

В зависимости от измеряемого навигационного параметра радионавигационные системы подразделяются на дальномерные, разностно-дальномерные (гиперболические), угломерные (азимутальные) и изме-

рители скорости. Некоторые РНС являются комбинированными, позволяющими определить сразу два навигационных параметра. Так, навигационные радиолокационные станции являются дальномерно-азимутальными радионавигационными устройствами.

Процесс получения навигационной информации с помощью РНС заключается в измерении радионавигационных параметров, то есть параметров электромагнитного поля, функционально связанных с навигационными параметрами, и определении численных значений этих навигационных параметров. В зависимости от того, какие параметры электромагнитного поля измеряются, РНС подразделяются на:

- амплитудные;
- фазовые;
- временные (импульсные);
- частотные;
- комбинированные (импульсно-фазовые).

Опорные наземные передающие станции РНС, совместно создающие электромагнитные поля, физические параметры которых служат для определения навигационных параметров, объединяются названием *цепь РНС*.

Как правило, одна из опорных станций в цепи является ведущей (ВЦ). Остальные станции — ведомые (ВМ) подстраивают время, частоту и (или) фазу излучения по сигналам ведущей.

Сведения, необходимые штурману для использования РНС, помещены в руководстве Радиотехнические средства навигационного оборудования (РТСНО), издаваемом Главным управлением навигации и океанографии МО.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА КОРАБЛЯ С ПОМОЩЬЮ АМПЛИТУДНЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Амплитудные радионавигационные средства представляют собой устройства, работа которых основана на использовании зависимости между интенсивностью радиосигнала и навигационным параметром.

Радионавигационным параметром, который определяется с помощью амплитудных радиотехнических устройств, чаще всего является направление с корабля на опорную радионавигационную точку, находящуюся на земной поверхности, то есть радиокурсовой угол (*РКУ*) или радиопеленг (*РП*).

В настоящее время амплитудные радиотехнические средства реализованы в виде двух вариантов радиомаячных систем, использующих в принципе своей работы либо направленный радиоприем, либо направленное радиоизлучение. В первом варианте система включает в свой состав радиомаяк кругового радиоизлучения — на берегу и радиопеленгатор, фиксирующий направление приема радиоволн, — на корабле; во втором варианте система включает в свой состав секторный радиомаяк с вращающейся многолепестковой диаграммой излучения — на берегу и радиоприемник (радиопеленгатор в режиме ненаправленного приема) — на корабле. В этом варианте определяется направление с радиомаяка на корабль.

Радиосекстаны, являющиеся астрономическими средствами навигации, по принципу действия также представляют собой амплитудные радиопеленгаторные устройства, которые служат для определения направлений на космические объекты радиоизлучения.

§ 18.1. КРУГОВЫЕ РАДИОМАЯКИ. КОРАБЕЛЬНЫЕ РАДИОПЕЛЕНГАТОРЫ

Радиомаяки кругового излучения, или, как их сокращенно называют, круговые радиомаяки (*РМк*), представляют собой передающие радиостанции, работающие на объявленных радиочастотах и установленные в опорных радионавигационных точках. Они обладают ненаправленной характеристикой излучения, а передаваемые ими сигналы включают в свой состав опознавательный сигнал и продолжительный сигнал — «длинное тире» — для радиопеленгования. Для обеспечения мореплавания радиомаяки объединяются в группы, внутри которых они работают поочередно на одной и той же частоте. Допускается объединение в одну группу до 6 радиомаяков. Время работы каждого радиомаяка составляет 1 мин, поэтому полный цикл излучения группы составляет 6 мин.

В руководстве РТСНО по круговым радиомаякам указываются их координаты, класс излучения, рабочая частота, частота модуляции (если это предусмотрено классом излучения), опознавательный сигнал, время работы, дальность действия либо мощность излучения сигналов.

Для радиомаяков, работающих по запросу, указывается также порядок и адрес подачи запроса на включение.

Радиомаяки кругового излучения по дальности действия подразделяются на радиомаяки дальнего действия (свыше 100 миль) и ближнего действия (менее 100 миль). К последним также относятся автоматические маломощные радиомаяки, называемые маркерными.

В общем случае для уверенного приема сигналов радиомаяков корабельными радиоприемниками — радиопеленгаторами в зависимости от широты района действия напряженность электромагнитного поля должна быть не менее 50—100 мкВ/м. Диапазон частот работы морских радиомаяков установлен Международным союзом электросвязи в Регламенте радиосвязи в пределах 285—325 кГц.

Корабельными радиопеленгаторами называются радиоприемные устройства с антеннами направленного действия, позволяющие определять направления (радиокурсовые углы или радиопеленги) с корабля на радиомаяки по излучаемым ими электромагнитным колебаниям.

Процесс определения указанных навигационных параметров называется *радиопеленгованием*.

Сущность радиопеленгования состоит в определении положения нормали к фронту радиоволны, приходящей в точку приема на корабле от источника радиоволн, например кругового радиомаяка.

Для радиопеленгования используется замкнутая рамочная антенна (рамка), обладающая свойством направленного приема. Присмик и индикаторное устройство, входящие в состав радиопеленгатора, обеспечивают прием радиосигналов, их усиление и измерение радиокурсового угла (*РКУ*). Для получения радиопеленга (*РП*) в индикаторное устройство радиопеленгатора необходимо ввести курс корабля от курсоуказателя. Неоднозначность в отсчетах радиокурсового угла (*ОРКУ*) и радиопеленга (*ОРП*), обусловленная характеристикой направленности приема рамочной антенны, устраняется вводом дополнительного сигнала от ненаправленной приемной антенны.

На кораблях в настоящее время находят применение радиопеленгаторы двух типов:

— автоматические, со следящей искательной катушкой гониометра или вращающейся рамочной антенной;

— двухканальные, с визуальным отсчетом пеленга. Эти радиопеленгаторы сейчас занимают основное место среди других типов.

В некоторых автоматических радиопеленгаторах, например, АРП-53р и АРП-50р, предусмотрен режим слухового пеленгования, когда в условиях радиопомех *РП* определяется по минимальному уровню звукового сигнала используемого радиомаяка в окончательном устройстве (громкоговорителе, телефонах).

Главной частью двухканальных визуальных радиопеленгаторов является двухканальное приемоусилительное устройство, подключенное со стороны входов к двум неподвижным взаимно перпендикулярным рамкам, а со стороны выходов — к системе отклоняющих пластин электронно-лучевой трубки.

В случае полной идентичности усиления и дополнительных фазовых сдвигов в обоих каналах на экране электронно-лучевой трубки наблюдается светящаяся линия, указывающая направление прихода радиоволны. Совмещая подвижный визир с этой линией, оператор имеет возможность отсчитать радиокурсовой угол или радиопеленг по круговой шкале, охватывающей экран электронно-лучевой трубки.

Металлические массы корабля, находясь в поле сигналов радиомаяка, становятся источниками переизлучения радиоволн, что вносит искажения в измеряемые радиопеленги. Возникающая девиация радио-

пеленгатора, в основном, компенсируется в аппаратуре, а остаточная — учитывается поправками, помещаемыми в корабельные графики или таблицы.

Точность определения *РКУ* оценивается средней квадратической погрешностью пеленгования, которая зависит от типа радиопеленгатора и составляет:

- у автоматических радиопеленгаторов 1—1,2°;
- у двухканальных радиопеленгаторов 0,8—1,0°.

В ночное время погрешность пеленгования возрастает в среднем в 2—2,5 раза.

Точность определения *РП*, кроме того, зависит от погрешности системы курсоуказания m_K и оценивается СКП, рассчитываемой по формуле

$$m_{РП} = \sqrt{m_{РКУ}^2 + m_K^2}, \quad (18.1.1)$$

где $m_{РКУ}$ — СКП измерения радиокурсового угла.

Порядок действий при радиопеленговании

По схеме расположения радиомаяков, помещенной в руководстве РТСНО для района плавания, определить, сигналы каких радиомаяков могут быть приняты и запеленгованы в счислимом месте корабля. Из таблицы в этом же описании выбрать значения рабочих частот, время работы радиомаяков, их опознавательные сигналы. Установить, в какой последовательности целесообразно пеленговать радиомаяки.

Включить радиопеленгатор, проверить согласование репитера гирокомпаса, управляющего положением шкалы радиопеленгов в радиопеленгаторе. Произвести измерение пеленгов порядком, установленным для данного типа радиопеленгатора. Если во время качки корабля отсчет радиопеленга изменяется с периодом качки, то следует определить среднее арифметическое значение предельных *ОРКУ* и *ОРП*.

По измеренному радиокурсовому углу из таблицы выбрать поправку за девиацию радиопеленгатора и исправить ею *ОРКУ*.

По средней широте и разности долгот радиомаяка и счислимого места из таблицы ортодромических поправок, помещенных в руководстве РТСНО или Мореходных таблицах, выбрать ортодромическую поправку и исправить радиопеленг.

Проложить локсодромический пеленг на карте. Если радионавигационная опорная точка (точка расположения радиомаяка) находится далеко за рамкой карты, то целесообразно вначале проложить обратный локсодромический пеленг на карте мелкого масштаба, на которой радиомаяк обозначен. Затем отрезок полученной линии положения по координатам двух ее точек перенести на путевую карту.

Если точка расположения радиомаяка оказывается за рамкой карты на сравнительно небольшом расстоянии (менее половины размера листа карты), для нанесения линии радиопеленга можно использовать метод смещения координат определяющей точки, при котором порядок действия состоит в следующем (рис. 18.1.1):

- на карту наносят вспомогательную точку *M*, одна из координат которой совпадает с координатой ближайшей рамки карты, а вторая — равна соответствующей координате радиомаяка. Если радиомаяк расположен внутри угла, вертикального углу рамки карты, то точка *M* совпадает с вершиной угла рамки карты;

- если радиомаяк расположен западнее или восточнее соответствующей рамки карты, на карту наносят линию смещенного меридиана,

отстоящего от рамки карты на такую же разность долгот $\Delta\lambda$, какая существует между меридианом радиомаяка и этой рамкой;

— если радиомаяк расположен южнее или севернее соответствующей рамки карты, то на карту наносят линию смещенной параллели, отстоящую от рамки карты на такую же разность меридиональных частей $PMЧ$ (ΔD), какая существует между параллелью радиомаяка и этой рамкой (таблица 26 Мореходных таблиц);

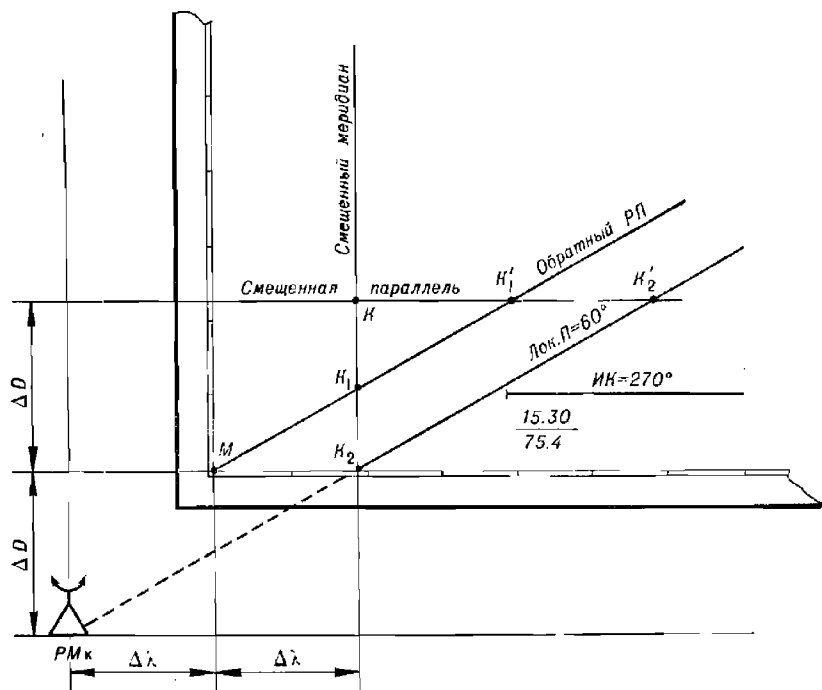


Рис. 18.1.1

— если радиомаяк расположен внутри угла, являющегося вертикальным с углом рамки карты, то на карту наносят обе эти смещенные линии;

— находят точку K пересечения смещенных меридиана и параллели между собой или с параллелью, или с меридианом радиомаяка, в зависимости от того, какие из этих линий оказываются в пределах карты;

— от вспомогательной точки M наносят линию, параллельную обратному радиопеленгу, до пересечения ее со смещенными меридианом или параллелью, где обозначают точку K_1 ;

— на смещенных меридиане или параллели находят определяющую точку K_2 , отстоящую от точки K_1 на таком же расстоянии, на каком точка K_1 отстоит от точки K ;

— через точку K_2 проводят линию радиопеленга на радиомаяк, которая является линией положения корабля.

Для оценки точности полученной линии положения может быть использована формула

$$m_{\text{лп}} = \frac{m_{\text{РП}} S}{57,3^\circ}, \quad (18.2)$$

где $m_{\text{РП}}$ — средняя квадратическая погрешность определения радиопеленга;

S — расстояние от корабля до радиомаяка.

Значение $m_{\text{лп}}$ будет получено в тех же единицах измерения, что и расстояние S .

Аналогично производится пеленгование второго радиомаяка, исправление полученного радиопеленга и его прокладка на карте. Обсервованное место корабля находят в точке пересечения обеих линий положения.

Примечание. Так как радиопеленгование радиомаяков обычно выполняется поочередно, то при прокладке первой линии положения на карту ее необходимо привести к моменту радиопеленгования второго маяка. Для этого первую линию положения переносят параллельно самой себе по пройденному пути за время, прошедшее между измерениями пеленгов.

Оценка точности обсервованного места производится по формуле

$$M_{\theta} = \frac{1}{\sin \theta} \sqrt{m_{\text{лп}_1}^2 + m_{\text{лп}_2}^2}, \quad (18.3)$$

где θ — угол пересечения линий положения.

Для исключения влияния неизвестной большой погрешности курсоуказания при радиопеленговании необходимо на постоянном курсе взять пеленги на три радиомаяка, исправить их поправками за девиацию радиопеленгатора и по полученным локодромическим пеленгам рассчитать два горизонтальных угла между направлениями на радиомаяки, а затем проложить обсервованное место корабля на карте с помощью протрактора.

Если по какой-либо причине (резкое изменение осадки корабля, постоянный крен или дифферент, невозможность приведения металлических надпалубных устройств в исходное положение и т. п.) девиация радиопеленгатора существенно изменилась, то следует также взять радиопеленги на три радиомаяка, приведя их изменением курса корабля поочередно на один и тот же РКУ. По полученным локодромическим пеленгам рассчитать два горизонтальных угла между направлениями на радиомаяки, а затем проложить обсервованное место корабля на карте с помощью протрактора.

Пример. В счислимом месте $\varphi_{\text{с}} = 41^{\circ}00,6' \text{ N}$ и $\lambda_{\text{с}} = 10^{\circ}33,3' \text{ E}$ ($M_{\text{сч}} = 3,0$ мили) измерил радиопеленг на радиомаяк, работающий на частоте 303,4 кГц (опознавательный сигнал «ЦФ») и из руководства РТСНО (адм. № 3203) установил, что это радиомаяк Ферро. По шкале радиопеленгов получен отсчет обратного РП = 102,7°, по шкале РКУ — отсчет обратного РКУ = 263,0°. Декретное московское время 11 ч 29 мин., ИК = 200°.

Определить обсервованную линию положения радиопеленгованием сигналов кругового радиомаяка.

Решение. 1. Из таблицы остаточной девиации радиопеленгатора по РКУ = 263,0° выбираем девиацию $f = -0,6^{\circ}$ и исправляем ею обратный радиопеленг, в результате получаем 102,1°.

2. Из таблицы ортодромических поправок, приведенной в описании РТСНО (адм. № 3203), выбираем ортодромическую поправку ψ на среднюю широту корабля и радиомаяка ($41^{\circ}05' \text{ N}$) и разность их долгот ($1^{\circ}01,5'$), равную 0,3°.

Так как корабль находится к востоку от радиомаяка, то поправка будет отрицательная. Находим обратный локодромический пеленг радиомаяка, который будет равен 101,8°.

3. Прокладываем обратный Лок. П от точки расположения радиомаяка как обсервованную линию положения корабля.

4. Оцениваем точность полученной линии положения для расстояния от счислимого места корабля до радиомаяка, равного 48 милям, при $m_{\text{УРП}} = 1,0^{\circ}$, $m_{\text{лп}} = 48,1 : 57,3 = 0,84$ мили.

5. Для уточнения места корабля по обсервованной линии положения разложим СКП счислимого места на СКП счисляемых линий положения по направлениям: перпендикулярному и параллельному обсервованной линии положения. СКП счисляемой линии

положения $m_{\text{солл}} = 0,71$, $M_{\text{сч}} = 2,12$ милл. Находим веса наблюдаемой и числимой линий положения: $P_{\text{солл}} = 1,424$; $P_{\text{счлп}} = 0,222$, далее рассчитываем вес объединенной счислимо-обсервированной линии положения — $P_{\text{солл}} = 1,646$, а ее СКП $m_{\text{солл}} = 0,78$ милл.

6. Вероятнейшее счислимо-обсервированное место находим на отрезке прямой, соединяющей счислимое место с ближайшей к нему точкой обсервированной линии положения. Проводя этот отрезок от счислимого места перпендикулярно обсервированной линии положения в точку ($\varphi_{\text{т}} = 40^{\circ}58,8' \text{ N}$, $\lambda_{\text{т}} = 10^{\circ}32,9' \text{ E}$) и деля его обратно пропорционально весам счисления и обсервации, получим $\varphi_{\text{а}} = 40^{\circ}59,0' \text{ N}$, $\lambda_{\text{а}} = 10^{\circ}33,0' \text{ E}$.

7. Рассчитываем среднюю квадратическую погрешность счислимо-обсервированного места по формуле

$$M_{\text{сч}} = \sqrt{m_{\text{счлп}}^2 + m_{\text{солл}}^2} \quad (18.2.4)$$

Подставляя численные значения СКП линий положения, получим СКП счислимо-обсервированного места $M_{\text{сч}} = 2,26$ милл.

§ 18.2. СЕКТОРНЫЕ РАДИОМАЯКИ ДАЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

Секторный радиомаяк представляет собой передающую радиостанцию с антенной системой, состоящей из трех или пяти разнесенных мачт-излучателей. Антенная система формирует многолучестковую (секторную) диаграмму направленности излучения (24 или 48 секторов, соответственно). (Рис. 18.2.1).

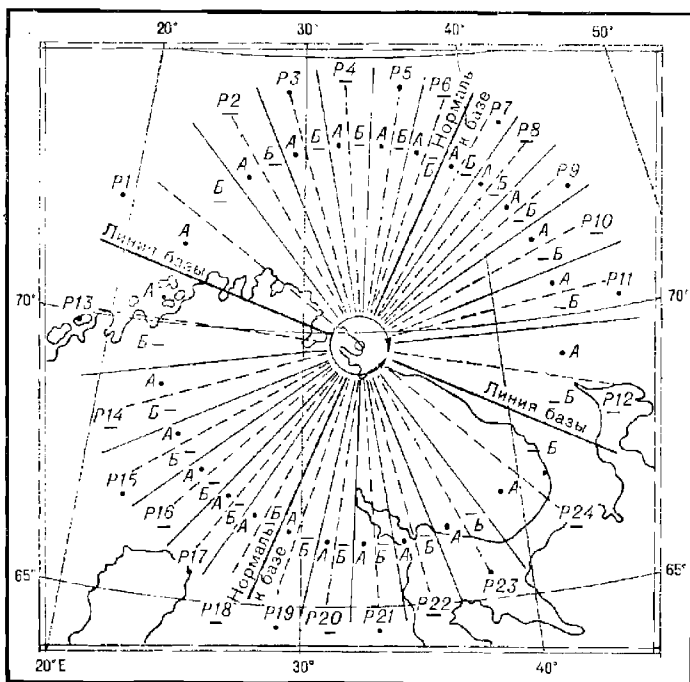


Рис. 18.2.1

В течение цикла излучения происходит плавный поворот веера лепестков диаграммы направленности точно на один сектор. При радиоприеме в начале цикла за счет программной коммутации фазы токов в мачтах, в нечетных секторах прослушиваются сигналы в виде точек

(сектора точек), а в четных — сигналы в виде тире (сектора тире). На границах секторов в этот момент амплитуды сигналов точек и тире равны, поэтому прослушивается непрерывный звук: наблюдатель находится в равносигнальной зоне (РСЗ).

Цикл направленного излучения состоит из 60 знаков — точек и тире. По мере вращения диаграммы направленности в любой точке приема изменяется соотношение амплитуд сигналов и сопровождающего их фона. Например, в секторах точек амплитуда сигнала постепенно уменьшается. Когда она уравнивается с фоном, прослушивается РСЗ. Затем амплитуда сигналов — точек становится еще ниже, т. е. сигналы точек сами становятся фоном для усилившихся тире. В секторах тире происходит аналогичный переход к прослушиванию точек.

Место радиомаяка, границы секторов и количество передаваемых знаков фиксированы, помещены на картах и объявлены в руководстве РТСНО, поэтому для определения пеленга мореплавателю достаточно на корабле подсчитать количество знаков, прослушанных до прохождения РСЗ.

Отсчетом радионавигационного параметра (*РНП*) является количество знаков (точек или тире), принятых до РСЗ. Но этот отсчет позволяет найти линию положения только в пределах сектора. Многозначность *РНП* разрешается определением номера сектора, в котором находится корабль. Этот номер может быть найден на радионавигационной карте с сеткой ортодромических пеленгов или на схеме секторов, помещенной в руководстве РТСНО, по счислимому месту корабля или приближенному (с погрешностью, не превышающей 10°) радиопеленгованием сигналов радиомаяка. Для возможности радиопеленгования секторный радиомаяк, кроме направленных, периодически излучает ненаправленные сигналы аналогично круговому радиомаяку.

Если местные условия распространения радиоволн вносят искажения в соотношение амплитуд точек и тире, то для исключения возникающих погрешностей отсчет *РНП* следует исправлять поправкой Δ_r , приведенной в руководстве РТСНО.

Линию положения по секторному радиомаяку можно определить по сетке изолиний на радионавигационной карте или с помощью таблицы истинных ортодромических пеленгов, помещенной в руководстве РТСНО. Кроме того, для этой же цели может быть использовано цифровое вычислительное устройство, например ЭКВМ «Слика».

Дальность действия секторных радиомаяков зависит от уровня радиопомех. В средних широтах фактическая дальность действия составляет 500—700 миль, в условиях Арктики, при низком уровне помех, она может превышать 1000 миль.

Средняя квадратическая погрешность определения *РНП* в дневное время составляет $0,3—1,0^\circ$, в темное время суток погрешность возрастает в 3—4 раза, особенно это проявляется на расстояниях около 400 миль от радиомаяка.

На удаленных менее 25 км от радиомаяка подсчет знаков может привести к большим ошибкам. На этих удаленных радиомаяк можно использовать только как круговой для обычного радиопеленгования.

Нормальным является режим работы секторного радиомаяка при одновременном излучении тремя мачтами-антеннами, расположенными на одной прямой линии (базе). У радиомаяка, имеющего пять мачт, работает поочередно по три мачты, составляющих две базы с общей для них центральной мачтой.

В случае отключения одной из мачт (вследствие неисправности или для профилактического обслуживания) радиомаяк работает в двух-

мачтовом режиме. В каждом из режимов и при переключении баз пяти-мачтового радиомаяка излучаются специальные опознавательные сигналы, которые служат признаком состава излучающих мачт. Они приводятся в руководстве РТСНО для каждого радиомаяка.

Когда отключена боковая мачта, нумерация и расположение секторов не отличаются от режима нормальной работы, но происходит смещение центра излучения базы радиомаяка.

Если отключена центральная мачта, то каждый сектор диаграммы направленности, соответствующий режиму нормальной работы (помещенный на схеме секторов и обозначенный на радионавигационных картах), превращается в два узких сектора, обозначаемых литерами *A* и *B*, с сохранением прежних границ и номера сектора (например, на месте сектора 5 образуются узкие сектора 5*A* и 5*B*). В каждом из этих узких секторов прослушивается по 60 знаков (узкие сектора с литерой *A* — секторы точек, с литерой *B* — секторы тире, независимо от номера сектора).

Порядок действий при использовании сигналов секторного радиомаяка

При использовании сигналов секторного радиомаяка для определения места корабля применяется следующий порядок действий.

1. Выбрать секторный радиомаяк по схеме, помещенной в руководстве РТСНО, настроить радиопеленгатор на его рабочую частоту, включить второй гетеродин в радиопеленгаторе. По опознавательному сигналу радиомаяка определить режим его работы (нормальный или двухмачтовый и какая мачта в последнем случае отключена).

2. По счислимому месту корабля определить номер сектора (а при отключенной центральной мачте — и литеру узкого сектора) с помощью схемы секторов или таблицы ортодромических пеленгов радиомаяка, помещенных в руководстве РТСНО. Эту же задачу можно решить, используя ЭКВМ «Списка» и радионавигационную карту. Если счислимое место ненадежно, то номер сектора и литеру узкого сектора следует определять радиопеленгованием ненаправленного сигнала радиомаяка (длинного тире), используя таблицу ортодромических пеленгов этого радиомаяка.

Методика определения номера сектора состоит в выполнении следующих действий.

а) При использовании электронной клавишной вычислительной машины «Списка»:

— ввести в ЭКВМ координаты мачт радиомаяка и счислимое место корабля, кодовую задержку, эквивалент единицы радионавигационного параметра;

— решить задачу вычисления гиперболических координат в заданной точке (задача 20) и получить счислимое полное значение отсчета радионавигационного параметра в знаках;

— рассчитать номер сектора в счислимом месте корабля по формуле

$$C = \left[\frac{U_t}{t} \right] + 1 + B, \quad (18.2.1)$$

где U_t — счислимое полное значение отсчета РНП;

t — количество знаков в секторе ($t = 60$ при нормальной работе радиомаяка, $t = 120$ при отключенной центральной мачте);

B — целое число (0, 12, 24 или 36), подбираемое в зависимости от стороны вращения РСЗ в счислимом месте корабля (если РСЗ вращаются по часовой стрелке, то $B = 0$ или 24, если против часовой стрелки, то $B = 12$ или 36) и номера базы, сигналы которой приняты (если база I, то $B = 0$ или 12, если база II, то $B = 24$ или 36).

б) При работе на генеральной навигационной морской карте:
— снять с карты локсодромический пеленг с радиомаяка на счислимое место корабля;

— исправить его ортодромической поправкой, взятой из таблицы ортодромических поправок в руководстве РТСНО с обратным знаком

$$\text{Орт. П} = \text{Лок. П} - \psi; \quad (18.2.2)$$

— с полученным ортодромическим пеленгом войти в таблицу пеленгов этого радиомаяка и прочитать номер сектора, в котором находится корабль.

в) При работе на путевой навигационной карте:

— перенести счислимое место корабля на схему секторов радиомаяка;

— прочитать на схеме номер сектора и литеру узкого сектора.

г) При работе на радионавигационной карте:

— найти (прочитать) номер сектора, в котором находится счислимое место корабля;

— при работе радиомаяка с отключенной центральной мачтой определить литеру узкого сектора: если значение радионавигационного параметра в счислимом месте не более 30 знаков, то литера А, если более 30 знаков, то литера Б.

3. Произвести подсчет знаков (точек и тире), принимаемых до и после прохождения РСЗ, определить вид знаков, принятых до РСЗ.

4. Убедиться, что вид принятых до РСЗ знаков совпадает с наименованием сектора в счислимом месте, т. е. отсутствует грубая ошибка в счислении, в противном случае — уточнить номер сектора и литеру узкого сектора:

— когда радиомаяк работает нормально или выключена боковая мачта, то номер сектора следует уменьшить на 1, если до РСЗ принято более 40 знаков, или увеличить на 1, если до РСЗ принято менее 20 знаков;

— когда выключена центральная мачта и до РСЗ принято менее 20 или более 40 знаков, то литеру узкого сектора следует сменить на противоположную (А на Б или Б на А). Одновременно номер сектора уменьшить на 1, если до РСЗ принято менее 20 точек или увеличить на 1, если до РСЗ принято более 40 тире;

— при любом режиме работы радиомаяка, когда до РСЗ принято более 20 или менее 40 знаков, следует уточнить счисление, например, радиопеленгованием ненаправленного сигнала (длинного тире) радиомаяка и заново определить номер сектора и литеру узкого сектора.

5. Проверить общее количество принятых знаков. Если сумма знаков, принятых до и после РСЗ, отличается от 60 (например, вследствие пропуска нескольких слабо различимых знаков вблизи РСЗ), то недостающее до 60 количество знаков разделить пополам и полученную величину прибавить к принятым до РСЗ знакам.

6. Если в руководстве РТСНО объявлены поправки за условия распространения радиоволы Δ_r , то выбрать значение поправки из таблицы, входя в нее по номеру сектора, в котором находится корабль, и исправленному за пропуск знаков отчету РНП.

Примечание. Когда отключена центральная мачта радиомаяка, то для входа в таблицу Δ_r отсчет радионавигационного параметра следует предварительно разделить на 2 и, если корабль находится в узком секторе «Б», увеличить на 30 знаков. Полученная поправка Δ_r удваивается и суммируется с отсчетом радионавигационного параметра.

Дальнейшие действия штурмана зависят от наличия в его распоряжении ЦВУ, других средств автоматизации и картографических материалов.

А. При использовании преобразователя координат гиперболических (ПКГ-1):

— производят расчет разностно-дальномерного радионавигационного параметра U_{rn} по формуле

$$U_{rn} = u_{zn} + (C - B - 1)t, \quad (18.2.3)$$

где u_{zn} — исправленный отсчет РНП (в знаках);

C — номер сектора (по формуле 18.2.1);

B — целое число 0, 12, 24 или 36, подбираемое по условию $12 \geq C - B \geq 1$;

t — количество знаков в секторе;

— вводят в ЦВУ ПКГ-1 координаты мачт радиомаяка и счислимого места корабля, кодовую задержку, эквивалент единицы радионавигационного параметра, СКП обсервованного навигационного параметра m_u и СКП счислимого места, а также полное значение обсервованного разностно-дальномерного радионавигационного параметра U_{rn} ;

— определяют перенос $лп$ и азимут этого переноса;

— рассчитывают СКП обсервованной разностно-дальномерной $лп$ $m_{лп}$ в ЦВУ и в дальнейшем она служит исходной величиной при расчете эллипса погрешностей и СКП обсервованного места.

Б. При использовании радионавигационной карты с сетками ортодромических пеленгов линия положения строится графически, причем если радиомаяк работает в двухмачтовом режиме, то предварительно следует пересчитать РНП в режим нормальной работы. Для этого при отключении боковой мачты отсчет РНП исправляется поправкой K за смещение центра излучения базы радиомаяка, выбираемой из таблицы в руководстве РТСНО.

В случае отключения центральной мачты необходимо:

— отсчет радионавигационного параметра разделить на 2;

— если корабль находится в узком секторе B , то к полученному после деления значению прибавить 30 знаков;

— независимо от вида фактически принятых до РСЗ знаков полагать наименование знаков соответствующим номеру сектора, в котором корабль находится по счислению (в нечетном — точки, в четном — тире).

Линию положения находят интерполяцией между изолиниями сетки пеленгов на исправленное значение радионавигационного параметра.

В. При работе на генеральной навигационной карте:

— исправленное значение РНП перевести в пеленг с помощью таблицы ортодромических пеленгов радиомаяка, помещенной в руководстве РТСНО;

— проложить линию локсодромического пеленга из точки расположения радиомаяка.

Оценка точности линии положения, рассчитанной на ПКГ-1, производится по формуле

$$m_{\text{зн}} = \frac{m_{U_{\text{РН}}} S}{363 \cos(A_{\text{н}} - \text{Орт. П})}, \quad (18.2.4)$$

где $m_{U_{\text{РН}}}$ — СКП определения радионавигационного параметра в знаках;

S — расстояние от корабля до радиомаяка;

$A_{\text{н}}$ — азимут нормали к базе радиомаяка (направление пеленга для РНП = 60 знаков в 6, 18, 30, 42 секторах) в точке расположения радиомаяка;

Орт. П — ортодромический пеленг с радиомаяка на корабль, выбранный из таблицы, приведенной в руководстве РТСНО, или снятый с радионавигационной карты.

Оценка точности линии положения, определенной с использованием радионавигационной карты, производится в следующей последовательности:

— измеряют расстояние L между соседними изолиниями (в км или м) вблизи места корабля, нанесенного на карту;

— рассчитывают СКП линии положения по формуле

$$m_{\text{зн}} = \frac{m_{U_{\text{РН}}} L}{\delta_N}, \quad (18.2.5)$$

здесь δ_N — разность значений соседних изолиний, в знаках;

L — расстояние между соседними изолиниями вблизи места корабля.

СКП линии положения получают в тех же единицах, в каких выражены S и L .

Пример 1. В счислимых координатах $\varphi_c = 56^\circ 14' \text{ N}$ и $\lambda_c = 168^\circ 54' \text{ E}$ ($M_{\text{сч}} = 2$ мили) в 14 ч 30 мин декретного московского времени приняты опознавательные сигналы «КИ» секторного радиомаяка Карагинский и подсчитано 2 тире до равносигнальной зоны, 58 точек после нее. Одновременно приняты опознавательные сигналы «ШЩ» секторного маяка Шумшу, работающего с отключенной центральной мачтой, и подсчитано 3 тире до РСЗ и 57 точек после ее прохождения. $НК = 284^\circ$. Определить координаты места корабля по сигналам секторного радиомаяка.

Решение с использованием цифрового вычислительного устройства ПКГ-1.

1. По схеме секторов радиомаяка Карагинский определяем, что счисляемое место корабля лежит примерно на границе секторов К-7 и К-8. Поскольку до РСЗ наблюдались тире, считаем, что корабль находится в секторе К-8.

2. Из Таблицы поправок Δ_p за условия распространения радиоволн для секторного радиомаяка Карагинский (выдержка из таблицы приводится ниже) по отсчету 2 тире в секторе К-8 выбираем поправку $\Delta_p = -7$.

Выдержка из Таблицы поправок за условия распространения радиоволн секторного радиомаяка Карагинский

№ сектора	Количество принятых знаков	Поправка, зн.	№ сектора	Количество принятых знаков	Поправка, зн.
К-7	13—18	—2	К-8	1	—8
»	19—22	—3	»	2	—7
»	23	—4	»	3	—5
»	24—25	—5	»	4—5	—3
»	26—29	—6	»	6	—2
»	30—35	—7	»	7—9	—1
»	36—44	—8	»	10—11	0
»	45—57	—9			
»	58—60	—8			

3. Для аналитического расчета элементов обсервованной линии положения находим полное значение разностно-дальномерного радионавигационного параметра при $C=8$, $B=0$, $t=60$, $p=0$, $u_n=2$, $\Delta_r=-7$, $U_{рн}=2+(8-0-1) \cdot 60-7=415$ знаков.

4. Выбираем из руководства РТСНО и вводим в ЦВУ координаты излучающих маяк, кодовую задержку ($t_k=16,903$ знака), эквивалент единицы разностно-дальномерного РНП ($\gamma=14,271$ м/знак) и СКП навигационного параметра ($m_U=21$ м). Затем вводим координаты счислимого места (φ_c, λ_c) и его СКП, а также полное значение РНП и, решая задачу вычисления элементов первой линии положения, получаем перенос линии положения на $l_1=5026,6$ м по направлению градиента $\tau=40^\circ 59' 04'' \approx 41^\circ$.

5. Опознавательному сигналу «ШЦ» соответствует секторный радиомаяк Шумшу, работающий с отключенной центральной маячкой.

По схеме секторов, приведенной в руководстве РТСНО, определяем, что корабль находится в секторе Ш-8А, тогда полное значение разностно-дальномерного РНП, рассчитываемого по формуле 18.2.3, составит: $3+(8-0-1) \cdot 120=843$ знака.

6. Выбираем из руководства РТСНО данные по радиомаяку Шумшу и вводим в ЦВУ: координаты излучающих маяк, кодовую задержку ($t_k=33,618$ знака), эквивалент единицы РНП ($\gamma=7,343$ м/знак), поправку за условия распространения радиоволн ($\Delta_r=-4$) и СКП навигационного параметра ($m_U=m_U \cdot \gamma=1,5 \cdot 7,3 \approx 11,0$ м).

После этого вводим в ЦВУ вычисленное полное значение РНП (843 знака) и СКП навигационного параметра ($m_U=11$ м) и, решая задачу вычисления элементов второй линии положения (задача 1), получаем перенос линии положения $l_2=4253,3$ м по направлению градиента $\tau=149^\circ 00'$.

7. Затем при помощи ЦВУ производим вычисление истинных координат места корабля и оценку точности определения места (задача 6) и в результате получаем:

- обсервованное место корабля $\varphi_o=56^\circ 13' 53,17''$ N, $\lambda_o=169^\circ 01' 38,14''$ E;
- значение СКП обсервованного места $M_o=2913$ м = 1,6 мили;
- размеры и ориентировку эллипса погрешностей $a=2368$ м, $b=1699$ м, $A_b=12^\circ 30'$. (В ПКГ-1 азимут малой оси эллипса погрешностей обозначается буквой «Т»).

Пример 2. В счислимых координатах $\varphi_c=56^\circ 14'$ N и $\lambda_c=168^\circ 54'$ E в 14 ч 30 мин декретного московского времени приняли опознавательный сигнал «КИ» секторного радиомаяка Карагинский, подсчитали 2 тире до РСЗ, 58 точек после нее и опознавательный сигнал «ШЦ» радиомаяка Шумшу, работающего в двухмаячковом режиме с отключенной центральной маячкой. С помощью радиоприемного устройства подсчитали 1 точку до РСЗ и 59 тире после РСЗ. ИК = 284° .

Решение примера при использовании карты (№ 60103-РА ПТ) с сеткой ортодромических пеленгов (рис. 18.2.2).

1. По счислимому месту на радионавигационной карте корабль находится в секторах К-8 и Ш-8А. После исправления отсчетов РНП поправками Δ_r из таблиц РТСНО (РМК Карагинский, $\Delta_r=-7$ знаков, РМК Шумшу, $\Delta_r=-2$ знака) обсервованное место корабля перемещается в секторы К-7 (на отсчете — 5 тире, т. е. 55 точек) и Ш-7 (на отсчете — 2 тире, т. е. 58 точек).

2. Прокладываем по сетке ортодромических пеленгов на радионавигационной карте масштаба 1:2 000 000 обсервованные линии положения и в точке их пересечения находим обсервованное место корабля $\varphi_o=56^\circ 13,8'$ N, $\lambda_o=169^\circ 01,2'$ E.

3. Для оценки точности полученного места измеряем на карте расстояние между соседними изолиниями РНП, различающимися на δ_N знаков ($L_K=6,7$ мили, $L_{Ш}=15,9$ мили), рассчитываем градиенты РНП и СКП обсервованных линий положения с учетом того, что число знаков в секторе радиомаяка Шумшу удвоено за счет отключения центральной маячки ($\delta_{N_K}=10$ знаков, $\delta_{N_{Ш}}=10 \times 2=20$ знаков). По фор-

мулам $g = \frac{\delta_N}{L}$ и $m_{лп} = \frac{m_{U_{рн}}}{g_{U_{рн}}}$ рассчитываем градиенты и СКП обсервованных линий положения: $g_{олп_{Ш}}=1,26$ знак/милю, $g_{олп_K}=1,49$ знак/милю, $m_{олп_{Ш}}=1,19$ мили, $m_{олп_K}=1,0$ мили.

4. Измеряем на карте угол пересечения линий положения $\theta=73^\circ$ и рассчитываем составляющие СКП линии положения за счет неточности графической интерполяции по сетке изолиний по формуле

$$m_{лп} = \frac{C m_r}{1,852 \cdot 10^6},$$

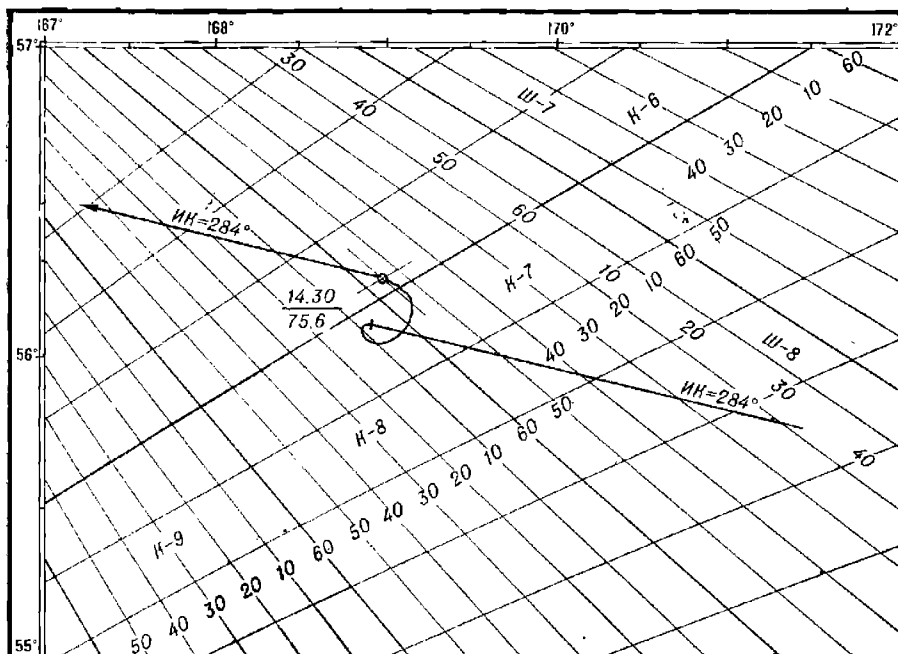
где C — знаменатель частного масштаба карты в широте места корабля; m_r — СКП графических построений ($m_r=0,5$ мм).

Вычисляем СКП obserвированного места корабля по формуле

$$M_0 = \frac{1}{\sin \theta} \sqrt{m_{\text{оалпк}}^2 + m_{\text{оалпш}}^2 + 2m_{\text{лр}}^2};$$

$$M_0 = 1,77 \text{ мили.}$$

Пример 3. В счислимом месте корабля $\varphi_c = 56^\circ 14' \text{ N}$ и $\lambda_c = 168^\circ 54' \text{ E}$ в 14 ч 30 мин декретного московского времени приняли опознавательный сигнал «КИ» секторного радиомаяка Карагинский и подсчитали 2 тире до РСЗ, 58 точек после нее, и опознавательный сигнал «ШЦ» радиомаяка Шумшу, работающего в двухмачтовом режиме с отключенной центральной мачтой. С помощью радиоприемного устройства подсчитали одну точку до РСЗ и 59 тире после РСЗ. $ИК = 284^\circ$.



Карта №60103-РА ПТ

Рис. 18.22

Решение примера при использовании генеральной навигационной карты.

1. С карты снимаем доксдромические пеленги с радиомаяков на счислимое место корабля $Лок. П_K = 130,0^\circ$, $Лок. П_Ш = 54,3^\circ$ и, исправляя их обратными ортодромическими поправками, выбираемыми из руководства РТСНО, $\psi_K = +2,2^\circ$, $\psi_Ш = +4,7^\circ$, находим счислимые ортодромические пеленги (азимуты) с радиомаяка на корабль $A_K = 130,0 - 2,2 = 127,8^\circ$, $A_Ш = 54,3 - 4,7 = 49,6^\circ$.

2. По таблицам ортодромических пеленгов радиомаяков Карагинский и Шумшу в руководстве РТСНО устанавливаем, что пеленгу с Карагинского маяка $127,8^\circ$ соответствует счислимый отсчет 7 тире в секторе К-8 и пеленгу с маяка Шумшу $49,6^\circ$ соответствует счислимый отсчет 3 тире в секторе Ш-8. Поскольку подсчитано до РСЗ по Карагинскому 2 тире и по Шумшу 3 точки, определяем, что наблюдаемые неисправленные отсчеты относятся к секторам К-8 и Ш-8 (в узком секторе «А»).

3. В Таблицах поправок Δ_r для радиомаяков Карагинский и Шумшу в руководстве РТСНО по номерам секторов и отсчетам РНП находим поправки $\Delta_{рК} = -7$ знаков и $\Delta_{рШ} = -2$ знака, которыми исправляем отсчеты РНП:

- по Карагинскому — 5 тире, т. е. 55 точек в секторе К-7;
- по Шумшу — 2 тире, т. е. 58 точек в секторе Ш-7.

4. С исправленными РНП в таблицах ортодромических пеленгов радиомаяков Карагинский и Шумшу, приведенных в руководстве РТСНО, для секторов К-7 и Ш-7 находим, что с маяка Карагинский *Орт.* $P_K = 125,7^\circ$, а с маяка Шумшу *Орт.* $P_{Ш} = 49,0^\circ$.

5. Исправляем пеленги ранее найденными ортодромическими поправками и получаем локодромические пеленги на обследованное место корабля: *Лок.* $P_K = 127,9^\circ$; *Лок.* $P_{Ш} = 53,7^\circ$.

6. Прокладываем локодромические пеленги на карте и находим обследованное место корабля $\varphi_0 = 56^\circ 14' N$, $\lambda_0 = 169^\circ 00' E$.

7. Для оценки точности обследованного места измеряем на карте расстояния от корабля до радиомаяков: $S_K = 232$ мили, $S_{Ш} = 552$ мили.

Выбираем из руководства РТСНО азимуты нормалей к базе радиомаяков $A_{нК} = 119^\circ$, $A_{нШ} = 39^\circ$ и рассчитываем СКП линий положения: $m_{лК} = 1,02$ мили, $m_{лШ} = 1,25$ мили.

8. Измеряем на карте угол пересечения линий положения $\theta = 73^\circ$ и рассчитываем составляющие СКП линий положения за счет точности графической прокладки пеленгов по формуле

$$m_{лг} = \frac{m_{рп} S}{57,3^\circ},$$

где S — расстояние от корабля до радиомаяка;
 m — СКП прокладки пеленгов ($0,2^\circ$).

Вычисляем СКП линий положения: $m_{лгК} = 0,81$ мили, $m_{лгШ} = 1,93$ мили.

Вычисляем СКП обследованного места корабля по формуле

$$M_0 = \frac{1}{\sin \theta} \sqrt{m_{лК}^2 + m_{лШ}^2 + m_{лгК}^2 + m_{лгШ}^2};$$

$$M_0 = 1,045 \text{ мили.}$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА КОРАБЛЯ С ПОМОЩЬЮ ФАЗОВЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Фазовые радионавигационные системы в своей работе используют зависимость между фазой радиоволны и пройденным ею расстоянием. Основной формулой фазовых методов определения расстояний является

$$S_{\phi} = \frac{v_{\phi}}{f} \Phi,$$

где S_{ϕ} — пройденное радиоволной расстояние;

v_{ϕ} — скорость распространения радиоволны;

f — частота сравниваемых электромагнитных колебаний;

Φ — лаг фазы радиоволны за время ее распространения.

Основным достоинством фазовых методов определения навигационного параметра, а следовательно и фазовых РНС, является их высокая точность. При этом с уменьшением длины волны (с повышением частоты сравниваемых по фазе колебаний) точность определения навигационного параметра возрастает. Так, например, у фазовых РНС ультракоротковолнового диапазона погрешность определения расстояний составляет несколько десятков сантиметров, средневолнового — 1—5 м, длинноволнового — 40—60 м, сверхдлинноволнового — 400—600 м.

Главным недостатком фазовых РНС является многозначность результатов измерений разности фаз. Это объясняется циклическим характером изменения разности фаз как физической величины (с фазовым циклом, равным 2π радиан или 360°) и возможностью фазоизмерительных устройств однозначно измерять разность фаз лишь в пределах одного фазового цикла.

Для разрешения многозначности фазовых измерений приходится использовать специальные методические приемы и конструктивные решения, приводящие к усложнению фазовых РНС.

Другим недостатком фазовых РНС является их подверженность интерференционным помехам, появляющимся в результате наложения на полезный поверхностный сигнал отраженного сигнала от излучения той же станции. Для исключения или уменьшения погрешностей, возникающих при интерференционных помехах, также приходится применять различные конструкторские и методические меры.

§ 19.1. РАЗНОСТНО-ДАЛЬНОМЕРНАЯ МНОГОЧАСТОТНАЯ РАДИОНАВИГАЦИОННАЯ СИСТЕМА «МАРС-75»

Радионавигационная система «Марс-75» включает в свой состав цепь опорных наземных передающих станций (ведущая и две-три ведомых) и корабельные приемондикаторы. Наиболее распространена корабельная аппаратура КПФ-5.

Наземные опорные передающие станции поочередно излучают радиосигналы в виде серий посылок; каждая серия состоит из 23 посылок

на разных частотах, излучаемых в заранее заданной кодовой последовательности. Ведущая станция излучает дополнительно три посылки, которые служат для передачи информации об исправности в работе опорных станций цепи. Длительность каждой посылки 40 мкс, пауза между ними — 20 мкс. Длительность полного цикла работы одной опорной станции составляет 4,5 с.

Излучение радиосигналов опорными станциями осуществляется в диапазоне длинных волн, поэтому сигналы системы «Марс-75» хорошо распространяются над сушей и могут быть приняты под водой.

Важнейшей частью приемоиндикатора КПФ-5 является корреляционный приемник с цифровым вычислительным устройством для обработки принимаемых сигналов. Корреляционный приемник обеспечивает согласованный прием излученных опорными станциями радиосигналов, представляющих собой отдельные составляющие частотного спектра некоторой импульсной последовательности с несущей частотой, равной центральной частоте серии посылок, и частотой повторения, равной разности между частотами посылок. Эта импульсная последовательность формируется (синтезируется) в приемоиндикаторе в виде суммарной корреляционной функции между принятыми отдельными посылками и соответствующими им напряжениями опорного генератора. Период следования синтезированных импульсов $T_n = 823$ мкс, период фазовой структуры импульса $T_\phi \approx 12,8$ мкс ($T_n/T_\phi = 64$). Реализованная в РНС «Марс-75» схема передачи, приема и обработки сигналов позволяет сообщить этой системе следующие положительные свойства:

1. Поочередное излучение посылок спектра радиопульса с помощью узкополосной перестраиваемой антенны обеспечивает большую дальность действия системы (1000 км и более) при относительно малой мощности передатчика опорной станции.

2. Использование корреляционного приемника и цифрового метода обработки сигналов позволяет практически полностью исключить влияние отраженных ионосферой сигналов, обеспечить высокую точность и помехоустойчивость работы приемоиндикатора.

Средняя квадратическая погрешность измерения радионавигационного параметра в системе «Марс-75» не превышает 0,2 мкс (СКП разности расстояний ≤ 60 м).

Разрешение многозначности импульсов («грубых дорожек») производится вручную установкой счислимого значения РНП (при $m_{\text{рп}} \leq T_n/2 \approx 400$ мкс), разрешение многозначности фазы — автоматическое.

В качестве приемной антенны на кораблях используется штыревая антенна с действующей высотой не менее 3 м.

Влияние местных условий распространения радиоволн учитывается в виде:

- поправок для повышения надежности автоматического разрешения многозначности отсчетов;

- поправок для исправления отсчетов при электрически неоднородной поверхности по трассам распространения радиоволн.

Порядок действий при определении места корабля с помощью радионавигационной системы «Марс-75»

1. По схеме расположения станций цепи РНС «Марс-75» в руководстве РТСНО подобрать две пары станций, обеспечивающих в районе плавания корабля возможность наиболее точного определения координат места.

2. Включить приемник согласно инструкции по использованию, установить:

— литеру группы частот и номер кодовой последовательности данной цепи РНС «Марс-75».

— выбранную для использования комбинацию станций, — значения радионавигационных параметров, приближенно соответствующих счислимому месту (средняя квадратическая погрешность счисления при этом не должна превышать 60 миль), и ввести поправки для разрешения многозначности.

3. По готовности приемника к работе и для последующих наблюдений снять значения радионавигационных параметров.

Дальнейшие действия штурмана зависят от наличия в его распоряжении средств обработки радионавигационной информации.

При использовании специализированного цифрового вычислительного устройства, автоматически сопряженного с приемником, штурман в необходимые моменты или периодически с заданным интервалом времени считывает с табло наблюдаемые координаты корабля и оценку точности места корабля.

Если ЦВУ не имеет автоматического сопряжения с приемником или работа ведется на радионавигационной карте, то наблюдаемые координаты корабля штурман получает при ручном вводе отсчетов РНП в ЦВУ или путем прокладки места по сетке гипербол.

Пример. В счислимом месте корабля $\varphi_0 = 68^\circ 05,0' N$, $\lambda_0 = 39^\circ 35,0' E$ при $M_{04} = 0,87$ мили с помощью приемника КПФ-5 по сигналам опорных станций РНС «Марс-75» получили отсчеты радионавигационного параметра $u_{PH} = 4164,35$ мкс и $u_{PH2} = 2122,75$ мкс. Выбрали из подаваемых ГУНДО МО Таблиц поправок за условия распространения радиоволн $\Delta_{p1} = 0,4$ мкс и $\Delta_{p2} = -0,6$ мкс.

Решение. А. При наличии автоматически сопряженного с приемником специализированного ЦВУ ПКГ-2:

1. Включается ЦВУ согласно инструкции по использованию.

2. Выбираются из руководства РТСНО сведения об используемых станциях РНС «Марс-75» и вводятся в ЦВУ: координаты опорных станций, кодовые задержки ($I_k = 10$ мкс), величина эквивалента единицы РНП ($\gamma = 299,53$ м), длины баз пар станций ($b_1 = 627921$ м, $b_2 = 319692$ м), азимут базы с ВЦЦ на ВМ станции ($A_2 = 309^\circ 12' 53''$) и угол между направлениями с ВЦЦ на ВМ станции ($\beta = 97^\circ 26' 23,9''$), поправки по каждой паре станций ($\Delta_{p1} = 0,4$ мкс, $\Delta_{p2} = -0,6$ мкс), а также значения счислимых координат корабля и средние квадратические погрешности навигационных параметров ($m_U = 60$ м).

3. Включается процесс счета и получаются наблюдаемые координаты корабля $\varphi_0 = 68^\circ 05,03' N$, $\lambda_0 = 39^\circ 34,43' E$ и СКП наблюдаемого места $M_0 = 0,082$ мили.

4. В дальнейшем, по мере перемещения корабля в рабочей зоне РНС «Марс-75» с заданной периодичностью, считываем с цифровых табло наблюдаемые координаты и, при необходимости, СКП наблюдаемого места.

Б. При работе на радионавигационной карте с сетками гипербол ($C_{г.л} = 200\ 000$):

1. Исправляются измеренные отсчеты радионавигационного параметра поправками за условия распространения радиоволн Δ_{p1} и Δ_{p2} .

2. Линии положения прокладываются на карте с интерполяцией между линиями сетки на исправленные значения радионавигационных параметров.

3. В точке пересечения двух линий положения находится наблюдаемое место корабля $\varphi_0 = 68^\circ 05,1' N$, $\lambda_0 = 39^\circ 34,5' E$.

4. Измеряются на карте расстояния между изолиниями вблизи наблюдаемого места ($L_1 = 3889$ м, $L_2 = 2222$ м) и определяется интервал их оцифровки ($\delta_{N_1} = 25$ мкс, $\delta_{N_2} = 10$ мкс). Рассчитываются градиенты линий положения $g_{ли1} = 1,93$ и $g_{ли2} = 1,35$. Далее измеряется угол пересечения изолиний $\theta = 40^\circ$ и по формуле 19.3.3 рассчитывается СКП наблюдаемого места корабля $M_0 = 236$ м.

§ 19.2. ГИДРОГРАФИЧЕСКАЯ РАДИОДАЛЬНОМЕРНАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ГРАС-2

Система ГРАС-2 используется в прибрежной зоне для вождения корабля по фарватерам сложной формы, для вывода корабля в заданные точки, для координирования галсов кораблей при сплошном обследова-

нии районов (поиск затонувших судов и предметов, промер глубин, определение маневренных элементов кораблей).

Система ГРАС-2 содержит в своем составе две опорные передающие станции — ответчики РД-2, обеспечивающие работу одновременно до 5 корабельных запрашивающих станций РД-1. Все корабельные станции работают на одной частоте, каждая из двух опорных станций работает на своей частоте. Измерение разности фаз по точной шкале производится на частоте модулирующих колебаний. Для разрешения многозначности этих измерений последовательно измеряются разности фаз еще на 5 частотах биений между основными модулирующими колебаниями и пятью дополнительными, подключаемыми поочередно (коэффициенты сопряжения сеток 1024 : 256 : 64 : 16 : 4 : 1). В результате измерения разностей фаз однозначны во всей рабочей зоне системы. Дальность действия — до 60 км от наиболее удаленной станции в пределах взаимной геометрической видимости между антеннами корабельной и опорной станций.

Корабельная станция позволяет измерять расстояния, а также получать результаты обсерваций в виде географических координат корабля и при вождении по фарватерам в виде текущего расстояния до точки поворота и рассчитанного бокового отклонения корабля от заданной линии пути в метрах. Средняя квадратическая погрешность определения и отображения навигационных величин 3,5 м. Предусмотрено также измерение средней скорости движения корабля в течение задаваемых интервалов времени (от 10 с до 60 мин).

При необходимости все результаты обсерваций могут быть напечатаны на бумажной ленте и записаны на входящий в комплект корабельной станции магнитофон. Процессы измерения и разрешения многозначности разностей фаз, вычисления обсервованных координат, расстояния до точки поворота и бокового отклонения, индикации, печати и магнитной записи результатов обсерваций полностью автоматизированы. Кроме обсерваций в произвольный момент времени с ручным запуском, обеспечена возможность обсерваций через заданные интервалы времени (от 2 с до 5 мин) с автоматическим запуском, а также обсерваций по командам внешних датчиков.

Интерференционные помехи, вызванные отражениями сигналов от поверхности моря, проявляются в виде возникновения кольцевых зон с резко ослабленными сигналами настолько, что измерение дальностей оказывается невозможным. Ширина и расположение таких зон зависят от высоты установки антенн корабельной и опорных станций и в каждом частном случае различны.

Если в одном районе работают несколько корабельных станций, то для исключения взаимных помех время их запросов синхронизируется таким образом, чтобы запросы, имеющие длительность по 0,25 с, излучались ими в разные моменты времени.

Для этого одна из корабельных станций, исполняющая функции главной, назначает всем корабельным станциям порядковые номера (от 1 до 5) и в заранее назначенное время излучает сигнал запроса, по которому запускаются электронные часы на всех корабельных станциях. После этого каждая корабельная станция способна подать запрос только в течение отведенных ей 0,4 с в двухсекундном периоде чередования запросов.

Возможна также синхронизация запросов всех корабельных станций (в соответствии с присвоенными им порядковыми номерами) по сигналам точного времени, принятым от государственных радиовещательных станций.

Антенна корабельной станции во время работы автоматически, с помощью быстродействующей электронной следящей системы, ориентирует диаграмму своей направленности по максимальному уровню принимаемых сигналов опорных станций. Для достижения наибольшей точности измерения расстояний, характеризуемой СКП $m_0 = 0,5 + S \cdot 10^{-5}$ м, в корабельную станцию вводятся метеорологические данные (атмосферное давление, показания сухого и влажного термометров в психрометрах на береговых станциях и на корабле или значения индексов атмосферной рефракции на трассах от корабля до береговых станций) с целью автоматического учета изменчивости скорости распространения радиоволн. При отсутствии метеоданных СКП измерения расстояний возрастает до $m_0 = 0,5 + S \cdot 10^{-4}$ м.

Возможны взаимные помехи станции РД-1 и корабельных РЛС в случае их одновременной работы; для уменьшения помех необходимо при установке станции РД-1 располагать ее блок приемопередатчика как можно более разнесенным по высоте с антенной РЛС.

Станции РД-1 и РД-2 обеспечивают возможность двусторонней радиотелефонной связи на их рабочих частотах, однако во время связи процесс измерения расстояний прерывается на всех станциях РД-1, работающих в системе.

Станции РД-2 не являются штатным средством навигационного оборудования, они устанавливаются на побережье и включаются для работы только по предварительным заявкам. Данные о них сообщают на корабли в разовом порядке или помещают в описаниях полигонов, где проводятся испытания кораблей.

Порядок действий штурмана при наблюдениях с помощью радионавигационной системы ГРАС-2

1. Аппаратуру РД-1 необходимо включить за 15—20 мин до начала работы.
2. Подготовить исходные данные, в том числе координаты антенн опорных станций, их высоты над уровнем моря, координаты юго-западного угла и масштаб планшета, высоту корабельной антенны над уровнем моря, координаты начальной и конечной точек первого галса, межгалсовое расстояние, показания барометров, сухих и влажных термометров на опорных и корабельной станциях или индексы атмосферной рефракции по трассам распространения радиоволн между кораблем и опорными станциями, время усреднения вычисляемой абсолютной скорости корабля. Для обеспечения движения через узкость (по прямолинейному фарватеру) следует выбирать по карте линию безопасного пути и координаты его начальной и конечной точек назначить в качестве координат начала и конца одиночного галса. Все перечисленные данные ввести в корабельную аппаратуру.
3. Назначить внутренний или внешний, разовый или автоматический с необходимым периодом режим запуска передатчика.
4. Определить и назначить величины, подлежащие индикации и автоматической регистрации с необходимым периодом, и наименование используемых регистрирующих устройств, а также ввести в память аппаратуры дату, номера серий галсов и зарегистрировать набранные величины.
5. В рабочем режиме измерение и регистрация навигационных параметров и результатов наблюдений происходят автоматически.
6. При вождении корабля по запланированным галсам или по фарватерам навигационный индикатор, показывающий боковое отклонение от заданного прямолинейного пути, целесообразно вынести к посту

управления рулем, тогда, по приказанию командира корабля, рулевой сможет самостоятельно удерживать корабль на оси фарватера (на галсе).

7. В процессе плавания необходимо:

следить за действием станции и системы в целом по индикаторам неисправностей и отключения опорных станций, за действием регистрирующих устройств;

по окончании галса сменить и зарегистрировать новый номер галса, после чего индикатор будет подсказывать необходимый маневр для вывода корабля на новый галс;

периодически и по мере изменения погодных условий корректировать на текущий момент введенные в аппаратуру характеристики атмосферы.

Пример получения и регистрации обсерваций с помощью радиодальномерной системы ГРАС-2 приведен в таблице 19.2.1.

Таблица 19.2.1

А. В корабельную аппаратуру РД-1 введены исходные данные, автоматически документированные на цифрорпечатающем устройстве

Условное число	Значение величины	Содержание величины
05	+6079615,8	Абсцисса 1-й опорной станции, м
06	04 433850,1	Ордината 1-й опорной станции, м
04	+6040,0	Высота антенны 1-й опорной станции, м
15	+6066452,8	Абсцисса 2-й опорной станции, м
16	04 425428,1	Ордината 2-й опорной станции, м
14	+0031,0	Высота антенны 2-й опорной станции, м
34	+0016,7	Высота антенны корабельной станции, м

Б. В процессе плавания получены обсервованные координаты корабля, автоматически документированные на цифрорпечатающем устройстве

Условное число	Значение величины	Содержание величины
00	01 01 01	№ галса (1) и № точки (101)
01	16 09 04 00	Время обсервации (16 ч 09 мин 04 с)
30	+54 40 18,04	Текущие обсервованные координаты
31	+019 48 52,71	

§ 19.3. РАЗНОСТНО-ДАЛЬНОМЕРНАЯ ФАЗОВАЯ РАДИОНАВИГАЦИОННАЯ СИСТЕМА «БРАС»

Цель системы «Брас» содержит три наземные опорные передающие станции, обеспечивающие работу неограниченного количества корабельных приемондикаторов. Работа системы осуществляется на шести несущих частотах, из них 4 — навигационные. Измерение разности фаз по точной шкале производится на одной из рабочих частот — основной частоте f_1 . Для разрешения неоднозначности фазовых измерений опорные станции излучают сигналы еще трех дополнительных рабочих частот, а корабельные приемондикаторы измеряют разности фаз на трех разностных частотах с коэффициентами сопряжения сеток $f_1 : F_1 : F_2 : F_3 = 64 : 16 : 4 : 1$. Этим обеспечивается однозначность измерений разностей фаз в пределах полосы значений разности расстояний около 11,5 км.

Для освобождения от интерференционных помех, вызванных отражениями сигналов от ионосферы, продолжительные ($\approx 0,2$ с) сигналы опорных станций рассекаются перед излучением на импульсы длительностью менее 200 мкс. Поскольку отраженные ионосферой импульсы проходят значительно более длинный путь и принимаются позже, чем поверхностные (на 200—250 мкс), они уверенно стробируются, т. е. разделяются в приемном индикаторе по времени. Для фазовых измерений используются только поверхностные сигналы. Перед измерением фазы узкополосный фильтр приемного индикатора вновь превращает последовательность выделенных импульсов в длительный сигнал.

Полная однозначность фазовых измерений обеспечивается предварительным грубым измерением разности времени распространения сигналов от ведомой и ведущей станций по стробам принятых импульсов (подобно импульсным РНС). Для этого на ведомых станциях, кроме синхронизации фазы излучаемых сигналов, осуществляется также синхронизация времени излучения импульсов.

Процесс различения сигналов ВЦ и ВМ станций, выделения поверхностных сигналов, грубого (по разности времени приема импульсов) и точного (по разности фаз сигналов) измерения радионавигационного параметра с разрешением многозначности отсчетов полностью автоматизирован. На стрелочных указателях измерения разности фаз приводятся к частоте 1 МГц.

Для определения координат обсервованного места корабля могут быть использованы цифровые вычислительные устройства или радионавигационные карты (планшеты) с сетками гипербол, имеющие при адмиралтейском номере индекс «БР».

Дальность действия системы — 200 км.

Средняя квадратическая погрешность определения навигационного параметра имеет две основные составляющие: аппаратную погрешность $m_a = 5$ м и погрешность за условия распространения радиоволн $m_p = 11$ м.

Общая СКП определения навигационного параметра составляет

$$m_U = \sqrt{m_a^2 + m_p^2}; \quad (19.3.1)$$

$$m_U = 12 \text{ м.}$$

Порядок действий при определении места корабля с помощью радионавигационной системы «Брас»

1. По схеме расположения станций в руководстве РТСНО подобрать цель РНС «Брас», обеспечивающую в районе плаванья достаточно точное определение места корабля, включить и настроить приемный индикатор для использования сигналов выбранной цепи.

2. При выполнении первой обсервации будут автоматически сменяться различные режимы синхронизации, различные ступени измерения разностей фаз на разностных и основной рабочей частотах. В зависимости от уровня радиопомех этот процесс занимает от 6 до 10 мин. Через 30—40 с после перехода приемного индикатора в режим измерения разностей фаз на основной рабочей частоте счетчики и шкалы указателей войдут в автоматическое слежение и с них могут быть сняты отсчеты радионавигационных параметров. При большой скорости изменения РНП на время записи отсчетов стрелки указателей могут быть остановлены.

3. При последующих обсервациях достаточно в какой-либо момент снять отсчеты со счетчиков и шкал указателей.

4. Если известны поправки к отсчетам РНП, например, за местные условия распространения радиоволн Δp , снятые отсчеты должны быть ими исправлены.

Дальнейшие действия штурмана зависят от наличия в его распоряжении технических средств и необходимых картографических материалов.

А. При использовании специализированного цифрового вычислительного устройства ПКГ-2, автоматически сопряженного с приемником:

— включить преобразователь гиперболических координат и ввести в его блок сменных констант исходные данные цепи РНС (географические координаты ведущей и ведомых станций цепи $\varphi_{вщ}$, $\varphi_{вм1,2}$ и $\lambda_{вщ}$, $\lambda_{вм}$, азимуты баз с ведущей станции, угол между базами при ведущей станции, длины баз b_1 и b_2 в метрах, величину линейного эквивалента единицы РНП γ в м/мкс из руководства РТСНО, значения средних квадратических погрешностей определения навигационного параметра m_{U_1} и m_{U_2} , величины поправок к отсчетам РНП в численном месте корабля, если они известны);

— установить необходимую периодичность наблюдений (от 15 с до 4 мин);

— снимать наблюдаемые координаты, высвечивающиеся на табло (через 5 с после выполнения наблюдения), с заданной периодичностью. СКП наблюдаемого места M_0 в метрах высвечивается на табло по запросу штурмана.

Для выполнения наблюдений в произвольные моменты времени (без периодичности) следует включить дистанционное управление. После этого наблюдения будут производиться только в моменты нажатия кнопки оперативных отметок или пуска.

Б. При работе на радионавигационной карте с сеткой гипербол:

— построить графически, интерполируя между изолиниями на исправленные значения радионавигационных параметров, линии положения;

— рассчитать модули градиентов линий положения, измерив расстояние между изолиниями вблизи наблюдаемого места, по формуле

$$g = \frac{\gamma \cdot 10^8 \delta_N}{l C_0}, \quad (19.3.2)$$

где γ — линейный эквивалент единицы РНП, м/мкс,

δ_N — разность значений РНП для соседних изолиний на карте, мкс,

l — линейное расстояние между изолиниями на карте, мм,

C_0 — знаменатель частного масштаба карты в широте наблюдаемого места корабля;

— измерить угол пересечения θ линий положения, а затем оценить СКП наблюдаемого места с учетом СКП интерполяции между изолиниями на карте ($m_{гп} = 0,5$ мм) по формуле

$$M_0 = \frac{1}{\sin \theta} \sqrt{\frac{m_{U_1}^2}{g_{ли_1}^2} + \frac{m_{U_2}^2}{g_{ли_2}^2} + 2m_{гп}^2 \cdot 10^6 C_0^2}, \quad (19.3.3)$$

здесь m_U — СКП определения навигационных параметров, выраженная в метрах. Величина M_0 будет выражена также в метрах.

Пример расчетов линий положения и наблюдаемого места корабля по сигналам радионавигационной системы «Брас».

В численном месте корабля $\varphi_c = 60^\circ 03,0' N$, $\lambda_c = 27^\circ 57,0' E$ при $M_{сч} = 185$ м (1 кбт) настроили приемник на работу по сигналам цепи РНС «Брас» и в 22 ч 35 мин декретного московского времени получили первые отсчеты: $u_{рм1} = 192,85$ мкс, $u_{рм2} = 161,90$ мкс.

Решение А. При наличии автоматически сопряженного с приемодатчиком специализированного вычислительного устройства ПКГ-2.

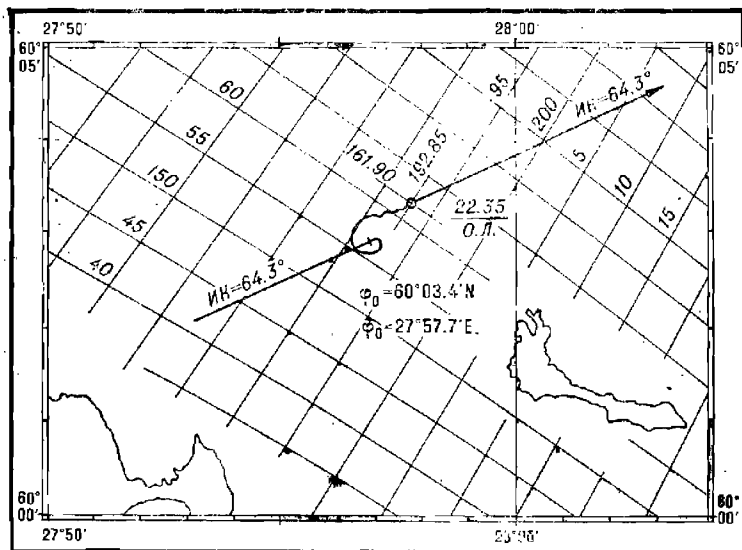
1. Находим в РТСНО сведения о парах станций «Брас», действующих в районе плавания и вводим в блок сменных констант необходимые величины: $t_k = 0,0$ мкс, $\gamma = 299,632$ м/мкс, СКП РНП $m_{U_{1,2}} = 12$ м, $b_1 = 74\,245,5$ м, $b_2 = 74\,549,4$ м, $A_b = 228^\circ 52' 20,5''$, базовый угол $\beta = 64^\circ 50' 30,18''$, кроме того, координаты радионавигационных опорных точек и значения счислимых координат корабля. Через 5 с после пуска ЦВУ на табло высвечиваются наблюдаемые координаты корабля: $\varphi_0 = 60^\circ 03' 20''$ N, $\lambda_0 = 27^\circ 57' 45''$ E.

По запросу на табло высвечивается значение СКП наблюдаемого места ($M_0 = 12$ м).

По мере перемещения корабля в рабочей зоне РНС «Брас» по запросу получаем значения изменяющейся СКП наблюдаемого места.

Б. При работе на радионавигационной карте с сетками гипербол (рис. 19.3.1).

1. Наносим линии положения корабля на карту, интерполируя между изолиниями на измеренные значения радионавигационных параметров $U_{\text{РНП}} = 192,85$ мкс, $U_{\text{изр}} = 161,90$ мкс.



Карта №23001-5P₂

Рис. 19.3.1

2. Находим место корабля в точке пересечения двух линий положения: $\varphi_0 = 60^\circ 03,4'$ N, $\lambda_0 = 27^\circ 57,7'$ E.

3. Измеряем на карте в масштабе 1:100 000 расстояния между изолиниями вблизи наблюдаемого места ($\delta_{N_1} = \delta_{N_2} = 5$ мкс, $l_1 = 10$ мм, $l_2 = 11$ мм), и по формуле 19.3.2 рассчитываем градиенты линий положения: $g_{\text{лп}_1} = 1,50$, $g_{\text{лп}_2} = 1,36$.

4. Измеряем угол пересечения изолиний ($\theta = 88^\circ$) и рассчитываем СКП наблюдаемого места: $M_0 = 76$ м.

§ 19.4. РАЗНОСТНО-ДАЛЬНОМЕРНАЯ ФАЗОВАЯ РАДИОНАВИГАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЕККА

Цель системы Декка состоит из трех-четырех опорных передающих станций, одна из которых ведущая, остальные — ведомые, условно именуемые: «красная», «зеленая», «фиолетовая» (по цветам изолиний — гипербол, наносимых на навигационную карту).

В режиме точных измерений все станции излучают одновременно, но каждая станция на своей рабочей частоте. Эти частоты состоят в целочисленных отношениях $f_{\text{вщ}}:f_{\text{вр}}:f_{\text{вл}}:f_{\text{вл}}=6:8:9:5$.

Целью опорных станций могут пользоваться одновременно неограниченное количество кораблей. Чтобы создать возможность измерений разности фаз в приемоиндикаторе, принятые сигналы преобразуются к наименьшему общему (для каждой пары станций) кратным частотам $4f_{\text{вщ}}$, $3f_{\text{вщ}}$ и $5f_{\text{вщ}}$ — также соответственно «цветам».

В режиме разрешения многозначности, автоматически устанавливаемом на 0,45 с по три раза в минуту для каждой станции, три станции прекращают излучение, а оставшаяся одна — работает одновременно на всех четырех частотах, присвоенных цепи. При этом в приемоиндикаторах происходит измерение разностей фаз на более низких частотах — частоте наибольшего общего делителя всех рабочих частот ($f_0=f_{\text{вщ}}:6$) и частоте $f_{\text{вщ}}$, позволяющее разрешить многозначность точных измерений.

Для разрешения многозначности «грубых» измерений (на частоте f_0) необходимо по числимому месту корабля рассчитать или снять с радионавигационной карты литеру грубой дорожки (А, В, С, ..., J). Правильное определение литеры обеспечивается, если погрешность числимого места в направлении градиента гипербол не превышает величины, соответствующей погрешности разности расстояний до станций пары ± 10 км (т. е. погрешности разности фаз на частоте f_0 меньшей, чем 0,5 ф. ц.).

Диапазоны рабочих частот системы Декка 70—72 кГц, 84—86 кГц, 112—115 кГц и 126—129 кГц. Каждой цепи присвоен «частотный параметр», обозначаемый цифрой с буквой и определяющий конкретные значения всех рабочих частот цепи. Дальность действия цепи системы около 480 км. СКП определения навигационного параметра зависит от времени суток: летним днем, когда отражение сигналов ионосферой минимально, $m_D=50$ м, в сумерки и ночью СКП возрастает до 60—250 м в зависимости от удаления от опорных станций. В этих условиях, а также вблизи высоких и скалистых берегов, возможно еще и неправильное разрешение многозначности отсчетов, поэтому к получаемому месту корабля следует относиться с осторожностью. Для некоторых цепей системы Декка определены и объявлены поправки к отсчетам радионавигационного параметра за влияние местных условий распространения радиоволн.

При определении места корабля с помощью РНС Декка используются радионавигационные карты с сеткой гипербол, имеющие при адмиралтейском номере литеры «ДК», или цифровые вычислительные устройства (преобразователи гиперболических координат ПКГ).

Порядок действий при определении места корабля с помощью радионавигационной системы Декка

1. По схемам расположения станций РНС Декка в руководстве РТСНО подобрать цепь опорных станций, обеспечивающую в районе местонахождения корабля возможность наиболее точного определения места, включить приемоиндикатор и установить букву и цифру, соответствующие частотному параметру выбранной цепи станций.
2. Выполнить коррекцию индикаторов по сигналам принимаемых опорных станций и разрешение многозначности деления частоты опорного генератора.

3. Выполнить разрешение многозначности отсчетов номеров дорожек (целых фазовых циклов) и разрешение многозначности грубых дорожек.

А. При использовании цифрового вычислительного устройства:

— выбрать из руководства РТСНО и ввести в вычислитель координаты опорных передающих станций цепи РНС Деска, значение эквивалента единицы радионавигационного параметра, счислимые координаты корабля;

— решить задачу расчета гиперболических координат для счислимого места корабля;

— в полученных полных значениях РНП выделить номера зон и определить литеры грубых дорожек по таблице, помещенной в Инструкции по использованию ПКГ-1, или рассчитать по формулам:

$$N_3 = \left\lceil \frac{U_{\text{РН}} - b}{10k} \right\rceil + 1; \quad n = [U_{\text{РН}} - b - 10kN_3], \quad (19.4.1)$$

здесь N_3 — номер зоны, включающей 10 грубых дорожек,

n — номер грубой дорожки в зоне,

$\lceil \rceil$ — целая часть числа,

$U_{\text{РН}}$ — полное значение радионавигационного параметра,

b — минимальный отсчет номера точной дорожки на указателе (на „красном“ $b = 0$, на „зеленом“ $b = 30$, на „фиолетовом“ $b = 50$),

k — количество точных дорожек в одной грубой дорожке на указателе (на „красном“ $k = 24$, на „зеленом“ $k = 18$, на „фиолетовом“ $k = 30$).

Литеры грубых дорожек в порядке латинского алфавита соответствуют их номерам (0=A, 1=B, 2=C, ..., 9=J);

— полученные литеры грубых дорожек выставить на указателях фазометров приемоиндикатора.

Б. При работе на радионавигационной карте с сеткой гипербол:

— прочесть литеры грубых дорожек в оцифровке гипербол вблизи счислимого места корабля;

— полученные литеры грубых дорожек ввести на указатели фазометров приемоиндикатора.

4. В темное время суток, особенно на расстояниях от ведущей станции более 350 км, возможны нарушения синхронизации делителя частоты опорного генератора и расхождения отсчетов номеров дорожек по грубому указателю и малым стрелкам точных указателей. В этих условиях, для синхронизации делителя частоты опорного генератора и согласования номеров дорожек по грубому и точному указателям, необходимо проводить наблюдения в течение 10 мин, снимая отсчеты сериями по три-пять отсчетов и осредняя их (с учетом перемещения корабля за время между сериями отсчетов).

5. Определить координаты места корабля.

А. При использовании специализированного цифрового вычислительного устройства:

— выбрать из руководства РТСНО и ввести в вычислительное устройство координаты опорных станций, значение эквивалента единицы радионавигационного параметра, среднюю квадратическую погрешность определения навигационного параметра, кодовые задержки и поправки радионавигационного параметра;

— ввести в вычислительное устройство координаты и среднюю квадратическую погрешность счислимого места корабля;

— снять с указателей отсчеты радионавигационного параметра, по номеру зоны и литере грубой дорожки рассчитать для каждой линии положения полное его значение по методике, принятой в конкретном типе вычислительного устройства

$$U_{\text{РН}} = u_{\text{тч}} - b + kn + 10k(N_z - 1),$$

здесь $u_{\text{тч}}$ — отсчет по точной шкале, другие обозначения соответствуют обозначениям формулы (19.4.1).

Полученные полные значения радионавигационного параметра ввести в вычислительное устройство;

— последовательно решить задачи расчета элементов двух или трех (в зависимости от взаимного расположения корабля и передающих станций цепи) линий положения, а затем вычислить obserвованные координаты корабля (при трех линиях положения вычисляются координаты вероятнейшего места) и прочесть на табло obserвованные широту и долготу места;

— вызвать на табло вычислительного устройства значения элементов эллипса погрешностей (a , b и A_b) и среднюю квадратическую погрешность (M_0) obserвованного места корабля.

Б. При работе на радионавигационной карте с сеткой гипербол:

— линии положения построить графически, интерполируя между изолиниями на исправленные значения радионавигационных параметров;

— измерить расстояние l между изолиниями вблизи obserвованного места и рассчитать модули градиентов линий положения по формуле (19.3.2);

— измерить угол пересечения θ линий положения, а затем оценить СКП obserвованного места с учетом средней квадратической погрешности нанесения изолиний на карту ($m_{\text{гр}} = 0,5$ мм) по формуле (19.3.3).

Пример расчета линий положения и obserвованного места корабля по сигналам радионавигационной системы Декка.

В счислимом месте корабля $\varphi_c = 30^\circ 29' 59''$ S, $\lambda_c = 16^\circ 02' 00''$ E при средней квадратической погрешности $M_{\text{сч}} = 1852$ м в момент местного полудня получили отсчеты на точных шкалах индикаторов по сигналам РНС Декка цепи Намаквса с частотным параметром 4А, равные: $u_{\text{ткр}} = 03,36$; $u_{\text{тзл}} = 36,45$; $u_{\text{тфл}} = 66,72$.

Решение. А. При использовании специализированного ЦВУ ПКГ-1:

1. Из руководства РТСНО (адм. № 3201) выбираем и вводим в ЦВУ сведения о станциях цепи Намаквса 4А: координаты опорных станций, кодовые задержки ($t_{к1,2,3} = 0,000$), величины эквивалентов единицы радионавигационного параметра ($\tau_{кр} = 881,398$ м/ф.п., $\tau_{зл} = 1174,212$ м/ф.п., $\tau_{фл} = 706,305$ м/ф.п.), ожидаемые значения СКП определения навигационного параметра $m_{U_{1,2,3}} = 50$ м). Вводим в ЦВУ координаты и СКП счислимого места корабля, признаки «цвета» пар станций: для «красной» — 01, для «зеленой» — 02, для «фиолетовой» — 03.

2. Трехжды решая задачу вычисления гиперболических координат места корабля в счислимой точке (задача 10), находим счисляемые полные значения (с номерами грубых дорожек и литерами или номерами зон) радионавигационных параметров по каждой паре опорных станций, т. е. разрешаем многозначность «грубых» измерений разностей фаз: $U_{\text{чкр}} = 1\text{В}03,36 = 0103,36$, $U_{\text{чзл}} = 1\text{F}36,45 = 0536,45$, $U_{\text{чфл}} = 2\text{А}66,72 = 01066,72$. (Из-за погрешностей счисления в рассчитанных по задаче 10 значениях РНП дробные части и даже номера точных дорожек могут несколько отличаться от измеренных величин. При формировании полных значений РНП следует принимать расчетные литеры или номера зон, номера грубых дорожек и измеренные значения точных отсчетов).

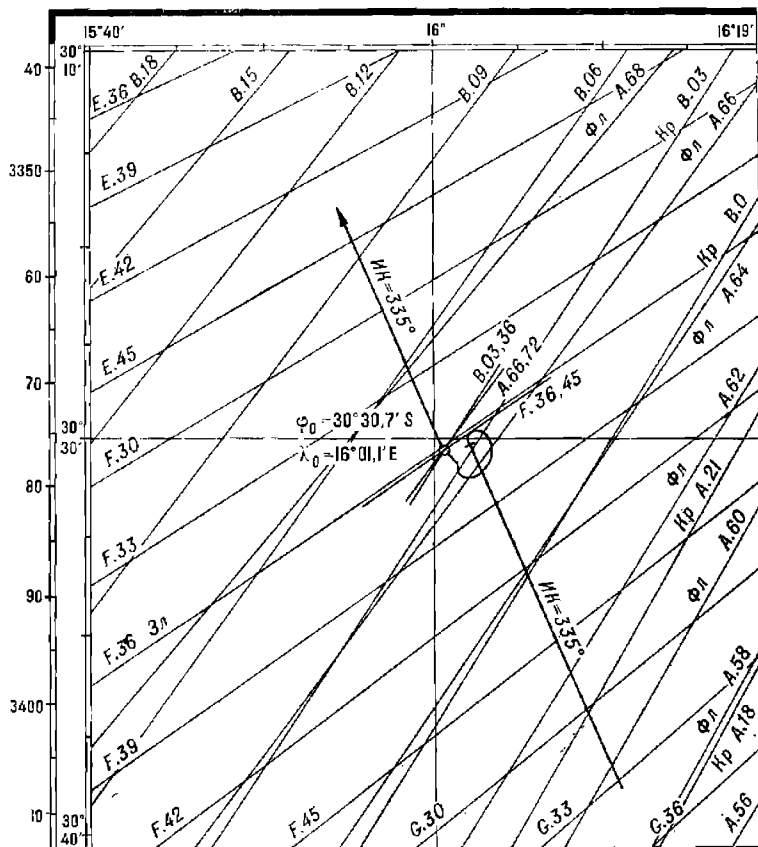
3. Вводим в ЦВУ полные значения РНП по каждой паре опорных станций и, трижды решая задачу вычисления элементов линий положения по РНС Декка (задача 2), находим: $\rho_1 = 18,7$ м, $\tau_1 = 122^\circ 33' 12,4''$, $\rho_2 = 4,5$ м, $\tau_2 = 324^\circ 43' 54,3''$, $\rho_3 = 37,8$ м, $\tau_3 = 126^\circ 08' 30,6''$.

4. Решая задачу вычисления obserвованных координат и оценки точности определения места (задача 6) по трем линиям положения, находим вероятнейшие координаты $\varphi_0 = 30^\circ 29' 57,5''$ S, $\lambda_0 = 16^\circ 02' 02,0''$ E, полуоси эллипса погрешностей и его ориентировку относительно истинного меридиана $a = 532$ м, $b = 85$ м, $A_b = 139^\circ 37' 32,9''$.

СКП вероятнейшего obserвованного места $M_{\text{в.о.}} = 540$ м ≈ 3 кбт.

Б. При работе на радионавигационной карте для РНС Декка (рис. 19.3.2).

1. Вблизи численного места, интерполируя промежутки между изолиниями: красными 3 и 6 на отсчет 3,36, зелеными 36 и 39 на отсчет 36,46, фиолетовыми 66 и 68 на отсчет 66,72, прочерчиваем линии положения корабля и в точке их пересечения (или в треугольнике погрешностей) находим obserвованное место ($\varphi_0 = 30^\circ 30,7''$ S, $\lambda_0 = 16^\circ 01,1''$ E).



Карта №31075-Д4А.6А

Рис. 19.3.2

2. Для расчета градиентов $лл$ измеряем расстояния между соседними изолиниями ($\delta_{N_1} = 3,00$, $l_1 = 21$ мм, $\delta_{N_2} = 3,00$, $l_2 = 14,3$ мм, $\delta_{N_3} = 2,00$, $l_3 = 23,5$ мм) при масштабе карты 1:500 000 (частный масштаб карты в широте obserвованного места $\mu_0 = 1:475 351$). Подставляя в формулу 19.3.2 значения измеренных величин, получаем градиенты трех линий положения: $g_{л_0} = 0,264$, $g_{л_1} = 0,573$, $g_{л_2} = 0,126$.

3. Для оценки точности obserвованного места, полученного по трем разностям фаз: а) рассчитываем СКП линий положения с учетом погрешностей графических построений. Подставляя в формулу 19.3.3 численные значения величин, получаем значения СКП линий положения: $m_{л_1} = 314$ м $\approx 0,169$ мили, $m_{л_2} = 265$ м $\approx 0,143$ мили, $m_{л_3} = 469$ м $\approx 0,253$ мили;

б) рассчитываем веса линий положения: $P_{лп_1} = 35,0$, $P_{лп_2} = 48,9$, $P_{лп_3} = 15,6$;
 в) измеряем углы пересечения линий положения: $\theta_{1,2} = 22,2^\circ$, $\theta_{1,3} = 3,6^\circ$, $\theta_{2,3} = 18,6^\circ$ и рассчитываем веса точек пересечения линий положения по формуле $P_{\theta_{KL}} = \sin \theta_{KL} \cdot P_{кл_1} \cdot P_{лп}$. Получаем: $P_{\theta_{1,2}} = 244,5$, $P_{\theta_{1,3}} = 5,2$, $P_{\theta_{2,3}} = 77,7$;

г) суммируем веса линий положения, веса их точек пересечения и вычисляем среднюю квадратическую погрешность вероятнейшего obserвованного места по формуле

$$M_{\text{во}} = \sqrt{\frac{P_{\text{лп}}}{P_{\theta}}} \quad (19.4.2)$$

Подставляя численные значения весов в формулу, получаем СКП вероятнейшего obserвованного места $M_{\text{во}} = 0,55$ милл = 5,5 кбт.

§ 19.5. РАЗНОСТНО-ДАЛЬНОМЕРНАЯ ФАЗОВАЯ РАДИОНАВИГАЦИОННАЯ СИСТЕМА «ОМЕГА»

Система «Омега» состоит из восьми опорных наземных передающих станций, синхронизированных по фазе излучения относительно международного атомного времени (IAT). Станции обозначаются буквами латинского алфавита от А до Н.

Все станции работают на четырех навигационных частотах, состоящих в соотношениях 36:48:40:39 (10200, 13600, 11333 и 11050 Гц).

Каждая станция излучает сигналы в циклической последовательности, повторяющейся через 10 с. Циклы излучения станций одинаковые, но сдвинуты во времени, в каждый момент на любой из рабочих частот излучает только одна станция.

Начало цикла станции А фиксировано во времени — оно соответствует началу каждой первой секунды из десяти по шкале всемирного времени, которое создается международной системой атомных эталонов частоты и времени. С целью согласования атомной и астрономической шкал времени реально используется всемирное координированное время $T_{\text{в.к.}} (UTC)$, шкала которого подобна шкале IAT, но смещена по отношению к ней на некоторое число целых секунд.

Радионавигационную систему «Омега» могут использовать неограниченное количество кораблей одновременно.

Корабельные приемники-дикаторы в отличие от самолетных, как правило, принимают сигналы только на двух навигационных частотах (10200 и 13600 Гц). Точные измерения выполняются на частоте 10200 Гц, вторая служит дополнительной частотой, обеспечивающей разрешение многозначности точных измерений. Коэффициент сопряжения сеток $f_{\tau}: (f_{\text{д}} - f_{\tau}) = 3$.

Существенной особенностью распространения радиоволн очень низкой частоты (ОНЧ) является зависимость их фазовой скорости от частоты сигналов и высоты нижней границы ионосферы, зависящей, в свою очередь, от условий освещенности атмосферы Солнцем. Поэтому для навигационных расчетов в РНС «Омега» принимается некоторая условная (расчетная) скорость $V_p = 300\,574$ км/с, а отклонения от нее компенсируются предвычисленными поправками к фазе принятых сигналов, сведенными в таблицы. Такие Таблицы поправок за условия распространения радиоволн учитывают частоту сигналов, дату и время суток, приближенное местоположение корабля относительно станции. Они сгруппированы по частотам, станциям и зонам Мирового океана. Рабочая зона системы «Омега» покрывает практически весь Мировой океан, сигналы станций могут быть использованы для измерения разностей фаз на расстояниях от 800 до 10000 км от опорной станции.

Однако возможное предельное удаление зависит от времени суток, сезона и расположения трассы распространения радиоволн и может составлять от 4000 до 15 000 км.

Средняя квадратическая погрешность определения навигационного параметра зависит главным образом от правильности предвычисления поправок за условия распространения радиоволн и составляет от 1,2 км (в условиях прохождения радиоволн по полностью освещенным Солнцем трассам) до 3,4 км (при частично освещенных трассах). Во время сравнительно редких ионосферно-магнитных возмущений, вызываемых нестационарными явлениями на Солнце, погрешности определения навигационного параметра могут превышать 15 км, возможна также потеря правильного разрешения многозначности отсчетов радионавигационного параметра.

При определении места с помощью РНС «Омега» используются, кроме таблиц поправок, радионавигационные карты или планшеты с сеткой гипербол, имеющие при номере карты литеры «ОМ», цифровые вычислители (преобразователи гиперболических координат) или таблицы для определения места, содержащие координаты точек гипербол для построения линий положения на обычных навигационных картах.

Порядок действий при определении места корабля с помощью радионавигационной системы «Омега» и приемоиндикатора КПФ-6

По схемам расположения станций и зон возможного приема сигналов РНС «Омега» в руководстве РТСНО подобрать три станции, попарно создающие в районе плавания корабля наилучшие условия получения линий положения и места, включить приемоиндикатор и установить буквенные обозначения выбранных станций, чтобы выбранные станции располагались в алфавитном порядке, и опознать принадлежность принятых сигналов определенным станциям (в соответствии с временной диаграммой системы в руководстве РТСНО). Выполнить синхронизацию временной диаграммы приемоиндикатора. С началом измерений снять с табло цифровой индикации значения RNP u_{ψ} по двум ml на точной частоте f_{τ} .

$$u_{\psi} = N + \varphi_{\tau},$$

здесь N — целая и φ_{τ} — дробная части фазовых циклов.

До разрешения их многозначности, верными в отчетах будут только дробные доли фазового цикла (цифры, стоящие справа от запятой).

С целью разрешения многозначности отсчетов по каждой линии положения следует:

— прочесть дробные доли фазового цикла φ_d на дополнительной частоте f_d ;

— дробные отсчеты RNP на точной и дополнительной частотах исправить поправками за условия распространения радиоволн (каждый отсчет — поправкой из таблиц для соответствующей частоты, для соответствующих станций, образующих пару, для района числимого местонахождения корабля и на фактические дату и час по всемирному времени);

— найти разность исправленных отсчетов на точной и дополнительной частотах, соответствующую отсчету на разностной частоте F

$$\varphi_F = (\varphi_{\tau} + \Delta_{p_{\tau}}) - (\varphi_d + \Delta_{p_d}). \quad (19.5.1)$$

Если полученная разность окажется отрицательной, следует добавить к ней столько целых, чтобы она лежала в интервале величин от 00 до $+0,99$ включительно. Если эта разность окажется больше 1,00, то следует вычесть из нее целую часть, оставив только дробные доли фазового цикла.

Для разрешения многозначности отсчета разности фаз на разностной частоте следует определить ее счислимое значение.

А. При использовании специализированного цифрового вычислительного устройства ПКГ-1:

— выбрать из руководства РТСНО и ввести в вычислитель координаты опорных передающих станций РНС «Омега», сигналы которых использованы для измерений, выбрать из руководства РТСНО кодовые задержки t_c и значение эквивалента единицы РНП γ_r , которые помещены там для точной частоты 10 200 Гц, пересчитать их к разностной частоте по формуле

$$\frac{\gamma_r}{\gamma_F} = \frac{t_{кР}}{t_{кТ}} = \frac{F}{f_r} \quad (19.5.2)$$

и ввести в вычислитель;

— ввести в вычислитель координаты счислимого места корабля и решить задачу расчета гиперболических координат счислимого места корабля.

Б. При работе на радионавигационной карте с сеткой гипербол:

— интерполируя между линиями сетки на счислимое место корабля, снять счислимое значение разности фаз Ψ_c по каждой паре станций на частоте сравнения, для которой рассчитана сетка гипербол, и полученное значение привести к разностной частоте по формуле

$$\Psi_F = \Psi_c \frac{F}{f_r}, \quad (19.5.3)$$

здесь f_r — расчетная частота сравнения для сетки гипербол;
 F — разностная частота.

В. При работе на обычной навигационной карте:

— по широте и долготе счислимого места корабля в Таблицах для определения места судна при помощи РНС «Омега» найти координаты ближайших к счислимому месту точек гипербол по каждой из пар станций;

— интерполируя на счислимое место, рассчитать счислимые значения отсчетов РНП сначала на расчетной частоте (для которой составлены таблицы) u_{Ψ_c} , а затем и на разностной частоте $u_{\Psi_F} = u_{\Psi_c} \cdot \frac{F}{f_r}$.

Сопоставляя счислимый отсчет u_{Ψ_F} с дробной частью измеренного значения φ_r , получить полное измеренное значение U_{Ψ_F} . При этом к дробной части измеренного отсчета приписывается столько фазовых циклов N , чтобы разница между счислимым и измеренным отсчетами не превышала по абсолютной величине 0,5 ф. ц., т. е.

$$|u_{\Psi_F} - u_{\Psi_c}| \leq 0,5 \text{ ф. ц.} \quad (19.5.4)$$

Для разрешения многозначности отсчетов РНП на точной частоте:

— по измеренному грубому отсчету $u_{\Psi_{гр}}$ рассчитать приближенное значение точного отсчета по формуле

$$u_{\Psi_{тр}} = u_{\Psi_{гр}} \cdot \frac{F}{f_r}; \quad (19.5.5)$$

— сопоставляя приближенный отсчет $u_{\text{цпр}}$ с дробной частью измеренного отсчета на точной частоте $f_{\text{т}}$, получить полное значение $U_{\text{рнч}}$. При этом к дробной части измеренного отсчета приписывается столько целых фазовых циклов, чтобы разница между приближенным и измеренным отсчетами не превышала по абсолютной величине $0,5 \phi$. ц. (формула 19.5.4);

— вычесть из полученного полного измеренного значения PHH $U_{\text{рнч}}$ поправку за условия распространения радиоволн для точной частоты и получить полный неисправленный отсчет $u_{\text{ц}}$, каким он должен быть на табло цифровой индикации, и выделить его целую часть;

— ввести номер дорожки на табло цифровой индикации.

Разрешив «вручную» многозначность отсчетов РНП на табло цифровой индикации, целесообразно не прерывать процесс автоматических измерений РНП по возможности дольше и осуществлять наблюдательное счисление. При этом интервал времени между последовательными определениями места не должен быть слишком большим, чтобы возможные сбои в автоматическом слежении за отсчетами (потеря дорожек) уверенно выявлялись при прокладке обсервации, т. е. погрешности счисления за время между обсервациями были бы заведомо меньше невязки, вызванной «потерей» хотя бы одной целой единицы в измеренном отсчете РНП на точной частоте (единичный скачок в величине навигационного параметра — в разности расстояний до станции — при потере дорожки составляет ≈ 30 км). Необходимо периодически контролировать правильность разрешения многозначности отсчетов по РНС «Омега» путем сопоставления обсерваций, выполненных различными средствами и методами.

Выполняя после разрешения многозначности отсчетов РНП очередную обсервацию, следует:

— в режиме точной индикации снять с табло отсчеты РНП по двум лицам положения;

— по району плавания, дате и часу в Таблицах поправок за условия распространения радиоволн РНС «Омега» выбрать значения дальномерных поправок относительно каждой из опорных передающих станций, сигналы которых использованы при обсервациях;

— снятые с табло отсчеты РНП исправить поправками, алгебраически суммируя отсчеты и поправки для станций, буквенные обозначения которых по алфавиту стоят в паре раньше (условно — «ведомых» станций), и алгебраически вычитая поправки для станций, буквенные обозначения которых по алфавиту стоят в паре позже (условно — «ведущих» станций).

Дальнейшие действия зависят от наличия технических средств обработки измерений.

А. При использовании цифрового вычислительного устройства ПКГ-1:

— выбрать из руководства РТСНО и ввести в вычислитель координаты используемых опорных станций «Омега», значения кодовых задержек по каждой паре станций, значение эквивалента единицы РНП (фазового цикла) в метрах, СКП определения навигационного параметра в метрах; ввести в вычислитель координаты и СКП счислимого места, исправленные значения измеренных радионавигационных параметров;

— последовательно решить задачи вычисления элементов обеих линий положения, а затем — задачу вычисления обсервованных координат корабля;

— вызвать на табло индикации вычислителя элементы эллипса погрешностей (a , b и A_b) и СКП (M_0) обсервованного места.

Б. При работе на радионавигационной карте (планшете) с сеткой гипербола:

— проложить обсервованные m , интерполируя между изолиниями и исправленные значения измеренных РНП, и снять обсервованные координаты корабля в точке пересечения линий положения;

— измерить на карте расстояния между соседними гиперболами и рассчитать градиенты линий положения по формуле (19.3.2);

— измерить угол пересечения линий положения θ и оценить СКП обсервованного места с учетом погрешности нанесения линий положения ($m_{гр} = 0,5$ мм) по формуле 19.3.3.

В. При работе на обычной навигационной карте или на карте-сетке:

— по схеме нарезки зон действия Таблиц для определения места судна при помощи радионавигационной системы «Омега», помещенной на форзаце любого из выпусков этих таблиц, определить номер зоны, в которой находится корабль, и по нему — адмиралтейские номера необходимых для работы выпусков таблиц;

— в таблице координат точек гипербола соответствующего выпуска таблиц найти столбец, имеющий в заголовке ближайшее меньшее значение РНП, чем исправленный отсчет;

— в левом или правом столбце на той же странице найти две строки с большим и меньшим значением широты (долготы), чем счислимая широта (долгота);

— интерполируя с помощью табличной разности Δ (указанной в десятых долях дуговой минуты координат на 1 фазовый цикл изменения отсчета), найти значения второй координаты точек необходимой гипербола;

— на навигационную карту, используемую для прокладки, нанести точки с выбранными из таблицы координатами и прочертить через их линию положения корабля;

— нанести линию положения, определенную по разности фаз от второй пары станций, и в точке пересечения линий положения найти место корабля;

— для оценки точности линий положения на ту же карту нанести точки гипербола по каждой паре станций с ближайшими табличными значениями РНП, прочертить отрезки этих гипербола, измерить расстояние между гиперболами и по формуле (19.3.2) рассчитать градиенты линий положения. Измерив угол пересечения линий положения θ , оценить СКП обсервованного места корабля по формуле (19.3.3).

Пример расчета линий положения обсервованного места корабля по сигналам РНС «Омега».

В счислимом месте корабля $\varphi_c = 45^{\circ}02' N$, $\lambda_c = 169^{\circ}43' E$ при ожидаемой СКП этого места $M_{сч} = 5$ миль (9260 м) в 2 ч всемирного времени 8 августа при работе на точной частоте 10,2 кГц получили отсчеты радионавигационных параметров (дробных долей фазовых циклов) по парам станций РНС «Омега»: по паре CH $\varphi_{сн} = \dots$, 16 ф. ц., по паре CD $\varphi_{сд} = \dots$, 98 ф. ц.

Решение е. 1. По схеме нарезки зон действия таблиц поправок РНС «Омега», помещенной в каждом выпуске Таблиц поправок за условия распространения радиоволн РНС «Омега», определяем, что корабль находится в зоне 03, и подбираем выпуски таблиц (адм. № 8000.03.С.1, 8000.03.Д.1 и 8000.03.Н.1) с поправками для зоны 03, для станций C , D и H , для 1 частоты измерений.

2. На схеме нарезки районов действия поправок, помещенной в каждом выпуске этих таблиц, по счислимому месту корабля определяем номер района — номер страницы выпуска, где помещена требуемая таблица поправок.

3. По интервалу дат, вмещающему сутки выполнения наблюдения, и по часу всемирного времени находим в таблицах поправки к фазе сигналов каждой станции (в сотых долях фазового цикла): $\Delta_{рс} = -0,4$, $\Delta_{рд} = -0,4$, $\Delta_{рн} = -0,3$.

4. Рассчитываем поправки к отсчетам по каждой паре станций $\Delta_{CD} = -04 - (-04) = 00$, $\Delta_{CH} = -04 - (-03) = -01$, т. е. $-0,01$ ф. ц., и исправляем ими полученные отсчеты по CD : $\varphi_{CD} = \dots, 98$ ф. ц., по CH : $\varphi_{CH} = \dots, 16 - 0,01 = \dots, 15$ ф. ц.

Дальнейшие действия зависят от используемых технических средств или пособий.

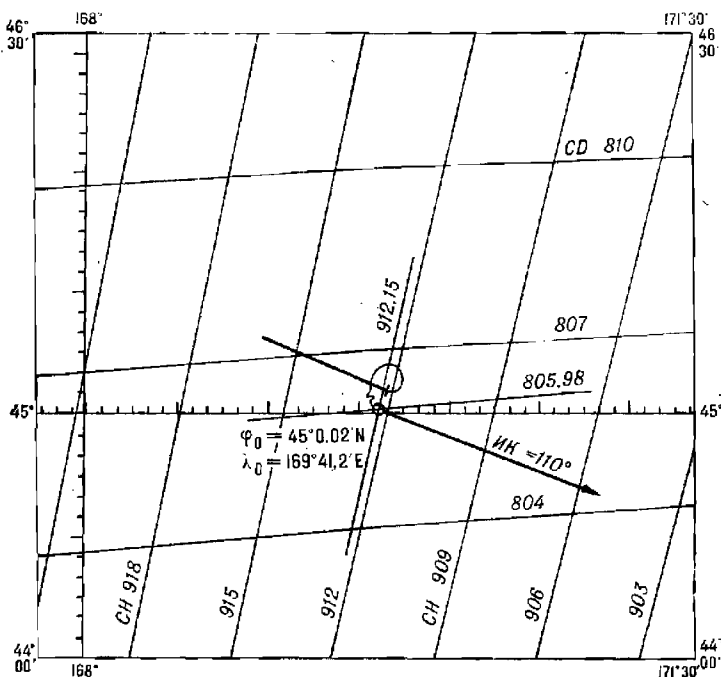
А. При использовании специализированного ЦВУ ПКГ-1.

1. Из руководства РТСНО (адм. № 3401) выбираем и вводим в ЦВУ сведения о парах станций CD и CH радионавигационной системы «Омега»: координаты опорных станций, кодовые задержки ($t_{CD} = 696,661$ ф. ц., $t_{CH} = 657,290$ ф. ц.), величину эквивалента единицы радионавигационного параметра ($\tau_{1,2} = 29\,468,087$ м/ф. ц.), ожидаемые СКП навигационных параметров ($m_{U_{1,2}} = 1500$ м). Вводим в ЦВУ координаты и СКП численного места корабля.

2. Решая задачу вычисления гиперболических координат дважды (задача 9), находим численные значения радионавигационных параметров по каждой паре опорных станций, т. е. разрешаем многозначность измерений разностей фаз: $u_{CD} = 805,980$, $u_{CH} = 912,150$. При этом следует иметь в виду, что из-за погрешностей в рассчитанных

(по задаче 9) значениях РНП дробные части фазового цикла могут несколько отличаться от измеренных величин. При формировании полных значений РНП следует принимать расчетное значение целого числа фазовых циклов и измеренную дробную часть.

Если разность между измеренным дробным отсчетом и дробной частью вычисленного полного отсчета по абсолютной величине превысит $0,50$ ф. ц., то целую часть полного отсчета РНП следует изменить на ± 1 , чтобы эта разность стала меньше $0,50$ ф. ц.



Планшет №60130-0М

Рис. 19.5.1

Например, если измеренный отсчет составляет $\dots, 98$, а вычисленное значение численного отсчета $806,15$, то вследствие того, что $0,98 - 0,15$ больше $0,50$, полное значение РНП следует принять $805,98$.

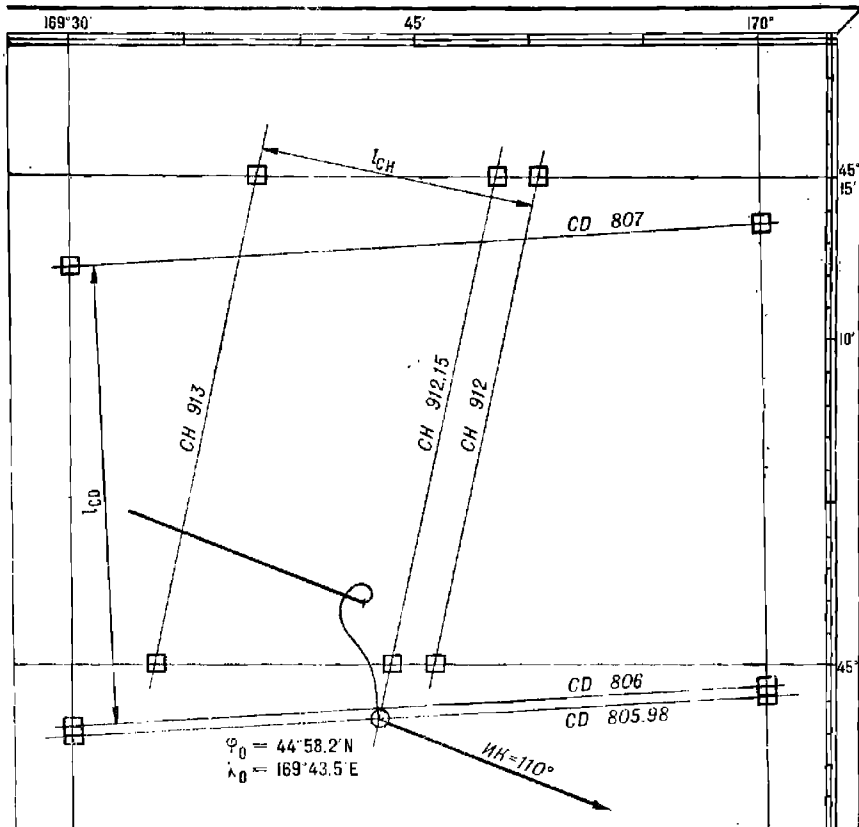
3. Если предполагается в дальнейшем вести обсервационное счисление по РНС «Омега», то на каждом табло индикатора следует установить целую часть полного отсчета радионавигационного параметра. При этом целая часть отсчета на табло должна относиться к исправленному табличной поправкой значению дробной части.

В дальнейшем, при каждой очередной обсервации, если слежение приемника за отсчетами не прерывалось, разрешение многозначности отсчетов выполнять не требуется.

4. Вводим в ЦВУ значения полных отсчетов по обоим парам станций, разности табличных поправок за условия распространения радиоволн на момент очередной обсервации k , дважды решая задачу вычисления элементов линии положения корабля (задача 1), получаем по CD : $n_1 = 1161,6$ м, $\tau_1 = 176^\circ 41' 28,9''$; по CH : $n_2 = 2046,8$ м, $\tau_2 = 103^\circ 06' 01,6''$.

5. Решая задачу вычисления обсервованных координат и оценки точности определения места по двум линиям положения, находим координаты: $\varphi_0 = 45^\circ 01,4' N$, $\lambda_0 = 169^\circ 44,4' E$. СКП обсервованного места: $M_0 = 8,7$ кбт, полуоси эллипса погрешностей и его ориентировку: $a = 1421$ м, $b = 772$ м, $A_0 = 110^\circ 33' 28,7''$.

Б. При работе на радионавигационной карте (планшете) для РНС «Омега» (рис. 19.5.1).



Карта №90336

Рис. 19.5.2

1. На радионавигационной карте (планшете) вблизи численного места, интерполируя между изолиниями сетки гипербол, по CD и по CH прочерчиваем линии положения и в точке их пересечения находим обсервованное место: $\varphi_0 = 45^\circ 00,2' N$, $\lambda_0 = 169^\circ 41,2' E$.

2. Для расчета градиентов линий положения измеряем расстояния между соседними изолиниями ($b_{NCD} = b_{NCH} = 3,0$, $l_{CD} = 34$ мм, $l_{CH} = 20$ мм) при масштабе планшета 1:2 000 000 (частный масштаб в широте обсервованного места $\mu_0 = 1:2 297 000$), подставляя в формулу 19.3.2 известные величины, получим $g_{CD} = 1,132$, $g_{CH} = 1,924$.

3. Измерим угол пересечения линий положения $\theta = 74^\circ$ и, подставляя в формулу (19.3.3) известные величины, рассчитываем СКП обсервованного места: $M_0 = 2236 \text{ м} \approx 1,2 \text{ мили}$.

В. При работе на навигационной морской карте или на карте-сетке (рис. 19.5.2).

1. По номеру зоны и литерам пар станций CD и CH определяем, что для нанесения линий положения РНС «Омега» на навигационную карту или карту-сетку в зоне 03 необходимо пользоваться Таблицами для определения места судна при помощи радионавигационной системы «Омега» (адм. № 8000.03 CD и 8000.03 CH).

2. С помощью таблиц координат точек гипербол, помещенных в этих книгах, находим координаты точек пересечения линий положения с параллелями и меридианами:

— из книги № 8000.03 CD , для $u_{\psi_{CD}} = 805,98 \text{ ф. ц.}$

$\lambda_{11} = 169^\circ \text{ E}$, $\varphi_{11} = 44^\circ 56,4' \text{ N}$,

$\lambda_{12} = 170^\circ \text{ E}$, $\varphi_{12} = 44^\circ 59,0' \text{ N}$;

— из книги № 8000.03 CH , для $u_{\psi_{CH}} = 912,15 \text{ ф. ц.}$

$\varphi_{11} = 45^\circ 15' \text{ N}$, $\lambda_{11} = 169^\circ 48,8' \text{ E}$,

$\varphi_{12} = 45^\circ 00' \text{ N}$, $\lambda_{12} = 169^\circ 43,9' \text{ E}$.

3. Через нанесенные на карту-сетку (масштаба 1 : 200 000 $\varphi_m = 60^\circ$) точки проводим линии положения и в точках их пересечения снимаем обсервованные координаты корабля: $\varphi_0 = 44^\circ 58,2' \text{ N}$, $\lambda_0 = 169^\circ 43,5' \text{ E}$.

4. Построив на этой же карте отрезки изолиний для табличных значений $u_{\psi_{CD}} = 806 \text{ ф. ц.}$ и 807 ф. ц. ; $u_{\psi_{CH}} = 913 \text{ ф. ц.}$ и 912 ф. ц. , измеряем расстояния между ними при частном масштабе карты в широте обсервации $\rho_0 = 1:283000$ ($b_{N_{CD}} = b_{N_{CH}} = 1,0$, $l_{CD} = 93 \text{ мм}$, $l_{CH} = 55 \text{ мм}$) и по формуле (19.3.2) вычисляем градиенты линий положения: $g_{CD} = 1,12$, $g_{CH} = 1,89$.

5. Измеряем угол пересечения линий положения $\theta = 74^\circ$ и по формуле (19.3.3) рассчитываем СКП обсервованного места $M_0 = 1633 \text{ м} = 8,8 \text{ ибт}$.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА КОРАБЛЯ С ПОМОЩЬЮ ИМПУЛЬСНЫХ И ИМПУЛЬСНО-ФАЗОВЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

§ 20.1. ИМПУЛЬСНЫЕ РАДИОНАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Действие импульсных РНС основано на измерении интервалов времени, протекающих между моментами излучения на опорной станции и приема на корабле импульсных сигналов — в дальномерных системах или между моментами приема на корабле импульсных сигналов, излученных двумя опорными станциями, — в разностно-дальномерных системах. Отсчет времени ведется по переднему фронту огибающей импульса.

Расстояние, пройденное радиоимпульсом, связано с временем распространения T зависимостью

$$S = v \cdot T,$$

здесь v — скорость распространения радиоволн.

В кораблеводении практически используется только разностно-дальномерная система дальнего действия Лоран-А. Однако она постепенно заменяется более совершенной — импульсно-фазовой РНС Лоран-С.

Радионавигационная система Лоран-А

Цель системы состоит из трех — восьми наземных опорных передающих станций, излучающих импульсные сигналы на одинаковой рабочей частоте (одной из четырех фиксированных в диапазоне 1750—1950 кГц). Станции сгруппированы в пары. Каждая пара станций в цели имеет только ей присвоенное значение периода повторения импульсов, которое является признаком пары. Одна из станций в паре — ведущая (ВЦ) — задает время излучения импульсов, вторая — ведомая (ВМ) — синхронизирует свое излучение по сигналам ВЦ и излучает импульсы с установленным запаздыванием относительно излучения ВЦ. Это запаздывание («задержка излучения» — $t_{из}$) складывается из времени распространения сигналов ВЦ по базе до ВМ («базовой задержки» — $t_б$) и задержки в аппаратуре ВМ, состоящей из половины длительности периода повторения импульсов и назначаемой «кодовой задержки» — $t_к$. Каждая опорная станция в цели может одновременно выполнять функции ведущей или ведомой станции в двух или трех смежных парах. Излучаемые импульсы имеют колоколообразную форму, длительность около 40 мкс и пиковую мощность до 1000 кВт.

Корабельный приемоиндикатор, например КПИ-4, КПИ-5Ф, измеряет радионавигационный параметр — интервал времени между моментами приема импульсных сигналов от опорных станций, составляющих пару.

Отсчет интервала времени в микросекундах снимается со шкалы. Днем в системе используются только поверхностные сигналы с дальностью действия до 1000 км от наиболее удаленной опорной станции; при этом СКП определения разности расстояний составляет около 450 м.

Ночью дальность приема поверхностных сигналов из-за повышения уровня радиопомех сокращается до 750—800 км. Однако ночью появляется возможность принимать пространственные сигналы, т. е. сигналы опорных станций, однократно отраженные ионосферой Земли, на увеличенной дальности — до 2600 км. СКП определения разности расстояний при использовании таких сигналов возрастает до 900—3000 м вследствие нестабильности высоты их отражения. Использование пространственных сигналов, двукратно и многократно отраженных ионосферой, из-за чрезмерно больших погрешностей определения РНП нецелесообразно.

Когда сигналы РНС Лоран-А распространяются над сухопутными трассами (островами, мысами), дальность действия на поверхностных сигналах резко сокращается — каждые 20 км суши уменьшают дальность действия на поверхностных сигналах на 100 км.

Для нахождения обсервованного места корабля используются цифровые вычислительные устройства или радионавигационные карты с сетками гипербол Лоран-А (при номере такой карты помещены литеры «ЛА»). При работе на обычной навигационной карте для построения линий положения требуются Таблицы для определения места корабля при помощи РНС Лоран-А.

Порядок действий при определении места корабля с помощью радионавигационной системы Лоран-А

1. По схеме расположения станций Лоран-А в руководстве РТСНО подобрать пары, обеспечивающие наилучшую точность определения места корабля в районе его плавания. При этом рекомендуется:

— всегда использовать пары станций, от которых возможно измерение РНП по поверхностным сигналам, даже если эти сигналы слабее пространственных сигналов других станций;

— при возможности исключать использование станций ночью для измерений на дальностях 600—1000 км, где существует наложение пространственных сигналов на поверхностные, затрудняющее распознавание передних фронтов импульсов как поверхностных, так и пространственных сигналов;

— при вынужденном использовании пространственных сигналов выбирать только такие пары станций, в которых и от ведущей, и от ведомой станций принимаются пространственные сигналы;

— при прочих равных условиях подбирать пары с наибольшими градиентами линий положения (наибольшими углами между направлениями с корабля на станции), создающие в районе счислимго места корабля углы пересечения линий положения, близкие к 90°.

2. Включить приемоиндикатор и выставить отсчеты, соответствующие счислимому месту корабля. Эти отсчеты могут быть либо вычислены с помощью ЦВУ, либо сняты с радионавигационной карты по сетке изолиний РНП, либо рассчитаны по расстояниям до опорных

станций Лоран-А, снятым с генеральной навигационной карты, по формуле

$$U_{\text{РН}} = \frac{S_{\text{ВМ}} - S_{\text{ВЩ}}}{\gamma} + t_6 + t_{\text{к}}$$

Например, при работе с ЭКВМ «Слика» следует решить задачу 20 («Вычисление численного отсчета приемоиндикатора РНС»), введя в ЭКВМ координаты опорных станций РНС, величины базовой и кодовой задержек, эквивалента единицы РНП, выбираемые из руководства РТСНО, и числимые координаты корабля. Если расстояния $S_{\text{ВМ}}$ и $S_{\text{ВЩ}}$ сняты с карты проекции Меркатора, их следует исправить ортодромическими поправками ΔS (табл. 23-б МТ—75) и выразить в метрах.

3. Для опознавания сигнала ведущей станции отрегулировать усиление приемника, перемещать видимые импульсы сигналов до тех пор, пока видимый на верхней линии развертки импульс не окажется левее импульса, видимого на нижней линии.

Тогда импульс на верхней линии развертки будет опознан как сигнал ведущей станции, а на нижней — как сигнал ведомой станции.

4. При работе ночью в зоне наложения пространственных сигналов на поверхностные необходимо включить «быструю развертку» и тщательно проанализировать расположение поверхностного и пространственного сигналов:

— каждый сигнал станции Лоран-А обычно расщепляется на 2—3 импульса, из которых первым виден поверхностный;

— при повышении уровня шумовых помех или при ослаблении поверхностного сигнала на участках трассы над сушей поверхностный сигнал может быть потерян в шумах, и первым окажется пространственный, однократно отраженный. Критерием опознавания однократно отраженного импульса служит величина запаздывания следующего за ним импульса, а именно: двукратно отраженный импульс отстоит от однократно отраженного приблизительно в 2 раза дальше, чем однократно отраженный от поверхностного;

— на удалении 1000—1500 км пространственный (однократно отраженный) импульс может слиться с поверхностным, оставив его лишь «ступенькой» на своем переднем фронте. В этом случае пространственный импульс опознается по непрерывному медленному изменению его формы и амплитуды, тогда как амплитуда его начальной «ступеньки» — поверхностного импульса — остается стабильной;

— наиболее надежным является контроль опознавания вида импульсов путем сопоставления обсервованных линий положения сочислимым местом корабля. Этот контроль очень показателен, если обсервации по РНС проводятся регулярно (каждый час) и погрешности счисления не успевают возрасти настолько, чтобы помешать выявлению промахов в опознавании вида импульсов.

При очередной обсервации в случае неправильного опознавания вида импульсов возникнет непомерно большая невязка, значительно превосходящая реально возможную погрешность счисления за истекшее от предыдущей обсервации время.

5. После опознавания вида импульса ВЩ станции при использовании «быстрой развертки» совместить передний фронт этого импульса с измерительным стробом («зубцом» на развертке), подводя импульс ВЩ к стробу передним фронтом (справа), чтобы вступило в действие устройство автоматической синхронизации.

6. Убедившись при использовании «медленной развертки» в том, что импульс ВМ виден на пьедестале нижней линии развертки, включить

«быструю развертку» и в режиме ручного слежения совместить передний фронт импульса ВМ с передним фронтом импульса ВЩ, подводя его также справа налево.

7. После совмещения передних фронтов импульсов перейти в режим автоматического слежения.

8. При автоматическом слежении отсчет по шкале непрерывно соответствует величине измеряемого интервала времени в микросекундах. Считывание значения РНП может производиться в любой момент.

9. Если приемоиндикатор содержит два измерительных канала, то следует выполнить аналогичные действия по настройке приемника и индикатора на сигналы второй пары станций, по опознаванию сигналов, совмещению сигналов с селекторными импульсами и включению автоматических следящих измерительных систем для измерения радионавигационного параметра второй линии положения.

10. Если отсчеты получены по пространственным сигналам, то измеренные РНП подлежат исправлению поправками для использования пространственных сигналов.

Величины поправок печатаются на радионавигационных картах и в таблицах для определения места при помощи системы Лоран-А. Поправки называются «стандартными», если ими исправляются отсчеты по пространственным сигналам и ведущей и ведомой станций, или «специальными», если исправляются отсчеты, полученные по пространственным сигналам одной из станций, а от второй (ведомой или ведущей) приняты поверхностные сигналы. На радионавигационных картах «специальные» поправки сопровождаются литерами SG, если они предназначены для исправления отсчетов по пространственным сигналам ведущей станции, или GS, если исправления отсчетов производятся по пространственным сигналам ведомой.

Дальнейшие действия штурмана зависят от наличия в его распоряжении технических средств обработки измерений.

А. При использовании специализированного цифрового вычислительного устройства ПКГ-1:

— ввести в ЦВУ координаты опорных передающих станций и счислимого места корабля, значение эквивалента единицы РНП, СКП определения навигационного параметра и СКП счислимого места корабля, измеренные значения радионавигационного параметра и поправки к ним, если используются пространственные сигналы;

— последовательно решить задачи расчета элементов двух, трех или четырех (по количеству измеренных по разным парам станций радионавигационных параметров) обсервованных линий положения, а затем — вычисления обсервованных координат корабля (при количестве обсервованных линий положения более двух вычисляются координаты вероятнейшего места) и прочесть на табло обсервованные широту и долготу;

— вызвать на табло ЦВУ значения элементов эллипса погрешностей (a , b и A_b) и СКП (M_0) обсервованного места корабля.

Б. При работе на радионавигационной карте с сеткой гипербол:

— линии положения корабля построить графически, интерполируя между изолиниями на исправленные значения радионавигационных параметров;

— измерив расстояние l между изолиниями вблизи обсервованного места, рассчитать модули градиентов линий положения по формуле (19.3.2);

— измерить угол пересечения θ линий положения, а затем оценить СКП обсервованного места с учетом СКП интерполяции между изолиниями на карте $m_{гр} = 0,5$ мм по формуле (19.3.3).

В. При работе на обычной навигационной карте или на карте-сетке:

— по каталогу карт и книг или по схеме расположения пар станций РНС Лоран-А, помещенной на форзаце любой из таблиц для определения места при помощи радионавигационной системы Лоран-А, определить адмиралтейские номера выпусков таблиц, в которых помещены данные для тех пар станций, по которым измерены радионавигационные параметры, и далее пользоваться этими таблицами;

— в случае ночных измерений по пространственным сигналам найти в таблице поправок для использования пространственных сигналов (помещенной в этом же выпуске таблиц для определения места) величину поправки в счислимом месте корабля и исправить ею снятый отсчет;

— в таблице координат точек гипербол этого выпуска таблиц найти столбец, имеющий в заголовке ближайшее меньшее значение RHP , чем исправленный отсчет;

— в левом или правом столбце на той же странице найти две строки с большим или меньшим значением широты (долготы), чем счислимая широта (долгота);

— интерполируя с помощью табличной разности Δ (указанной в десятых долях дуговой минуты координат на 10 мкс изменения отсчета), найти значения второй координаты точек искомой гиперболы;

— на навигационную карту, используемую для прокладки, нанести точки с выбранными из таблиц координатами и прочертить через них линию положения корабля;

— для оценки точности линии положения на ту же карту нанести по таблицам точки еще двух гипербол с ближайшими табличными значениями RHP , прочертить отрезки этих гипербол и измерить расстояние между ними в масштабе карты, после чего рассчитать градиенты линий положения по уже известной формуле (19.3.2), а затем измерить угол θ пересечения линий положения и вычислить СКП обсервованного места по формуле (19.3.3).

Пример расчета линий положения и обсервованного места корабля по сигналам РНС Лоран-А.

В счислимом месте корабля $\varphi_0 = 36^\circ 30' N$, $\lambda_0 = 131^\circ 25' E$, $IK = 194'$, в 08 ч 35 мин Хабаровского времени 1 июля измерили радионавигационные параметры РНС Лоран-А по парам $u_1 = 2055,0$ мкс, $u_2 = 1169,0$ мкс.

Решение. А. При использовании ЭКВМ «Слика»:

1. Находим в руководстве РТСНО, адм. № 3401, сведения о парах станций Лоран-А 2S5 и 2S6 и вводим в ЭКВМ координаты опорных станций, кодовые задержки ($t_k = 1000$ мкс), величину эквивалента единицы RHP ($\gamma_{1,2} = 299,708$ м/мкс), ожидаемые значения СКП навигационных параметров ($m_{u_{1,2}} = 450$ м). Вводим в ЭКВМ координаты счислимго места корабля, измеренные значения RHP по каждой паре станций, коэффициент корреляции погрешностей RHP ($K = 0$).

2. Решая задачу вычисления элементов линий положения (задача I) для обеих пар станций, находим значения этих элементов: $n_1 = 9108$ м, $\tau_1 = 262^\circ 08'$, $n_2 = 13550$ м, $\tau_2 = 116^\circ 41'$.

3. Решая задачу вычисления обсервованных координат и оценки точности определения места (задача 8) по двум линиям положения, находим координаты $\varphi_0 = 36^\circ 35' 10,9'' N$, $\lambda_0 = 131^\circ 17' 47,5'' E$, СКП обсервованного места $M_0 = 1863$ м, полуоси эллипса погрешностей и направление его большой оси: $a = 1802$ м, $b = 296$ м, $A_a = 253^\circ 23''$.

Б. При работе на радионавигационной карте для РНС Лоран-А (рис. 20.1.1):

1. На радионавигационной карте масштаба 1:2 000 000 ($\varphi_{гр} = 40'$) вблизи счислимго места, интерполируя промежутки между изолиниями 2000 и 2100 мкс на отсчет 2055,0 мкс и между 1150 и 1200 мкс — на отсчет 1169,0 мкс, прочерчиваем линию положения корабля и в точке их пересечения находим обсервованное место $\varphi_0 = 36^\circ 35' N$, $\lambda_0 = 131^\circ 17' E$ ($C = 2,10 \cdot 10^6$).

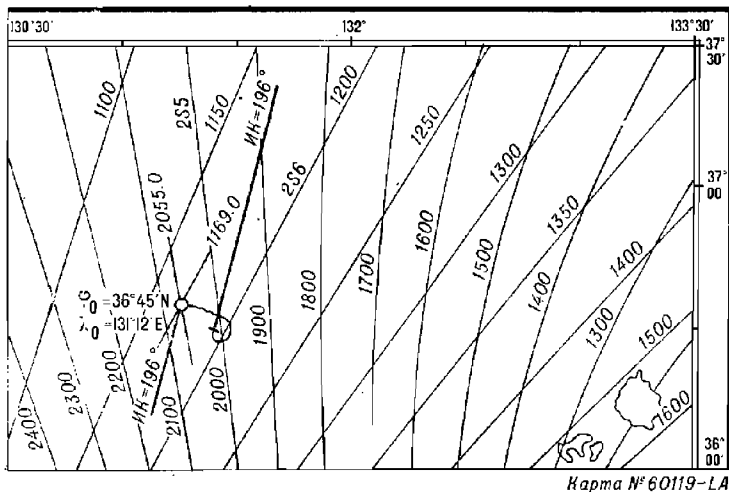


Рис. 20.1.1

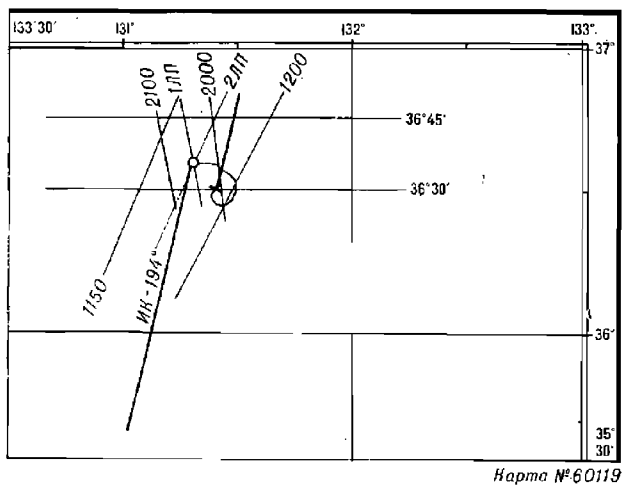


Рис. 20.1.2

2. Для расчета градиентов линий положения измеряем расстояния между соседними изолиниями $\delta_{N_1} = 100$ мкс, $l = 10,0$ мм, $\delta_{N_2} = 50$ мкс, $l = 15,8$ мм и по формуле (19.3.2) получаем $g_{\text{ли}} = 1,43$, $g_{\text{ли}} = 0,452$.

3. Измеряем угол пересечения линий положения $\theta = 38^\circ$ и по формуле (19.3.3) рассчитываем СКП обсервованного места $M_o = 2892$ м $\approx 1,6$ мили.

В. При работе на обычной навигационной карте (рис. 20.1.2):

1. По каталогу карт и кинг, адм. № 7402, определяем, что для пар 2S5 и 2S6 изданы Таблицы для определения места судна, адм. № 8420 и 8421.

2. С помощью таблиц координат точек гипербол, помещенных в этих книгах, находим координаты точек пересечения линий положения с параллелями и меридианами. Находим столбцы с табличными значениями РНП, ближайшими меньшими, чем измеренные, и, интерполируя на измеренные значения РНП, рассчитываем долготы точек пересечения 1 и 2 линий положения с параллелями $36^\circ 30' \text{ N}$ и $36^\circ 45' \text{ N}$

$u_{N1} = 2055,0$ мкс				$u_{T1} = 2040$ мкс		
Номер точки	Широта точки	Табличная долгота	Δ в дуг. мин/мкс	$u_N - u_T$	$(u_N - u_T) \Delta$	Долгота точки
1	$\varphi_1 = 36^\circ 30' \text{ N}$	$\lambda_1 = 131^\circ 20,9' \text{ E}$	-0,13	15	-2,0'	$\lambda_1 = 131^\circ 18,9' \text{ E}$
2	$\varphi_2 = 36^\circ 45' \text{ N}$	$\lambda_2 = 131^\circ 18,0' \text{ E}$	-0,14	15	-2,1'	$\lambda_2 = 131^\circ 15,9' \text{ E}$

$u_{N2} = 1169,0$ мкс				$u_{T2} = 1160$ мкс		
Номер точки	Широта точки	Табличная долгота	Δ в дуг. мин/мкс	$u_N - u_T$	$(u_N - u_T) \Delta$	Долгота точки
1	$\varphi_1 = 36^\circ 30' \text{ N}$	$\lambda_1 = 131^\circ 10,7' \text{ E}$	-0,46	9	+4,1'	$\lambda_1 = 131^\circ 14,8' \text{ E}$
2	$\varphi_2 = 36^\circ 45' \text{ N}$	$\lambda_2 = 131^\circ 18,8' \text{ E}$	-0,50	9	+4,5'	$\lambda_2 = 131^\circ 23,3' \text{ E}$

и наносим их на карту ($\varphi_{\text{г.л}} = 40^\circ$, $C_{\text{г.л}} = 2 \cdot 10^6$).

3. Через нанесенные точки проводим линии положения и определяем обсервованные координаты корабля в точке пересечения этих линий: $\varphi_o = 36^\circ 35' \text{ N}$, $\lambda_o = 131^\circ 18' \text{ E}$ ($C = 2,10 \cdot 10^6$).

4. Построив на этой карте отрезки изолиний для табличных значений РНП 2000 и 2100 мкс ($\delta_{N_1} = 100$), а также 1150 и 1200 мкс ($\delta_{N_2} = 50$), измеряем расстояния между ними $l_1 = 10$ мм, $l_2 = 15,8$ мм и вычисляем градиенты линий положения $g_{\text{ли}} = 1,43$, $g_{\text{ли}} = 0,452$.

5. Измеряем на карте угол пересечения линий положения $\theta = 38^\circ$ и по формуле (19.3.3) рассчитываем СКП обсервованного места корабля: $M_o = 2892$ м $\approx 1,6$ мили.

§ 20.2. ИМПУЛЬСНО-ФАЗОВЫЕ РАДИОНАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Действие импульсно-фазовых систем основано на использовании зависимости между временем распространения радиопульса, фазой его высокочастотного заполнения и пройденным радиоволнами расстоянием. Главное отличие от импульсных радионавигационных систем состоит в том, что с целью повышения точности фиксации момента прихода импульса, кроме отсчета по переднему фронту огибающей этого импульса, производится измерение фазы сигнала на его рабочей частоте, т. е. фазы заполняющих импульс радиочастотных колебаний. Для обеспечения такой возможности на опорных передающих станциях поддерживается строгая взаимная синхронизация частоты и фазы излучаемых сигналов, а моменты излучения импульсов жестко связаны с фазой сигналов.

В качестве примера, характеризующего импульсно-фазовые радионавигационные системы, может служить система «Чайка».

Наземная цепь системы состоит из трех — пяти опорных передающих станций, излучающих сигналы на одной и той же рабочей частоте 100 кГц, единой для всех цепей импульсно-фазовых радионавигационных систем.

Сигналы излучаются сериями по 8 импульсов, следующих через 1000 мкс. Отличительным признаком конкретной цепи является период повторения серий импульсов.

Ведущая станция дополнительно излучает в серии девятый импульс. Каждая ведомая станция излучает сигналы — серии импульсов — поочередно, с различным запаздыванием относительно излучения ведущей.

Это запаздывание («задержка излучения» — t_n) содержит в себе время прохождения сигналов по базе от ведущей до ведомой станции («базовую задержку» — t_0) и назначаемую задержку в аппаратуре ведомой станции («кодovou задержку» — t_k).

Величина задержки излучения служит отличительным признаком конкретной пары станций.

Для сигналов импульсно-фазовой радионавигационной системы характерны следующие свойства:

1. Дальность действия на поверхностных сигналах сравнительно мало зависит от вида подстилающей поверхности — море или суша (над сушей уменьшается на 25—30 %).

2. Измерение фазы сигналов на частоте колебаний, заполняющих радиоимпульс, позволяет достичь существенного уменьшения СКП измерения навигационного параметра — до 30—90 м, но вынуждает осуществлять предварительное опознавание периода радиочастотных колебаний, чтобы избежать многозначности измерений. Поскольку длительность периода радиочастотных колебаний составляет в импульсно-фазовых РНС 10 мкс, предельно допустимая погрешность измерения интервала времени по огибающей переднего фронта импульса равна ± 5 мкс.

3. Отражение сигналов импульсно-фазовых радионавигационных систем ионосферой наблюдается круглосуточно. В результате наложения отраженного импульса (пространственного сигнала) на поверхностный, начиная с расстояния 300 км, в точке приема возникает интерференция радиоволн, приводящая к большим погрешностям фазовых измерений. Чтобы исключить мешающее действие пространственных сигналов, фазовые измерения необходимо выполнять лишь с использованием передней части импульса — до 30 мкс от его начала, свободной от интерференции. Фактически для фиксации фазы используется один (пятый) переход высокочастотного заполнения импульса через ноль, хотя максимум импульса находится на удалении около 80 мкс от его начала.

4. Успех разрешения многозначности отсчета по фазе зависит от сохранения постоянства формы огибающей переднего фронта импульсов, а эта форма может изменяться как под влиянием условий распространения импульсных сигналов, так и вследствие применения на ряде опорных станций передающих антенн разного вида. Поэтому в некоторых типах приемоиндикаторов с автоматическим разрешением многозначности отсчетов по фазе необходимо по определенным правилам устанавливать тип системы или вводить коррекцию на изменение формы огибающей импульсов.

5. С целью повышения помехоустойчивости сигналов без увеличения пиковой мощности излучения, уже достигающей физически предельных для антенн величин (до 2,1 МВт), излучение ведется сериями импульсов с накоплением энергии сигналов в приемоиндикаторе, и в процессе передачи производится скачкообразное изменение начальной фазы ко-

лебаний рабочей частоты от импульса к импульсу в определенной последовательности, задаваемой фазовым кодом. Фазовый код может иметь различные варианты, но фактически все цепи ИФ РНС используют одинаковые фазовые коды. Различные фазового кода для ведущей и ведомых станций позволяет автоматизировать в приемоиндикаторе поиск и распознавание сигналов ведущей станции.

6. Высокая точность измерения интервалов времени при отсчете по фазе рабочей радиочастоты требует учета погрешностей определения навигационного параметра, возникающих вследствие непостоянства скорости распространения радиоволн над неоднородной по электрическим свойствам поверхностью Земли (над сушей или морем).

Измеренные значения РНИ подлежат исправлению:

— поправками для использования пространственных сигналов, если отсчет получен по пространственным сигналам хотя бы от одной из станций пары. Эти поправки печатаются на радионавигационных картах, изданных в масштабах мельче 1 : 200 000, и в таблицах для определения места при помощи РНС Лоран-С. Величина таких поправок различна для дневного и ночного времени, и на картах поправки имеют буквенное обозначение D — для дневного времени, а N — для ночного. Различаются поправки «стандартные», применяемые когда приняты пространственные сигналы и ведомой, и ведущей станций, и «специальные», применяемые когда приняты пространственные сигналы только от одной из них, а от второй — поверхностные. Поправки для использования пространственных сигналов ведомой станции помечаются литерами GS , сигналов ведущей — литерами SG ;

— поправками за условия распространения поверхностных сигналов, если отсчет получен по поверхностным сигналам от обеих станций пары, когда такие поправки объявлены. Эти поправки целесообразно учитывать, когда для получения обсервованных координат корабля предполагается использовать цифровое вычислительное устройство, либо работать на радионавигационных картах с сетками гипербола, изданных в масштабе 1 : 200 000 или крупнее, на которых при построении гипербола не учтены местные изменения скорости распространения радиоволн. Величины этих поправок за условия распространения поверхностных сигналов помещаются в специально издаваемых таблицах либо могут быть опубликованы в виде карт-схем.

§ 20.3. КОРАБЕЛЬНЫЕ ПРИЕМОИНДИКАТОРЫ ИМПУЛЬСНО-ФАЗОВЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Для измерения интервалов времени между принимаемыми сигналами импульсно-фазовых радионавигационных систем эффективно используются преимущественно два типа приемоиндикаторов:

— приемоиндикаторы с визуальным поиском и распознаванием сигналов на экране электронно-лучевой трубки, ручным разрешением многозначности отсчетов по фазе, ручным совмещением принимаемых импульсов с измерительными стробами и последующим автоматическим слежением за изменяющимися отсчетами (КПИ-5ф, $m_{\text{сф}} = 0,5$ мкс);

— приемоиндикаторы с автоматическим поиском и распознаванием сигналов, автоматическим разрешением многозначности, автоматическим первоначальным совмещением импульсов и автоматическим слежением за отсчетами (КПИ-7ф, $m_{\text{сф}} = 0,2$ мкс).

Несмотря на существенное усложнение и увеличение стоимости, приемоиндикаторы с автоматическим поиском сигналов (КПИ-7ф) по сравнению с приемоиндикаторами с визуальным поиском (КПИ-5ф)

имеют ряд существенных преимуществ, в том числе обеспечивают возможность определения места корабля по поверхностным сигналам на значительно больших расстояниях от передающих станций (1800—2200 км для КПИ-7ф по сравнению с 1100—1300 км для КПИ-5ф), когда визуальное выделение сигналов на фоне радишумов уже невозможно.

Приемоиндикаторы КПИ-4, сохранившиеся на некоторых кораблях, рассчитанные на измерение интервалов времени только по огнивающим принятым импульсам (без отсчета по фазе радиочастоты заполнения импульсов), также могут быть использованы при определении места с помощью импульсно-фазовых РНС, но СКП измерения ими интервалов времени составляет около 2 мкс, а дальность уверенного слежения за поверхностными сигналами не превышает 600—800 км от передающих станций.

Измерения по пространственным сигналам в приемоиндикаторах с автоматическим поиском сигналов практически не применяются из-за ненадежности результатов измерения. Приемоиндикаторы с визуальным поиском сигналов способны работать по пространственным сигналам, в основном с измерением только по переднему фронту огибающей импульсов, устойчивое слежение за однократно отраженными импульсами возможно лишь на удалениях до 1500 км.

Для нахождения обсервованного места корабля по импульсно-фазовым радионавигационным системам используются цифровые вычислительные устройства или радионавигационные карты с сетками гипербола Лоран-С («Чайка»); у номера такой карты помещены литеры «ЛС» («ДН»). При работе на обычной навигационной карте для построения линий положения требуются Таблицы для определения места судна при помощи РНС Лоран-С.

Порядок действий при определении места корабля с помощью импульсно-фазовых РНС

По схеме расположения станций в руководстве РТСНО необходимо подобрать пары станций РНС, обеспечивающие наилучшую точность определения места корабля в районе его плавания. При этом рекомендуется:

- всегда использовать пары станций, от которых возможно измерение *РНП* по поверхностным сигналам, даже если эти сигналы слабее пространственных сигналов других станций;

- при вынужденном использовании пространственных сигналов выбирать для измерений такие пары, в которых и от ведущей, и от ведомой станций используются однократно отраженные сигналы, и лишь в крайних случаях использовать сигналы различного вида от станций одной пары;

- при прочих равных условиях подбирать пары с наибольшими градиентами линий положения, то есть имеющие в районе плавания корабля большие углы между направлениями на станции, и создающие углы пересечения линий положения, близкие к 90°.

Использование приемоиндикатора КПИ-5ф.

1. В соответствии с инструкциями по эксплуатации и использованию аппаратуры включить и настроить приемоиндикатор на частотный параметр выбранной пары станций, произвести опознавание импульсов ВЦ и ВМ станций, регулировку и уравнивание амплитуд радиосигналов ВЦ и ВМ станций, разрешить многозначность отсчетов по фазе и измерить радионавигационный параметр.

2. Так как приемник-индикатор КПИ-5ф одноканальный, то для получения второй линии положения следует снова выполнить операции поиска сигналов от другой ведомой станции.

На большой скорости корабля для снятия отсчета РНП допустимо кратковременное выключение автоматической подстройки частоты, а одновременно полученные отсчеты следует привести к одному моменту или к одному месту.

3. В условиях значительных помех вероятность правильного разрешения многозначности отсчетов по фазе резко уменьшается, особенно при использовании пространственных радиосигналов. К тому же возрастает опасность неправильного распознавания вида сигналов. В таких случаях рекомендуется поиск и разрешение многозначности фазы более слабых сигналов выполнять в периоды временного уменьшения помех, а в дальнейшем удерживать эти сигналы путем включения устройства автоматического слежения. Правильность распознавания вида сигналов и разрешения многозначности фазы может быть проконтролирована по степени совпадения формы импульсов ведущей и ведомых станций на экране электронно-лучевой трубки при включении фильтра помех.

При выполнении измерений РНП для получения второй линии положения необходимо следить за сохранностью отсчета по первой линии положения.

Наиболее надежный контроль правильности распознавания вида сигналов и разрешения многозначности фазы обеспечивается регулярным сопоставлением обсервованных линий положения со счислимым местом корабля, чтобы погрешности счисления не успели чрезмерно возрасти и помешать выявлению промахов в измерениях РНП.

Использование приемник-индикатора КПИ-7ф.

Приемник-индикатор КПИ-7ф имеет два приемноизмерительных тракта, которые могут работать одновременно по сигналам опорных станций как одной цепи, так и двух соседних цепей системы, имеющих различные частотные параметры и даже разные типы (разные формы огибающей импульсов).

Для приема сигналов могут быть использованы штыревая или рамочная антенны.

Измеренные значения радионавигационных параметров (интервалов времени) индицируются на табло и могут быть автоматически переданы в цифровой форме в преобразователь координат ПКГ-1 или корабельную ЦВМ для вычисления обсервованных координат места корабля.

1. В соответствии с инструкциями по эксплуатации и использованию аппаратуры включить и настроить приемник-индикатор на типы и частотные параметры выбранных цепей импульсно-фазовой РНС и установить на дешифраторе фазовый код, присвоенный системе, переключатели начальной задержки установить на величину кодовых задержек, предназначенных для использования пар станций.

2. При использовании рамочной антенны следует включить управление диаграммой ее направленности от гирокомпы или от корабельной ЦВМ.

3. Поиск сигналов ведущей и ведомых станций с подавлением радиопомех и измерение РНП производятся автоматически в течение 2 мин после пуска. Считывание отсчетов РНП и передача их в ЦВМ или ПКГ-1 возможны после загорания световых табло готовности.

Дальнейшие действия зависят от наличия технических средств.

При использовании специализированного цифрового вычислительного устройства ПКГ-1, автоматически сопряженного с приемоиндикатором:

— ввести в ЦВУ координаты опорных передающих станций и счислимое место корабля, значение эквивалента единицы РНП, СКП определения навигационного параметра и СКП счислимого места корабля, поправки к измеряемым значениям РНП;

— задать ЦВУ интервал времени между последовательными опросами выходного регистра приемоиндикатора (темп съема отсчетов);

— включить в ЦВУ режим опроса выходного регистра приемоиндикатора и в соответствии с установленным темпом съема отсчетов считывать с табло ЦВУ текущие значения обсервованных географических координат корабля и по ним прокладывать обсервованное место;

— приостанавливать по мере необходимости опрос регистра приемоиндикатора, чтобы для оценки точности получаемой обсервации вызвать на табло ЦВУ значения элементов эллипса погрешностей (a , b и A_b), а также среднюю квадратическую погрешность (M_0) обсервованного места корабля.

При отсутствии специализированного цифрового вычислительного устройства ПКГ-1 работа ведется на радионавигационной карте с сетками гипербол или на обычной навигационной морской карте.

Пример расчета линий положения и обсервованного места корабля по сигналам импульсно-фазовых радионавигационных систем с помощью приемоиндикатора КПИ-7ф.

В счислимом месте корабля $\varphi_c = 65^\circ 50' N$, $\lambda_c = 5^\circ 20' W$, при ожидаемой СКП счислимого места $M_{сч} = 5556$ м (3 мили), в 13 ч 35 мин всемирного координированного времени настроили приемоиндикатор на работу по сигналам цепи Норвежского моря (частотный параметр 7970) РНС Лоран-С от опорных станций пар W и Z и получили на поверхностных сигналах отсчеты радионавигационного параметра $u_{z1} = 33\,511,3$ мкс, $u_{z2} = 63\,822,2$ мкс.

Решение А. При использовании автоматически сопряженного с приемоиндикатором специализированного ЦВУ ПКГ-1.

1. Находим в руководстве РТСНО (адм. № 3201) сведения о парах станций Лоран-С 7970-W и 7970-Z цепи Норвежского моря и вводим в ЦВУ координаты опорных станций и кодовые задержки ($t_{z1} = 26\,000$ мкс, $t_{z2} = 60\,000$ мкс), величину эквивалента единицы РНП ($\gamma = 299,530$ м/мкс), ожидаемые СКП получаемых значений РНП ($m_{ср1,2} = 90$ м). Вводим в ЦВУ координаты, СКП счислимого места корабля и полученные значения РНП.

2. Решая задачу вычисления элементов двух линий положения (задача 1), получаем: $n_1 = 1324,9$ м, $\tau_1 = 257^\circ 40' 55,7''$, $n_2 = 426,5$ м, $\tau_2 = 180^\circ 19' 59,3''$.

3. Решая задачу вычисления обсервованных координат и оценки точности определения места (задача 6), находим обсервованные координаты корабля $\varphi_0 = 65^\circ 49' 46,4'' N$, $\lambda_0 = 5^\circ 21' 39,5'' W$, значения полуосей эллипса погрешностей и его ориентировку: $a = 109$ м, $b = 46$ м, $A_b = 3^\circ 06' 47,4''$, здесь A_b — азимут малой оси.

СКП обсервованного места корабля $M_0 = 118$ м $\approx 0,65$ кбт.

4. Задаем в ЦВУ темп съема отсчетов — 120 сек и переключаем ЦВУ на решение задачи периодических обсерваций (задача 11).

Включаем съем отсчетов РНП и в дальнейшем считываем обсервованные координаты места корабля с табло ЦВУ через каждые 2 мин.

5. По мере перемещения корабля в рабочей зоне РНС, периодически нажимаем клавишу M_0 , получаем на табло значение изменяющейся СКП обсервованного места.

При переходе к обсервационному счислению результаты первой обсервации в навигационном журнале записываются по общим правилам, установленным для РНС, затем производится запись о переходе на обсервационное счисление с указанием названия цепи РНС, обозначения используемых станций и заданного интервала обсерваций.

Если используется автоматическая регистрация параметров, в навигационный журнал следует записать тип регистрирующего устройства.

В дальнейшем результаты автоматических обсерваций записываются во всех случаях, когда полагается фиксировать место корабля, а также при изменении курса, скорости хода, вводе новых значений поправок, при изменении режима работы приемоиндикатора РНС и в начале каждого часа.

Б. При работе на навигационной карте-сетке (рис. 20.3.1).

1. По каталогу карт и книг (адм. № 7203) определяем, что для пар W и Z изданы Таблицы для определения места судна при помощи РНС Лоран-С (адм. № 8249, 8247).

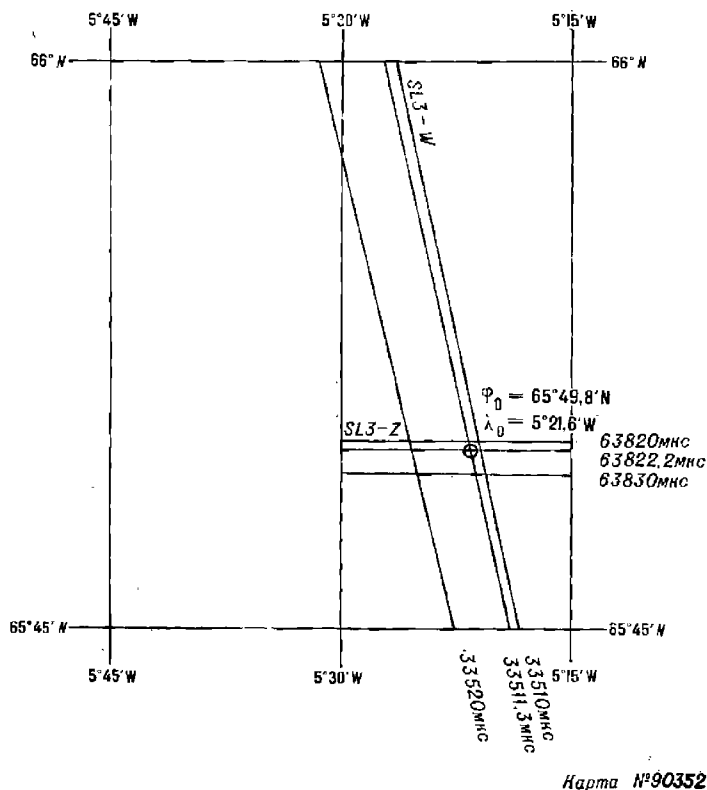


Рис. 20.3.1

2. Поскольку поправки поверхностных сигналов для пар станций Лоран-С 7970-W и 7970-Z не объявлены, отсчеты РНП исправления не требуют.

3. С помощью таблиц координат точек гипербол, помещенных в этих книгах, находим координаты точек пересечения линий положения с параллелями и меридианами в столбцах с табличными значениями РНП, ближайшими меньшими, чем измеренные.

Интерполируем на измеренные значения РНП, рассчитываем долготы точек пересечения I линий положения с параллелями (65°45' N и 66° N) и широты точек пересечения II линии положения с меридианами (5°30' W и 5°15' W). Результаты расчета сведены в табл. 19.3.

4. Полученные точки по координатам наносим на карту-сетку ($\varphi_{гн} = 65^\circ \text{ N}$, $M = 1 : 250\,000$, $C = 2,42 \cdot 10^3$).

5. Через нанесенные точки 1 и 2, 3 и 4 проводим линии положения и в точке их пересечения находим наблюдаемое место корабля: $\varphi_0 = 65^\circ 49,8' \text{ N}$, $\lambda_0 = 5^\circ 21,6' \text{ W}$.

6. Построив на этой же карте отрезки изолиний для табличных значений РНП 63 820 и 63 830 мкс, 33 510 и 33 520 мкс, измеряем расстояния между ними ($l_1 = 13,0 \text{ мм}$, $l_2 = 6,2 \text{ мм}$, $b_{N_1} = b_{N_2} = 10 \text{ мкс}$, $\gamma_1 = \gamma_2 = 300 \text{ м/мкс}$) и вычисляем градиенты линий положения: $g_{ли_1} = 0,95$, $g_{ли_2} = 2,0$.

7. Измеряем на карте угол пересечения линий положения $\theta = 77^\circ$ и рассчитываем СКП наблюдаемого места корабля: $M_0 = 206 \text{ м} \approx 1,1 \text{ кбт}$.

Таблица 19.3

$u_{н1} = 33\ 511,3$ мкс

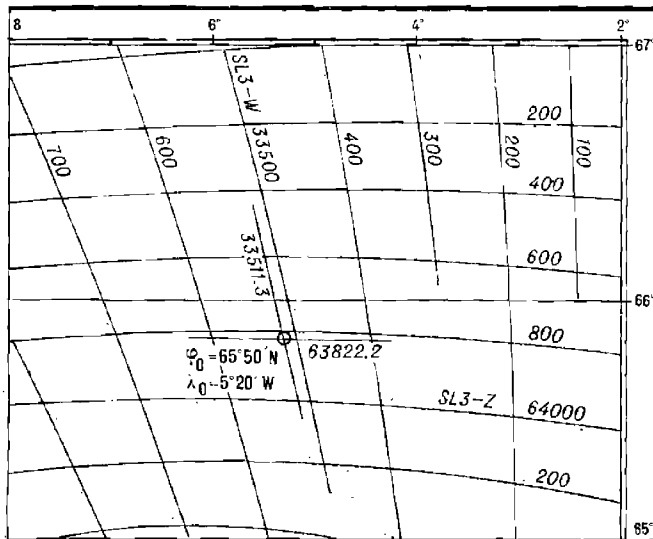
$u_{-1} = 33\ 510,0$ мкс

Номер точки	Широта точки	Табличная долгота	Δ	$u_{н} - u_{т}$	$(u_{н} - u_{т}) \Delta$	Долгота точки
1	$\varphi_1 = 65^{\circ}45' N$	$\lambda_1 = 5^{\circ}18,4' W$	+0,46'	1,3	+0,6'	$\lambda_1 = 5^{\circ}19,0' W$
2	$\varphi_2 = 66^{\circ}00' N$	$\lambda_2 = 5^{\circ}26,5' W$	+0,48'	1,3	+0,6'	$\lambda_2 = 5^{\circ}27,1' W$

$u_{н2} = 63\ 822,2$ мкс

$u_{-2} = 63\ 820,0$ мкс

Номер точки	Долгота точки	Табличная широта	Δ	$u_{н} - u_{т}$	$(u_{н} - u_{т}) \Delta$	Широта точки
1	$\lambda_1 = 5^{\circ}30' W$	$\varphi_1 = 65^{\circ}49,9' N$	-0,08'	2,2	-0,2'	$\varphi_1 = 65^{\circ}49,7' N$
2	$\lambda_2 = 5^{\circ}15' W$	$\varphi_2 = 65^{\circ}49,9' N$	-0,08'	2,2	-0,2'	$\varphi_2 = 65^{\circ}49,7' N$



Карта №10113-LC

Рис. 20.3.2

В. При работе на радионавигационной карте с сеткой гипербол (рис. 20.3.2).

1. Интерполируя промежутки между изолиниями между изолиниями 33 500 и 33 600 мкс на отсчет 33 511,3 мкс и между изолиниями 63 800 и 64 000 мкс на отсчет 63 822,2 мкс, вблизи счислимого места прочерчиваем линии положения корабля и в точке их пересечения находим наблюдаемое место $\varphi_0 = 65^{\circ}50' N$, $\lambda_0 = 5^{\circ}20' W$. На широте $\varphi_0 = 65^{\circ}50' N$ знаменатель частного масштаба карты $C = 2,394 \cdot 10^6$.

2. Измеряем расстояния между соседними изолиниями на карте ($\delta_{N_1} = 100$ мкс, $l_1 = 15$ мм, $\delta_{N_2} = 200$ мкс, $l_2 = 12,5$ мм) и вычисляем градиенты линий положения: $g_{л1} = 0,95$, $g_{л2} = 2,00$.

3. Измеряем на карте угол между линиями положения $\theta = 77^{\circ}$ и по формуле (19.3.3) рассчитываем СКП наблюдаемого места $M_0 = 1740$ м $\approx 0,94$ мили.

Сравнение результатов решения примера по вариантам А, Б и В показывает, что погрешности графических построений существенно увеличивают СКП наблюдаемого места корабля, особенно при работе на картах мелкого масштаба.

§ 20.4. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА КОРАБЛЯ С ПОМОЩЬЮ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СРЕДСТВ ПРИ УЧЕТЕ КОРРЕЛЯЦИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ

Корреляция погрешностей возникает при наличии в погрешностях измерений общих или происходящих от одних и тех же причин составляющих, например при существовании повторяющейся погрешности в ряду последовательных измерений или при одновременном воздействии возмущений на каналы измерений для нескольких линий положения.

Количественно корреляция выражается ее коэффициентом

$$r = \frac{m_{\text{общ}}^2}{m_{\text{полн}}^2} \text{ — при ряде измерений,} \quad (20.4.1)$$

$$r = \frac{m_{\text{общ}}^2}{m_{\text{полн1}} \cdot m_{\text{полн2}}} \text{ — для разных линий положения.} \quad (20.4.2)$$

Зависимость корреляции погрешностей одного и того же РНП от интервала времени между измерениями или пространственного разнеса точек измерений отражается временной или пространственной автокорреляционной функцией

$$r(\Delta t) \text{ или } r(S).$$

Существование автокорреляции погрешностей снижает эффективность осреднения серии измерений, так как при этом не уменьшается общая для всех измерений составляющая $m_{\text{общ}}$.

Корреляция погрешностей РНП для двух линий положения изменяет оценку точности обсерваций за счет появления в формуле дополнительного члена под знаком корня

$$M_0 = \frac{1}{\sin \theta} \sqrt{m_{\text{лп1}}^2 + m_{\text{лп2}}^2 - 2r m_{\text{лп1}} \cdot m_{\text{лп2}} \cdot \cos \Delta \tau}, \quad (20.4.3)$$

где $\Delta \tau$ — угол между направлениями градиентов обеих линий положения.

Особо следует отметить, что в наиболее распространенных случаях при $r > 0$ и $\Delta \tau > 90^\circ$ расчет СКП обсервованного места без учета корреляции приводит к занижению величины СКП места, т. е. к недооценке опасности. Например, при $r = 0,8$ и $\Delta \tau = 150^\circ$ занижение СКП составляет около 30 %.

При определении радиопеленгов на несколько радиомаяков в одной обсервации общей составляющей погрешностью является погрешность курсоуказания с $m_{\text{ИК}} = 0,4^\circ - 1,6^\circ$. Так как остальные составляющие СКП радиопеленга имеют в сумме величину:

- днем $m_{\text{РКУ}} = 0,6^\circ - 1,1^\circ$;
- ночью $m_{\text{РКУ}} = 0,7^\circ - 3,1^\circ$,

то коэффициент корреляции погрешностей радиопеленгов составляет

$$r = \frac{m_{\text{ИК}}^2}{m_{\text{РКУ}}^2 + m_{\text{ИК}}^2}.$$

т. е. $r_{\text{дн}} = 0,3 - 0,7$, $r_{\text{ночн}} = 0,2 - 0,3$.

Автокорреляция погрешностей серии радиопеленгов одного радиомаяка имеет при интервале времени между измерениями до 1 мин значения днем $r = 0,3 - 0,7$, ночью $r = 0,65 - 0,95$.

Эта корреляция уменьшается по мере роста интервала времени — днем через 10 мин $r = 0,2 - 0,4$, ночью через 3 мин $r = 0,2 - 0,25$.

Следовательно, осреднение серии радиопеленгов целесообразно выполнять при интервале времени между измерениями не менее 10 мин днем, 3 мин ночью.

Наиболее существенным источником погрешностей фазовых РНС, излучающих колебания сверхдлинноволнового диапазона, является нестабильность фазовой скорости радиоволн по трассам распространения. Эта нестабильность обусловлена главным образом отличием параметров, формирующих сферический волновод «Земля — ионосфера», от их значений, принятых для расчета радионавигационных карт и соответствующих таблиц поправок. По многочисленным данным, измерения, выполненные с помощью РНС «Омега» и исправленные прогнозируемыми поправками, характеризуются следующими величинами СКП измерений:

- днем $m_{\Delta\varphi} = 0,03—0,05$ ф. п.;
- ночью $m_{\Delta\varphi} = 0,05—0,07$ ф. п.;
- переходный период $m_{\Delta\varphi} = 0,07—0,15$ ф. п.

Учитывая, что $\lambda = 29,4$ км, получаем следующие значения СКП определения разности расстояний:

- днем $m_{\Delta S} = 0,5—0,8$ мили;
- ночью $m_{\Delta S} = 0,8—1,2$ мили;
- переходный период $m_{\Delta S} = 1,2—2,5$ мили.

Специфика распространения радиоволн очень низкой частоты обуславливает сильную автокорреляцию, временную и пространственную корреляции между погрешностями измерений.

Автокорреляция между погрешностями последовательных измерений по одной и той же паре станций затухает лишь на интервале 2—2,5 ч. Поэтому осреднение серии измерений не дает заметного выигрыша точности результатов, а оценка точности определения РНП по «разбросу» отсчетов оказывается заведомо неверной, так как не учитывает повторяющейся погрешности.

Сильная автокорреляционная связь между погрешностями последовательных измерений используется при работе РНС «Омега» совместно со спутниковыми средствами эпизодических высокоточных observations. Выполняя измерения РНП РНС «Омега» в моменты сеансов СНС, получают фактические поправки РНС «Омега», которые могут использоваться в течение времени, меньшем интервала корреляции. Такой метод использования РНС «Омега» получил название *квазидифференциального*.

Допустимая продолжительность времени использования фактических поправок зависит главным образом от времени суток и составляет 0,5—1,5 ч.

Коэффициент корреляции между погрешностями одновременных измерений по различным парам станций, включающим одну общую станцию, может иметь существенную величину, равную 0,6—0,8. Корреляция положительна, если места литеры общей станции в парах одинаковы (АВ, АЕ или АЕ, ВЕ), и отрицательна, если места литеры общей станции в парах разные (АВ, ВЕ).

Величина коэффициента корреляции может быть оценена по формуле

$$r = \frac{1}{\sqrt{\left[1 + \left(\frac{S_1}{S_0}\right)^2\right] \left[1 + \left(\frac{S_2}{S_0}\right)^2\right]}}, \quad (20.4.4)$$

где S_0, S_1, S_2 — длины трасс (расстояния до опорных станций).

Первая из них S_0 — общая для двух пар станций.

Если две пары станций не имеют общей станции, то $r \approx 0$.

Радиус пространственной корреляции погрешностей РНС «Омега» составляет примерно 250—300 миль, внутри этого района в данный момент поправки практически одинаковы. В центрах таких районов могут быть установлены посты, на которых фиксируются фактические значения поправок с последующей передачей их по радио для использования в пределах обозначенного района. Такой вариант работы системы получил название «дифференциальная «Омега».

С учетом изложенного точность определения места корабля, полученного по двум линиям положения РНС «Омега», характеризуется следующими значениями СКП:

- днем $M_0 = 1-2$ мили;
- ночью $M_0 = 2-3$ мили;
- переходный период $M_0 = 3-5$ миль.

При измерениях для 3—4 линий положения точность определения места корабля повышается в среднем на 25—50 %.

При определении места корабля с использованием фазовой РНС средней дальности действия в различных районах Мирового океана средняя квадратическая погрешность измерения разности фаз принимается равной:

- днем $m_{\Delta\varphi} = 0,05-0,07$ ф. ц.;
- ночью $m_{\Delta\varphi} = 0,1-0,15$ ф. ц.

С учетом реальных значений длины волны на частотах сравнения для различных пар станций РНС Декка на основании формулы $\Delta S = \lambda \Delta \varphi$ числовые значения СКП определения навигационного параметра представлены в табл. 20.4.1.

Таблица 20.4.1

Пара станций	Длина волны, м	СКП навигационного параметра, м	
		днем	ночью
Зеленая	1170	65—70	117—170
Красная	880	45—60	90—130
Фиолетовая	700	35—50	70—100

В среднем для дневных условий $m_{\Delta S} = 45-60$ м, для ночных — $m_{\Delta S} = 100-130$ м.

Погрешности фазовых РНС можно представить состоящими из случайных флюктуаций с различной продолжительностью. Низкочастотные составляющие в общей погрешности приводят к значительной автокорреляционной связи в серии последовательных измерений, что резко снижает эффективность осреднения результатов измерений, полученных на интервалах времени, меньших интервала корреляции ($t_{кор} \approx 15-30$ мин).

Осреднение измерений в этом случае способствует лишь выявлению промахов и повышает надежность разрешения многозначности. Корреляция погрешностей измерений, выполненных для разных линий положения РНС Декка, обусловлена главным образом вариациями фазовой скорости на общей трассе.

Величина коэффициента корреляции r РНС Декка для различных пар станций для дневных наблюдений может быть рассчитана по формуле

$$r = \frac{1}{\sqrt{\left[1 + 0,6 \left(\frac{S_{ВМ}}{S_{ВЩ}}\right)_{кр}^2\right] \left[1 + 0,4 \left(\frac{S_{ВМ}}{S_{ВЩ}}\right)_{зл, фл}^2\right]}}. \quad (20.4.5)$$

Из приведенной формулы видно, что корреляция погрешностей двух линий положения тем больше, чем больше расстояние корабля от ведущей станции. Так, например, если измерения проводились по «красной» и «зеленой» парам станций и расстояния до станций были равны $S_{ВМкр} = 150$ миль, $S_{ВЩ} = 100$ миль, $S_{ВМзл} = 150$ миль, то ожидаемый коэффициент корреляции равен

$$r = \frac{1}{\sqrt{\left[1 + 0,6 \left(\frac{150}{100}\right)^2\right] \left[1 + 0,4 \left(\frac{150}{100}\right)^2\right]}} = 0,45.$$

Если $S_{ВЩ} = 150$ миль, то при прочих равных условиях $r = 0,8$. Расчет прогнозируемого коэффициента корреляции по формуле целесообразно проводить при подготовке к плаванию в определенных районах, а также при автоматизированной обработке информации на ЭВМ.

Ночью коэффициент корреляции погрешностей РНП двух пар станций РНС Декка, как правило, в 1,3—1,5 раза больше, чем днем, но не превышает величины 0,8.

Априорно значения коэффициентов корреляции погрешностей одновременных измерений по двум парам станций для РНС Декка принимаются равными:

- днем $r = 0,3—0,5$;
- ночью $r = 0,6—0,8$.

Как днем, так и ночью автокорреляция погрешностей измерения РНП сравнительно быстро затухает и становится пренебрежимо малой при интервале времени, равном 20—30 мин.

При использовании импульсных и импульсно-фазовых РНС время автокорреляции погрешностей РНП составляет 7—10 мин. Возможно осреднение нескольких отсчетов на интервале 5—7 мин, что повышает точность определения РНП на 30—40 % по сравнению с единичным измерением.

Коэффициент корреляции r погрешностей одновременных измерений по двум парам станций одной цепи не превышает 0,4—0,6. В обычных условиях $r \leq 0,3$. Взаимная корреляционная функция также быстро затухает и погрешности измерений, выполненных по двум парам станций с интервалом 3—5 мин, могут считаться независимыми. Погрешность от неучета корреляции при оценке точности места корабля не превышает 10—15 % величины этой погрешности.

Однако в случаях, когда в приемоиндикаторе реализуются фазовые измерения на значительных удалениях от ведущей станции, коэффициент корреляции достигает существенной величины ($r = 0,4—0,6$), и неучет корреляции погрешностей измерения приводит к ошибочной оценке СКП места. Это особенно недопустимо при $\Delta\tau > 90^\circ$, так как неучет взаимной корреляции способствует уменьшению величины СКП места.

Раздел VII
МОРСКАЯ АСТРОНАВИГАЦИЯ

Таблица 21.1.1

Сферические координаты светила

Основные термины, условия и элементы систем измерения	Система координат	
	связанная с местом наблюдателя на Земле	
	горизонтальная	первая экваториальная

не связанная с местом наблюдателя на Земле (вторая экваториальная)

Начальные координатные круги на вспомогательной небесной сфере (рис. 21.1.3)

Наименование	Истинный горизонт	Местный меридиан	Экватор	Местный или гринвичский меридиан	Экватор	Меридиан точки Овна (точка весеннего равноденствия)
--------------	-------------------	------------------	---------	----------------------------------	---------	---

Основные координаты (рис. 21.1.1—21.1.3)

Наименование и обозначение (рис. 21.1.1—21.1.3)	Высота h	Азимут A	Склонение δ	Местный часовой угол t_m или гринвичский часовой угол $t_{гр}$	Склонение δ	Звездное дополнение t^* или прямое восхождение α
Словесное определение — в пространных	Угол между плоскостью истинного горизонта и направлением на светило	Угол между плоскостью географического меридиана и плоскостью вертикала	Угол между плоскостью экватора и направлением на светило	Угол между плоскостью начального меридиана и плоскостью светила	Угол между плоскостью экватора и направлением на светило	Угол между плоскостью меридиана точки Овна и плоскостью меридиана светила
— на вспомогательной небесной сфере	Дуга вертикала от горизонта до видимого места светила	Дуга горизонта от местного меридиана до вертикала	Дуга меридиана от экватора до видимого места светила	Дуга экватора от начального меридиана до светила	Дуга меридиана от экватора до видимого места светила	Дуга экватора от точки Овна до меридиана светила

Продолжение табл. 21.1.1

Основные термины, условия и элементы систем измерений	Система координат					
	связанная с местом наблюдателя на Земле			связанная с местом наблюдателя на Земле (вторая экваториальная)		
	горизонтальная	первая экваториальная	горизонтальная	первая экваториальная	горизонтальная	вторая экваториальная
Единицы измерения	Дуговые	Дуговые	Дуговые	Дуговые (или временные)	Дуговые	Дуговые (или временные)
Система счета: а) высоты и склонения	\pm (0—90°) (от горизонта к зениту — знак \leftarrow →, от горизонта к надиру — знак \leftarrow →)	—	0—90° N или S (от экватора в сторону ближайшего от светила полюса, аналогично географической широте φ)	—	0—90° N или S (от экватора в сторону ближайшего от светила полюса, аналогично географической широте φ)	—
б) азимута, углов часового и звездного: — круговая	—	0—360° (от север к востоку). $A_{кр} = ИП$ (рис. 21.1.2)	—	0—360° — от полюсной части начальной меридиана к западу (или 0—24 ^ч)	—	$\tau^* = 360^\circ - \alpha$ τ^* — от точки Овна в сторону счета западного часового угла в пределах 0—360° (или 0—24 ^ч) α — от точки Овна в сторону, обратную счету западного часового угла в пределах 0—360° (или 0—24 ^ч)

Продолжение табл. 21.1.1

Основные термины, условия и элементы систем измерений	Система координат			
	связанная с местом наблюдателя на Земле		первая экваториальная	
	горизонтальная	горизонтальная	горизонтальная	горизонтальная
— полуэллиптическая	0—180° (в северной широте от точки N; в южной широте от точки S) к востоку или к западу... A _n	0—180° (от полярной части начального меридиана к востоку или западу) $t_M^W = 360^\circ - t_M^W$ Примечание. На полярной части начального меридиана расположен зенит	—	Связь t и a, t и t^* $t^* = t^* + a^*$ $t^* = t^* + t^*$
— четвертная	0—90° (от N или от S) ... A _n	—	—	—
Наименование координат и систем счета	+h — высота —h — снижение	Круговая — ист. Полукруговая. N } в ° N к E N } в ° N к W S } в ° S к E S } в ° S к W Четвертная: NE; SE NW; SW	Северное N (+) или южное S (-) В некоторых задачах: +δ — одноименное с φ; —δ — разноименное с φ	Северное N (+) или южное S (-) В некоторых задачах: +δ — одноименное с φ; —δ — разноименное с φ

Продолжение табл. 21.1.1

		Система координат				
		связанная с местом наблюдателя на Земле		первая экваториальная	не связанная с местом наблюдателя на Земле (вторая экваториальная)	
		горизонтальная				
Основные термины, условия и элементы систем измерения						
Особые варианты измерения и пределы счета	<p>Меридиональная высота H — в момент кульминации; наименование — по точке горизонта под светлом. Меридиональное зенитное расстояние $Z = 90^\circ - H$; его наименование противоложительно высоте</p>	<p>$ИП = НК \pm КУ$, если $НК$ и $КУ$ измерены односторонне</p>	Нет	<p>Гринвичский часового угла $t_{гр}$ (аналогично географической долготе λ); дуга экватора от гринвичского меридиана ($\lambda = 0^\circ$) до меридиана светила. Всегда $t_{ж} = t_{гр} \pm \lambda_{ж}$</p>	Нет	Нет
Наименование и обозначение координат	Зенитное расстояние $z = 90^\circ - h$	—	Полярное расстояние $\Delta = 90^\circ - \delta$	—	Полярное расстояние $\Delta = 90^\circ - \delta$	—
Начало отсчета Пределы счета	Зенит $0-180^\circ$	—	Повышенный полюс $0-180^\circ$	—	Повышенный полюс $0-180^\circ$	—

Дополнительные координаты (рис. 21.1.1)

Продолжение табл. 21.1.1

Основные термины, условия и элементы систем измерений	Система координат					
	связанная с местом наблюдателя на Земле					
	горизонтальная	вертикальная	первая экваториальная	Меридиан	Параллель	Меридиан
Наименование круга, положение которого определяется координатой светила	Альмукатарат	Вертикал	Параллель	Меридиан	Параллель	Меридиан
Корабельные средства — измерений	АНС, перископ, секстан	АНС, перископ, визир; компас и пеленгатор	Нет	Нет	Нет	Нет
— вычислений	<p>Электронная клавишная вычислительная машина (ЭКВМ) «Слика»; штурманский вычислительный комплект (ШВК) «Электроника МК-52-Астро»; программный микрокалькулятор (ПКМ); таблицы: ВАС—58, ТВА—57, МТ—75; планисфера; звездный глобус</p> <p>ЭКВМ «Слика»; ШВК; ПКМ; Астронавигационный альманах; МАЕ — на момент $T_{гр} = T_1 + 4_4$ (см. гл. 23); планисфера; звездный глобус</p>					

Если из центра сферы смотреть на север, то точка востока E должна быть расположена справа.

§ 21.2. НАВИГАЦИОННЫЕ ЗВЕЗДЫ

Навигационными называются наиболее яркие звезды, наблюдения которых целесообразны для решения задач кораблевождения. В МАЕ даны координаты 160 навигационных звезд, в табл. 21.2.1 приведены координаты 40 чаще всего наблюдаемых звезд, их годовые изменения и некоторые другие характеристики.

Звезды, хорошо различимые в темную ночь невооруженным глазом (до четвертой звездной величины включительно), показаны на звездных картах, помещенных на заднем форзаце настоящей книги. В левой верхней части форзаца помещена северная полярная карта для склонений от $30^\circ N$ до $90^\circ N$ в азимутальной равнопромежуточной проекции, а в правой верхней части — южная полярная карта для склонений от $30^\circ S$ до $90^\circ S$; меридианы этих карт оцифрованы величинами звездных дополнений τ^* . Нижняя карта охватывает звездное небо между параллелями $60^\circ N$ и $60^\circ S$ и составлена в цилиндрической равнопромежуточной проекции; в верхней части карты меридианы оцифрованы величинами прямых восхождений α и западных часовых углов точки Овна t_{γ}^{∞} , а в нижней части — величинами звездных дополнений τ^* (звездных углов). Шкала прямых восхождений служит также для ориентирования карты по звездному времени наблюдений t_{γ}^{∞} , как это приведено в примере 21.2.1. Пунктирная кривая в экваториальной зоне карты изображает годовой путь Солнца на фоне созвездий — эклиптику. Конфигурации созвездий показаны мелким пунктиром. Точка Овна γ (точка весеннего равноденствия), которую Солнце проходит около 21 марта, имеет координаты $\delta = 0^\circ$ и $\alpha = 0^\circ$ ($\tau^* = 360^\circ$).

Навигационные звезды опознают по их положению в показанных на карте созвездиях, по их видимому блеску (относительной звездной величине m) и цвету. Относительная величина блеска звезды указана в табл. 21.2.1. Блеск $m=0$ имеет самая яркая звезда северного полушария звездного неба Вега (α Лиры) при нахождении ее в зените; при $m=1$ звезда имеет блеск в 2,5 раза слабее; например, Слика (α Девы); при $m=2$ звезда имеет блеск примерно в 6 раз слабее Веги; например, Дубхе (α Большой Медведицы). Светила, имеющие отрицательные m , ярче Веги: например, Сириус — самая яркая звезда на небе. По мере приближения к горизонту блеск светил уменьшается и к указанным в табл. 21.2.1 величинам m необходимо вводить поправки:

высота светила h	поправка к m
20°	+0,5
10	+1,0
5	+2,0
2	+6,0

Например, Полярная (α Малой Медведицы) согласно табл. 21.2.1 имеет $m=2,1$, но при ее высоте около 5° $m=2,1 + 2,0 = 4,1$ и звезда теряется из виду. В середине навигационных сумерек видны звезды при $m \leq 3$ и высоте более 10° , что необходимо иметь в виду при выборе звезд для наблюдений. Видимая невооруженным глазом на небосводе высота светила всегда кажется больше его истинной высоты на $10-20^\circ$, особенно вблизи горизонта.

Характеристика навигационных звезд

Собственное имя	Обозначение в созвездии	Блеск m	Цвет	τ_0^*	$\Delta\tau^*$	δ_0^*	$\Delta\delta^*$
1 Дубхе	α Большой Медведицы	2,0	т.-ж.	194,3300°	-0,0154°	61,8467° N	-0,0054°
2 Мерка	β Большой Медведицы	2,4	б	194,7950	-0,0150	56,4767 N	-0,0054
3 Фекда	γ Большой Медведицы	2,5	б	181,7633	-0,0131	53,7933 N	-0,0056
4 Мегрец	δ Большой Медведицы	3,4	б	176,3517	-0,0123	57,1317 N	-0,0056
5 Алиот	ϵ Большой Медведицы	1,7	б	166,6767	-0,0110	56,0550 N	-0,0054
6 Мицар	ζ Большой Медведицы	2,4	б	159,1850	-0,0100	55,0183 N	-0,0052
7 Бенетнаш	η Большой Медведицы	1,9	г.-б.	153,2783	-0,0098	49,4017 N	-0,0050
8 Полярная	α Малой Медведицы	2,1	ж.-б.	326,5183	-0,2008	89,1833 N	+0,0047
9 Кохаб	α Малой Медведицы	2,2	ж	137,3033	-0,0066	74,2283 N	-0,0041
10 Регул	α Льва	1,3	б.-ж.	208,1350	-0,0134	12,0517 N	-0,0049
11 Денебола	β Льва	2,2	б	182,9517	-0,0127	14,6683 N	-0,0056
12 Арктур	α Волопаса	0,2	о	146,2750	-0,0113	19,2717 N	-0,0052
13 Спика	α Девы	1,2	г.-б.	158,9233	-0,0132	11,0750 S	+0,0052
14 Вега	α Лиры	0,1	б	80,9017	-0,0085	38,7667 N	+0,0009
15 Денеб	α Лебедя	1,3	б	49,7800	-0,0085	45,2183 N	+0,0036
16 Альтаир	α Орла	0,9	б	62,5050	-0,0122	8,8233 N	+0,0026
17 Расальхаг	α Змееносца	2,1	б	96,4567	-0,0116	12,5717 N	-0,0007
18 Антарес	α Скорпиона	1,2	к	112,9017	-0,0153	26,3967 S	+0,0022
19 Шедар	α Кассиопеи	2,5	т.-ж.	350,1150	-0,0142	56,4400 N	+0,0055
20 Кафф	β Кассиопеи	2,4	ж.-б.	357,9317	-0,0131	59,0517 N	+0,0056
21 Маркаб	α Пегаса	2,6	б	14,0183	-0,0125	15,1133 N	+0,0054
22 Севт	β Пегаса	2—3	о	14,2583	-0,0121	17,9883 N	+0,0054
23 Альгениб	γ Пегаса	2,9	г.-б.	356,9083	-0,0129	15,0883 N	+0,0056
24 Альферас	α Андромеды	2,2	б	358,1217	-0,0129	28,9950 N	+0,0056
25 Мирах	β Андромеды	2,4	о	342,8050	-0,0140	35,5283 N	+0,0053
26 Аламак	γ Андромеды	2,3	т.-ж.	329,2883	-0,0154	42,2467 N	+0,0048
27 Мирфак	α Персея	1,9	ж	309,2283	-0,0179	49,8000 N	+0,0035
28 Капелла	α Возничего	0,2	ж	281,1467	-0,0184	45,9817 N	+0,0011
29 Хамаль	α Овна	2,2	к.-ж.	328,4467	-0,0141	23,3817 N	+0,0047
30 Бетельгейзе	α Ориона	0—1	о	271,4417	-0,0135	7,4050 S	+0,0001
31 Ригель	β Ориона	0,3	б	281,5733	-0,0120	8,2200 S	-0,0011
32 Альдебаран	α Тельца	1,1	о	291,2667	-0,0143	16,4767 N	+0,0020
33 Сирнус	α Большого Пса	-1,6	б	258,9050	-0,0111	16,6933 S	+0,0011
34 Кастор	α Близнецов	2,0	б	246,5950	-0,0159	31,9267 N	-0,0023
35 Поллукс	β Близнецов	1,2	о	243,9350	-0,0153	28,0683 N	-0,0025
36 Прокцион	α Малого Пса	0,5	ж	245,4000	-0,0131	5,2683 N	-0,0023
37 Фомальхаут	α Южной Рыбы	1,3	б	15,8167	-0,0137	29,7083 S	-0,0054
38 Альфакка	α Северной Короны	2,3	б	126,5017	-0,0106	26,7733 N	-0,0031
39 Дифда	β Кита	2,2	о	349,3150	-0,0125	18,0767 S	-0,0055
40 Альфард	α Гидры	2,2	о	218,3150	-0,0123	8,5850 S	+0,0044

Примечания: 1. Координаты звезд даны на 1 июля 1983 г.; в другие месяцы года они отличаются до $0,0083^\circ$ ($0,5'$). Для текущего года τ^* и δ^* вычисляются с учетом их годовых изменений $\Delta\tau^*$ и $\Delta\delta^*$; знак $\Delta\delta^*$ указан для вычисления модуля склонения (без учета его наименования).

2. Обозначения цвета звезд: б — белый; б.-ж. — беловато-желтый; г — голубой; г.-б. — голубовато-белый; ж — желтый; ж.-б. — желтовато-белый; к — красный; к.-ж. — красновато-желтый; о — оранжевый; т.-ж. — темно-желтый.

Для опознавания звезд с помощью карты ее необходимо сориентировать по широте места наблюдателя, по направлению местного меридиана и по времени наблюдений.

Наметив судовое время T_c предстоящих звездных наблюдений, вычисляют среднее время T_m и на его основе — местное звездное время t_m^{\wedge} (пример 21.2.1). Для опознавания созвездий допустима погрешность расчета времени наблюдений около 30 мин $\approx 7,5^\circ$.

При работе с экваториальной картой находят по шкале прямых восхождений α тот ее меридиан, который соответствует величине t_m^{\wedge} (в нашем примере — меридиан 270°), и точку пересечения этого меридиана с экватором \mathcal{E} — полуденную точку. Ориентируясь по компасу, определяют направление полуденной линии NS и положение на небосводе местного небесного меридиана NZ \mathcal{E} S. Зенит места Z расположен на карте в точке пересечения меридиана t_m^{\wedge} и параллели, склонение которой равно географической широте места наблюдений.

Карту ориентируют так, чтобы ее меридиан t_m^{\wedge} , соответствующий вычисленному, совпал с направлением местного меридиана; при этом в северных широтах полуденная точка \mathcal{E} должна быть над точкой юга горизонта, а в южных широтах — над точкой севера. Над головой наблюдателя должно находиться созвездие, расположенное на карте вблизи намеченной точки зенита Z. Вследствие видимого суточного движения светил за каждый час картина звездного неба смещается в сторону запада на 15° (в направлении счета τ^*). Расстояние от горизонта до полуденной точки \mathcal{E} равно дополнению широты $\theta = 90^\circ - \varphi$.

Для опознавания околополярных созвездий по t_m^{\wedge} необходимо вначале вычислить звездное дополнение τ , полуденной точки \mathcal{E} : $\tau = 360^\circ - t_m^{\wedge}$. В примере 21.2.1: $\tau = 360^\circ - 270^\circ = 90^\circ$. По τ , на полярной карте находят меридиан, проходящий через повышенный полюс и зенит. Ориентируют карту так, чтобы повышенный полюс располагался над горизонтом на высоте, равной широте места наблюдений, а меридиан τ , прошел через зенит.

После ориентировки карты приступают к опознаванию созвездий и находящихся в них навигационных звезд. Планеты, перемещающиеся на фоне созвездий (§ 21.3), часто искажают конфигурацию последних, поэтому рекомендуется предварительно нанести на карту видимые места планет в день наблюдений.

Основные навигационные звезды быстрее можно отыскать по их расположению относительно нескольких легко опознаваемых опорных созвездий, если воспользоваться схемами-указателями навигационных звезд (рис. 21.2.1—21.2.4), на которых направление поиска звезд показано залитыми стрелками. Выбор схемы, соответствующей сезону года, производится с помощью табл. 21.2.2; аргументами для входа в таблицу служит среднее время T_m , вычисляемое по схеме примера 21.2.1, и дата наблюдений.

Если судовое время T_c точно соответствует поясному времени T_M в районе плавания, то для опознавания созвездий можно принять $T_c \approx T_M$.

В северных широтах при вечерних наблюдениях созвездия опознают, используя:

а) *осенью* — рис. 21.2.1 ($t_m^{\wedge} = 0^\circ$, точка Овна совпадает с полуденной точкой \mathcal{E} на экваторе).

Созвездие Кассиопеи проходит верхнюю кульминацию. Относительно звезды Полярной и звезды Кафф (β Кассиопеи) определяются: созвез-

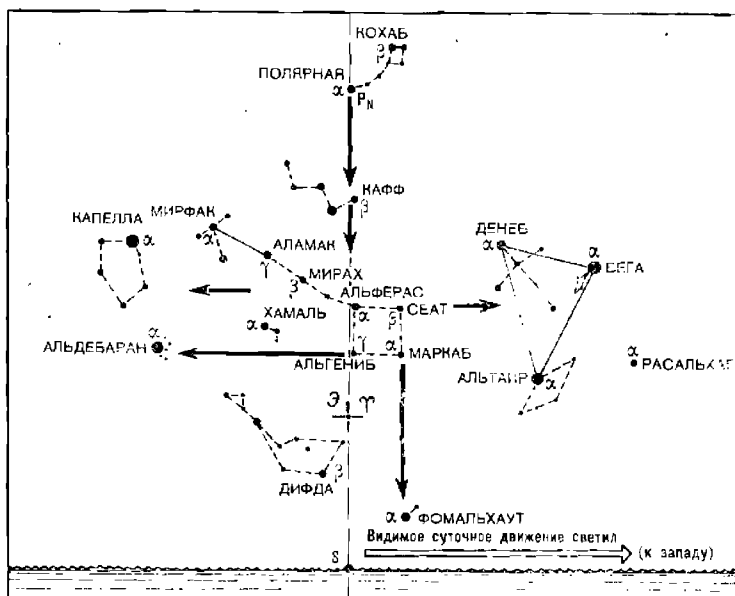


Рис. 21.2.1

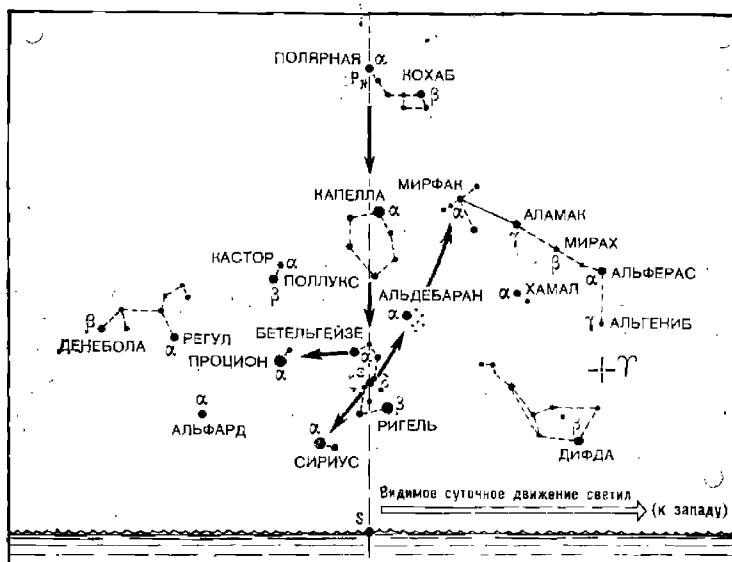


Рис. 21.2.2

дие Пегаса — в виде квадрата (навигационная звезда α Маркаб), созвездие Андромеды — в виде цепочки звезд (навигационная звезда

Таблица 21.2.2

Выбор сезонной схемы созвездий по времени суток, среднему времени T_M и календарной дате

Среднее время T_M		Номер рисунка, на котором изображена применяемая сезонная схема			
		21.2.3	21.2.4	21.2.1	21.2.2
Вечер	18 ^ч	22 июня	21 сентября	21 декабря	22 марта
	19	6 июня	5 сентября	6 декабря	7 марта
	20	22 мая	21 августа	20 ноября	19 февраля
	21	7 мая	6 августа	5 ноября	4 февраля
	22	21 апреля	22 июля	21 октября	20 января
Ночь	23 ^ч	6 апреля	6 июля	6 октября	5 января
	0	23 марта	22 июня	21 сентября	22 декабря
	1	7 марта	7 июня	6 сентября	6 декабря
Утро	2 ^ч	20 февраля	22 мая	22 августа	21 ноября
	3	5 февраля	7 мая	6 августа	6 ноября
	4	21 января	22 апреля	22 июля	21 октября
	5	5 января	7 апреля	7 июля	6 октября
	6	21 декабря	22 марта	22 июня	21 сентября
ζ_M^{\wedge}		180°	270°	0° (360°)	90°
• σ_3		180°	90°	360° (0°)	270°

α Альферас, входит в конфигурацию квадрата Пегаса), созвездие Персея, напоминающее условный знак самолета (навигационная звезда α Мирфак), созвездие Возничего — в виде пятиугольной чаши (яркая навигационная звезда α Капелла).

Между созвездиями Возничего и Пегаса расположено созвездие Овна (α Хамаль), западнее — созвездия Лебедя (α Денеб), Лиры (α Вега) и Орла (α Альтаир). В широтах $\varphi > 40^\circ$ N над точкой севера низко над горизонтом наблюдается Большая Медведица;

б) зимой — рис. 21.2.2 ($\zeta_M^{\wedge} = 90^\circ$). Созвездие Ориона (α Бетельгейзе; β Ригель) проходит верхнюю кульминацию и легко опознается; одновременно с ним кульминирует созвездие Возничего (α Капелла).

На продолжении направления «пояса Ориона», образованного его тремя рядом расположенными звездами $\zeta - \varepsilon - \delta$, со стороны созвездия Персея находится созвездие Тельца с яркой навигационной звездой α Альдебаран, в противоположном направлении — самая яркая звезда Сириус (α Большого Пса).

Посредине между Орионом и Б. Медведицей располагается созвездие Близнецов (навигационная звезда β Поллукс), а между Поллуксом и Сириусом — α Малого Пса (Процион).

На западной стороне небосвода расположены созвездия Персея, Андромеды, Пегаса, Овна. На северо-востоке видна Б. Медведица;

в) весной — рис. 21.2.3 ($t_M^{\gamma} = 180^{\circ}$). Созвездие Б. Медведицы проходит верхнюю кульминацию и наблюдается высоко над горизонтом. На продолжении направления α Б. Медведицы — β Б. Медведицы примерно на 40° видно созвездие Льва в «детском изображении»; здесь две навигационные звезды α Регул и β Денебола.

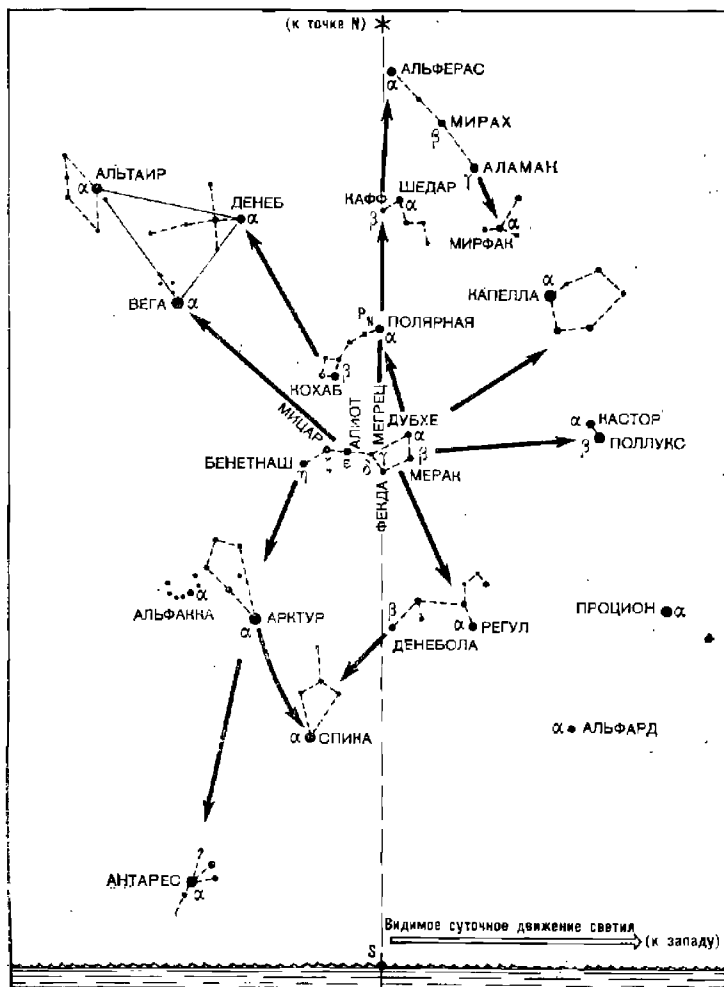


Рис. 21.2.3

На продолжении направления от звезды δ Б. Медведицы к звезде η Б. Медведицы примерно на 30° находится созвездие Волопаса, напоминающее парашютиста, с навигационной звездой α Арктур. На продолжении этого направления еще далее на таком же расстоянии обнаруживается созвездие Девы, а в нем — навигационная звезда α Спика;

г) летом — рис. 21.2.4 ($t_m^{\gamma} = 270^{\circ}$). Б. Медведица наблюдается на северо-западе, созвездие Волопас — на западе.

В направлении от звезды γ Б. Медведицы к звезде δ Б. Медведицы на расстоянии около 70° расположена группа звезд, наблюдаемая в северных широтах летом и именуемая «Летним треугольником». Этот треугольник образуют навигационные звезды: Вега (α Лиры), Денеб (α Лебеда — созвездия, имеющего вид большого креста), Альтаир (α Орла — созвездия, имеющего вид ромба).

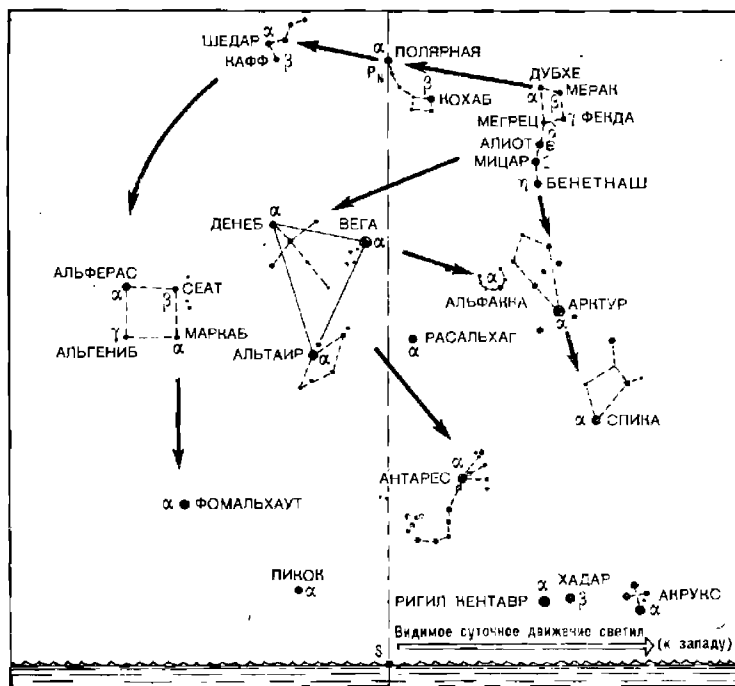


Рис. 21.2.4

По направлению «полета» Лебеда располагаются созвездие Змееносца (навигационная звезда α Расальхаг) и созвездие Скорпиона (яркая навигационная звезда α Антарес).

Масштабом для оценки угловых расстояний на небосводе при ориентировании среди созвездий может служить сантиметровая линейка: угол, под которым видна удерживаемая в вытянутой руке и перпендикулярная к ней линейка, содержит столько же градусов, сколько сантиметров в длине линейки.

Пример 21.2.1. 22 августа 1988 г. в Атлантическом океане (координаты места наблюдений $\varphi = 40^{\circ} \text{ N}$; $\lambda = 30^{\circ} \text{ W}$) на $T_c = 2^{\circ}$ намечены наблюдения звезд. Судовое время — московское летнее ($N_c = 4 \text{ E}$). Вычислить местное звездное время t_m^{γ} для ориентирования звездной карты; подобрать сезонную схему созвездий.

Решение. Последовательность решения и его результаты сведены в схему, представленную в таблице ниже.

Параметры и правила вычисления	Обозначение	Действия и результаты
1. Судовое время наблюдений	T_c	1988 г., август, 22 ^h 02 ^m 00 ^s
2. Номер часового пояса, принятый для счета T_c (восточный — отнять, западный — прибавить)	N_c	—4
3. Всемирное время наблюдений	$T_{гр}$	1988 г., август, 21 ^h 22 ^m 00 ^s
4. Долгота места (в часах) (восточную — прибавить, западную — отнять)	λ	$\lambda^\circ : 15^\circ = 30 : 15 = 2^\circ$
5. Среднее время	T_m	1988 г., август, 21 ^h 20 ^m 00 ^s
6. Среднее время (в градусной мере)	T_m°	$T_m^\circ \times 15^\circ = 300^\circ$
7. «Звездное число» из табл. 21.2.3 с учетом даты	R°	$309^\circ + 21^\circ = 330^\circ$
8. Местное звездное время (при необходимости отбросить 360°)	t_m°	$T_m^\circ + R^\circ = 300 + 330 - 360 = 270^\circ$
9. Ориентирование полярной карты	τ	$360^\circ - t_m^\circ = 90^\circ$

Примечание. Если T_c меньше N_c , то перед выполнением вычитания следует T_c увеличить на 24^ч и затем дату уменьшить на единицу. Если после сложения T_c и N_c получили $T_{гр}$ более 24^ч, то надо отбросить 24^ч и дату результата увеличить на единицу. Аналогичное правило применяется при вычислении T_m по заданным $T_{гр}$ и λ .

По табл. 21.2.2 по $T_m = 20^\circ$ находим, что наблюдениям 21 августа соответствует сезонная схема, изображенная на рис. 21.2.4.

На участке карты звездного неба (рис. 21.2.5) по шкале α находим меридиан $t_m^\circ = 270^\circ$ и видим, что при наблюдениях полуденная точка Э располагается у созвездия Змееносца и зенит Z — у созвездия Лиры. Полуденная точка будет находиться над точкой юга на высоте $90^\circ - \varphi = 50^\circ$. В данном месте теоретически не наблюдаются южные созвездия, звезды которых имеют склонения $\delta > 50^\circ S$; практически с учетом поглощения света атмосферой и снижения блеска звезд на малых высотах будут наблюдаться звезды при $\delta < 45^\circ S$.

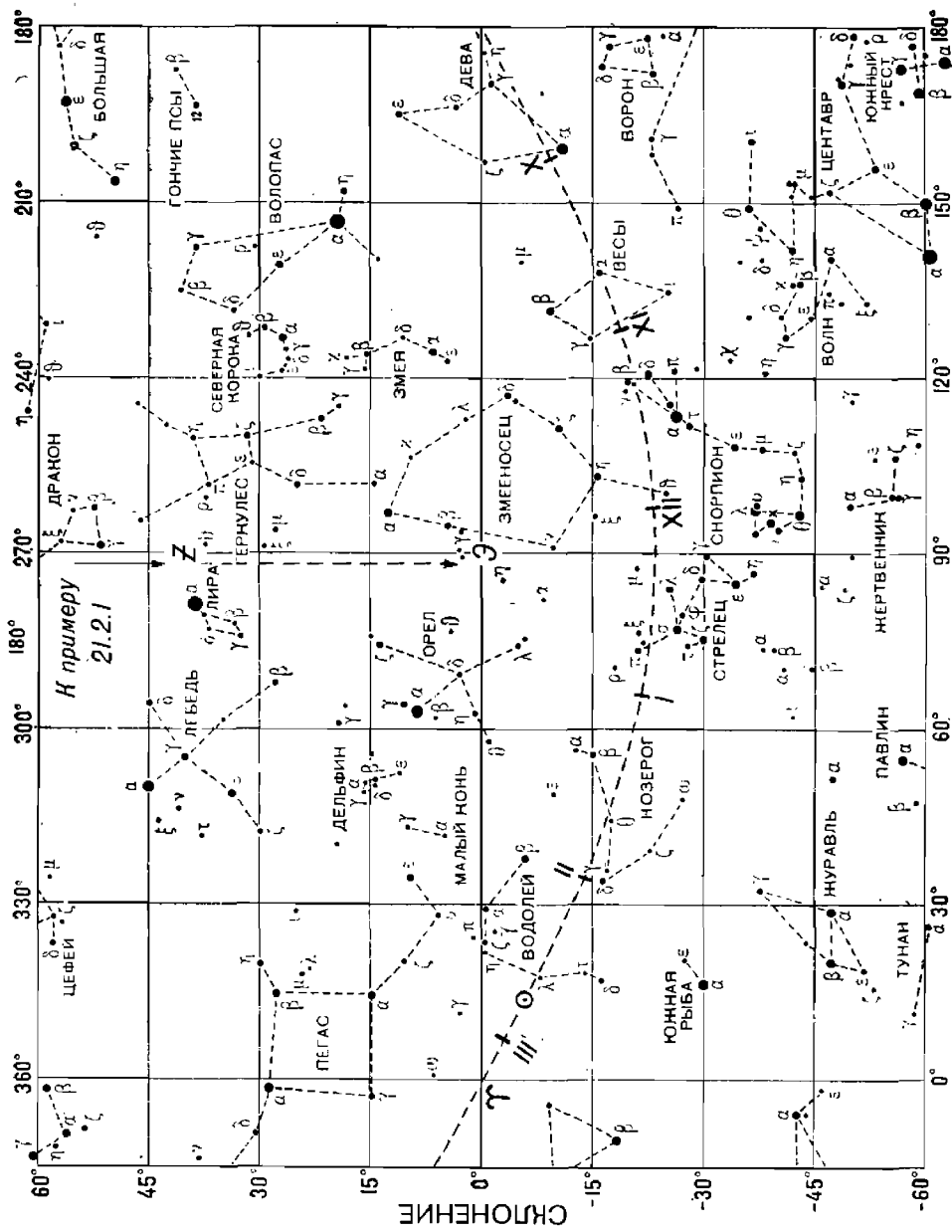
Таблица 21.2.3

«Звездное число» R для приближенного вычисления местного звездного времени t_m° по среднему времени T_m

$$(t_m^\circ = T_m^\circ + R)$$

Месяц	R°	Месяц	R°	Месяц	R°	Месяц	R°
Январь	100	Апрель	189	Июль	279	Октябрь	9
Февраль	131	Май	219	Август	309	Ноябрь	40
Март	158	Июнь	249	Сентябрь	340	Декабрь	70

Примечание. Величина R ($R = \alpha^\circ - 180^\circ$) дана на начало месяца. Каждые последующие сутки она увеличивается на 1° (4 мин). Для перевода T_m в градусную меру использовать соотношение $1 \text{ ч} = 15^\circ$.



· ЗВЕЗДНОЕ ДОПОЛНЕНИЕ (ЗВЕЗДНЫЙ УГОЛ)

§ 21.3. НАВИГАЦИОННЫЕ СВЕТИЛА СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Навигационное значение имеют наблюдения Солнца, Луны и четырех планет: Венеры, Марса, Юпитера и Сатурна. Вследствие годового обращения Земли вокруг Солнца и собственного движения тел Солнечной системы в пространстве эти светила имеют значительные собственные видимые движения на фоне созвездий; с течением времени значительно изменяются размеры их видимого диска и блеск, как это видно из табл. 21.3.1.

Видимые места Солнца, Луны и планет наносят на звездную карту или звездный глобус по вычисленным для заданного срока наблюдений величинам прямого восхождения α (или звездного дополнения τ^* и склонения δ . Для планет значения α и δ выбирают из ежедневных таблиц МАЕ по заданной дате. Для Солнца и Луны по данным МАЕ прямое восхождение вычисляют по формуле: $\alpha_{\text{гр}}^{\odot} = t_{\text{гр}}^{\Upsilon} - t_{\text{гр}}^{\odot}$, а склонение получают непосредственно из ежедневных таблиц. При этом координаты Солнца следует брать на середину суток, а координаты Луны вычислять на ближайший час $T_{\text{гр}}$.

Величины τ^{\odot} и δ^{\odot} можно также получить с высокой точностью по таблицам из § 23.3.

Приближенные значения α^{\odot} и δ^{\odot} на любую дату года вычисляют с помощью табл. 21.3.2, как это показано в примере 21.3.1. При этом прямое восхождение вычисляют от ближайшей к заданной дате известной величины $\alpha_{\text{т}}^{\odot}$, указанной в табл. 21.3.2, с учетом скорости его изменения (суточного изменения); склонение вычисляют также от ближайшей к заданной дате известной его величины с учетом знака и скорости его изменения. Указанными в табл. 21.3.2 суточными изменениями склонения можно пользоваться в течение 30 сут от дат равноденствий или солнцестояний; в прочих случаях принимают скорость изменения склонения равной $0,3^{\circ}/\text{сут}$.

Пример 21.3.1. Нанести видимое место Солнца на карту звездного неба для даты 4 марта.

Решение. Ближайшей датой в табл. 21.3.2 является 21 марта, до наступления которой остается: $21 - 4 = 17$ сут.

Прямое восхождение 21 марта	$\alpha_{\text{т}}^{\odot} = 0^{\circ} (360^{\circ})$
Его изменение за 17 сут	$17 \times 0,9^{\circ} = -15^{\circ}$
Прямое восхождение 4 марта	$\alpha^{\odot} = 345^{\circ} (\tau^{\odot} = 15^{\circ})$
Склонение 21 марта	$\delta_{\text{т}}^{\odot} = 0^{\circ}$
Его изменение за 17 сут	$17 \times 0,4^{\circ} = -6,8^{\circ}$
Склонение 4 марта	$\delta^{\odot} = 6,8^{\circ} \text{ S.}$

На карте звездного неба Солнце располагается в созвездии Водолея (рис. 21.2.5).

Условия наблюдений планет и Луны зависят от их освещенности Солнцем (рис. 21.3.1). Сроки наступления конфигураций планет указаны в МАЕ в разделе «Некоторые явления в Солнечной системе», а общая характеристика их видимости по месяцам — на стр. 24 в таблице «Видимость планет»; применительно к рис. 21.3.1 условия видимости планет в зависимости от конфигурации помещены в табл. 21.3.3.

Таблица 21.3.1

Сведения о Солнце, Луне и планетах, необходимые для навигации

Светило, его астрономический знак, обозначение цвета*	Наклонение орбиты к эклиптике**, градусы	Среднее угловое движение по орбите, углы/сут.	Звездный период обращения, тропический год	Видимый угловой диаметр, минуты дуги	Суточный паралакс, минуты дуги	Блеск		Наибольший предел изменения склонения***, градуса	Изменение за 1 ч				
						наименьший	наибольший		z	α		t	
										от	до		от
Солнце, ☉, ж	23,5	0,99	1,0	31,5—32,6	0,14—0,15	—	-26,7	±23°26,4'	±1,0'	+2,2'	+2,8'	14°59,7'	15°00,2'
Венера, ♀, б	3,4	1,60	0,6	0,2—1,1	0,1—0,5	-3,0	-4,3	±20°51'	±1,3	-1,7	+3,5	14 59,0	15 01,1
Марс, ♂, о	1,8	0,52	1,9	0,1—0,4	0,1—0,4	+1,6	-2,8	±25°18'	±0,8	-0,9	+2,1	15 00,4	15 03,4
Юпитер, ♃, ж	1,3	0,08	11,9	0,5—0,8	—	-1,9	-2,2	±24°45'	±0,2	-0,4	+0,6	15 01,8	15 02,8
Сатурн, ♄, б	2,5	0,03	29,5	0,2—0,3	—	+1,5	-0,4	±25°56'	±0,1	-0,2	+0,3	15 02,1	15 02,7
Луна, ☾, ж	5,1	13,2	27,3	29,3—33,5	54—62	—	-12,7	±28°36'	±17,2	+25,0	+44,0	14 19,0	14 37,5

* Обозначение цвета аналогично обозначению в табл. 21.2.1.

** Угол между плоскостью эклиптики (видимого пути Солнца среди звезд на небесной сфере) и плоскостью экватора.

*** При совпадении восходящего узла орбиты с точкой Овна.

Таблица 21.3.2

Основные значения координат Солнца в течение года

Астрономическое явление в северных широтах	Календарная дата	Точка эклиптики (знак Зодиака)	Суточная параллель	δ_{\odot}	$\frac{\alpha_{\odot}}{\tau_{\odot}}$	Суточное изменение	
						$\Delta\delta_{\odot}$	$\Delta\alpha_{\odot}$
Весеннее равноденствие	21 марта	Υ (Овен)	Экватор	0°	$\frac{0^{\circ} (0^{\text{ч}})}{(360^{\circ})}$	0,4°	0,9°
Летнее солнцестояние	22 июня	♋ (Рак)	Тропик Рака	23,5 N	$\frac{90^{\circ} (6^{\text{ч}})}{(270^{\circ})}$	0,0	1,0
Осеннее равноденствие	23 сентября	♎ (Весы)	Экватор	0	$\frac{180^{\circ} (12^{\text{ч}})}{(180^{\circ})}$	0,4	0,9
Зимнее солнцестояние	22 декабря	♏ (Козерог)	Тропик Козерога	23,5 S	$\frac{270^{\circ} (18^{\text{ч}})}{(90^{\circ})}$	0,0	1,1

Таблица 21.3.3

Планета	Позиция на рис. 21.3.1			
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>v</i>	<i>g</i>
Венера, \ominus	Верхнее соединение, скрыта в лучах Солнца	Восточная элонгация, видна вечером на западе	Нижнее соединение, скрыта в лучах Солнца	Западная элонгация, видна утром на востоке
Марс, $\♂$ Юпитер, $\♃$ Сатурн, $\♄$	Соединение, скрыта в лучах Солнца	Восточная квадратура, видна первую половину ночи на западе	Противостояние, видна всю ночь	Западная квадратура, видна вторую половину ночи на востоке

Лунные явления, представляющие интерес для навигации, характеризуются табл. 21.3.4 и рис. 21.3.1. Аргументом для оценки ожидаемых лунных явлений служит возраст Луны B^D — количество суток, прошедших после очередного новолуния. Возраст Луны указан на каждый день в МАЕ; приближенно его можно найти по формуле

$$B^D = D + M + L, \quad (21.3.1)$$

где D — календарная дата;

M — порядковый номер месяца в году;

L — «лунное число» из табл. 21.3.5 (оно ежегодно увеличивается на 11).

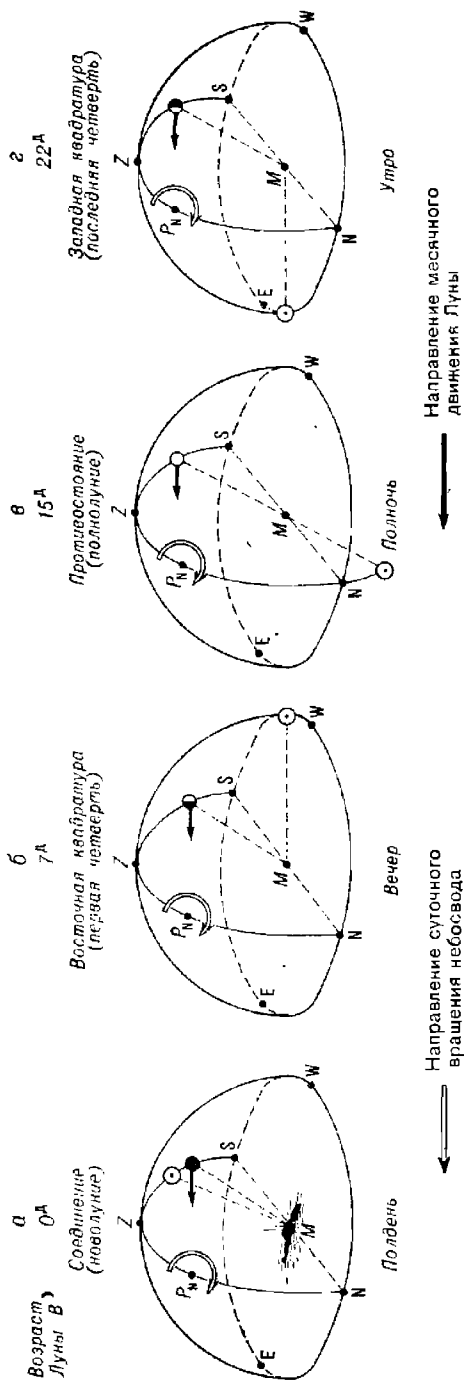


Рис. 21.3.1

Таблица 21.3.4

Лунные явления

Позиция на рис. 21.3.1	а	б	в	г	д	е	ж
Возраст Луны В, сут	0	4	7	11	15	19	22
Фаза (конфигурация)	Новолуние (сизигия, соединение)	В первой четверти	Первая четверть (восточная квадратура)	Во второй четверти	Полнолуние (сизигия, противостояние)	В третьей четверти	Последняя четверть (западная квадратура)
Период видимости	Несвидима	—	Вечер	—	Ночь	—	Утро
Лунная освещенность ночью	Несудовопригодная	—	Удовлетворительная	—	Хорошая	—	Удовлетворительная
Среднее время верхней кульминации Т _м , ч	12	15	18	21	0	3	6
Условия определения места по Солнцу и Луне	Нет	Удовлетворительные	Хорошие	Удовлетворительные	Нет	Удовлетворительные	Хорошие
Величина прилива	Максимальная	—	Минимальная	—	Максимальная	—	Минимальная

Таблица 21.3.5

Лунное число Л

Год	Лунное число Л			
	1988	1989	1990	1991
Л, сут	9	20	0	11
				22

Пример 21.3.2. Ориентировочно оценить лунные явления на дату 15 июня 1989 г. Решение. Возраст Луны на 15 июня 1989 г. $B^D = 15 + 6 + 20 = 41 - 30 = 11$ сут (при $B^D > 30$ сут длительность месяца отбрасывается).

Как следует из табл. 21.3.4, Луна будет наблюдаться во второй четверти в вечернее время суток, пройдет верхнюю кульминацию в $T_{\alpha} = 21^h$ и будет создавать значительную освещенность; возможны удовлетворительные условия для определения места корабля по совместным наблюдениям Луны и Солнца (они уточняются в зависимости от величины склонения Луны и широты места корабля); ожидаются значительные приливные явления.

Более детально оценка условий наблюдений светил изложена в § 22.2.

§ 21.4. ОЦЕНКА ВИДИМОГО ДВИЖЕНИЯ СВЕТИЛ В РАЙОНЕ ПЛАВАНИЯ

Составным элементом изучения астронавигационной обстановки в районе плавания является оценка видимого движения светил.

Видимое движение светил в районе плавания происходит по их суточным параллелям, определяется географической широтой корабля, склонениями светил и их расположением относительно Солнца в период наблюдений. Чем ближе светило расположено к Земле, тем значительнее его видимое суточное движение зависит от собственного движения светила среди созвездий, тем чаще повторяются близкие условия наблюдений этого светила.

Во время похода обычно требуется оценивать видимость светил в течение кратковременного пребывания корабля в заданном районе. При подготовке к походу необходимо оценивать видимость светил в предполагаемых районах плавания для более длительного периода времени, специально подбирать благоприятные астронавигационные условия для прохода заданных районов или для ведения боевых действий в их пределах.

Основными характеристиками видимого движения светила являются оценки существования следующих явлений:

1. Прохождение светилом истинного горизонта (восход и заход). Наблюдается при $\delta < 90^\circ - \varphi$; длительность пребывания над горизонтом равна $t_{\text{в}}^* + t_{\text{з}}^*$. Светило незаходящее, если $\delta > \varphi$ и они одноименны (например, δ и φ северные).

2. Прохождение светилом местного меридиана над горизонтом. Наблюдается на высоте $H = (90^\circ - \varphi) \pm \delta \frac{\text{одн}}{\text{разн}}$ (верхняя кульминация) или на высоте $H' = \varphi - (90^\circ - \delta)$ (нижняя кульминация). Условие прохождения светила через зенит: $\delta = \varphi$ и они одноименны.

3. Движение по азимуту. Светило проходит во всех четвертях горизонта (пересекая первый вертикал), если $\delta < \varphi$ и они одноименны. Светило проходит только в двух четвертях горизонта, одноименных с широтой, и имеет максимальный азимут в элонгации при $\delta > \varphi$ и одноименных. При φ и δ разноименных светило проходит в разноименных с φ четвертях горизонта.

Оценку видимого движения светил удобнее всего производить по стандартной схеме (табл. 21.4.1), используя при этом МАЕ, звездный глобус или планисферу (гл. 22). Поскольку эта оценка носит чаще всего ориентировочный характер, то координаты корабля и светила достаточно знать с точностью до $0,1-0,5^\circ$, а время — до одних суток или до нескольких часов. При необходимости «экспресс-оценки» астронавигационной обстановки можно воспользоваться даже чертежом небесной сферы и расчетами координат по приближенным правилам § 21.1—21.3.

Пример 21.4.1. Район: Атлантический океан. Дата: 11 октября 1983 г. Судовое время $T_c = 14^h$ ($N_c = 1 W$). Место корабля: $\varphi = 23,7^\circ N$; $\lambda = 20,0^\circ W$.

Дать оценку видимого суточного движения Солнца и Луны над горизонтом.

Последовательность действий и результаты решения приведены в табл. 21.4.1. Для ориентировочной оценки видимого суточного движения часовые углы светил удобнее выражать в часовой мере (пользуясь для их определения временной шкалой, нанесенной на экваторе звездного глобуса); координаты светил из МАЕ выбираются на середину суток.

Таблица 21.4.1

Наименование элемента или наблюдаемого явления	Формулы для вычисления и условные обозначения элементов	Значение элементов					
		для Солнца		для Луны			
1. Широта района плавания	φ	23,7° N		23,7° N			
2. Дополнение широты	$\theta = 90^\circ - \varphi$	66,3°		66,3°			
3. Гринвичское время для входа в МАЕ	$T_{гр} = T_c \mp N_{св}^E$	11 октября, 15 ^ч		11 октября, 15 ^ч			
4. Склонение (полярное расстояние) из МАЕ	δ (Δ)	6,9° S (96,9°)		23,7° S (113,7°)			
5. Прямое восхождение (звездный угол) из МАЕ	α (τ^τ)	196,3° (163,7°)		262,3° (97,7°)			
6. Возраст, конфигурация	B	—		4,5 сут. ☾			
		t_M^h	h°	$ИП^\circ$	t_M^h	h°	$ИП^\circ$

Прохождение горизонта

7. Восход	$\delta < \theta$	5,7 ^ч E	0	97	5,0 ^ч E	0	117
8. Заход	$\delta < \theta$	5,7 ^ч W	0	263	5,0 ^ч W	0	243
9. Длительность пребывания над горизонтом	$t_w + t_e$	11,4 ^ч		10,0 ^ч			

Прохождение местного меридиана над горизонтом

10. Кульминация верхняя	$H = \theta \pm \delta$	0	59,4 S	180	0	42,6 S	180
11. Кульминация нижняя	$H' = \varphi - \Delta$	Нет	—	—	—	—	—
12. Прохождение через зенит	$\delta = \varphi$ и одноименны	Нет	—	—	Нет	—	—

Продолжение табл. 21.4.1

Наименование элемента или наблюдаемого явления	Формулы для вычисления и условные обозначения элементов	Значение элементов			
		для Солнца		для Луны	

Движение по азимуту над горизонтом

13. Четверти горизонта		SE — SW		SE — SW	
14. Прохождение перного вертикала	$\delta < \varphi$ и одноименны	Нет	—	Нет	—
15. Элонгация	$\delta > \varphi$ и одноименны	Нет	—	Нет	—

Видимость в течение суток

16. Созвездие		Дева	Стрелец
17. Период суток		Весь день	От полудня до вечера
18. Создаваемая освещенность (звездная величина, фаза)	m, ϕ	—	$\phi = 0,3$ В первой четверти

ПОДГОТОВКА К АСТРОНАВИГАЦИОННЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ

§ 22.1. ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ АСТРОНАВИГАЦИОННЫХ СРЕДСТВ И МЕТОДОВ, ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ АСТРОНАВИГАЦИОННЫХ ОБСЕРВАЦИИ

В низких и умеренных широтах, используя навигационный секстан и оптический пеленгатор, при благоприятных условиях видимости светил можно получить:

— в утренние сумерки — обсервованное место и поправку компаса по наблюдениям звезд;

— в первой половине дня (утро — полдень) — обсервованное место по высотам Солнца, наблюдаемым одновременно; в некоторые даты возможны обсервации по одновременным наблюдениям Солнца и Луны, а также Венеры; утром можно определить поправку компаса по Солнцу;

— во второй половине дня (полдень — вечер) — обсервованное место по высотам Солнца, наблюдаемым одновременно; в некоторые даты возможны обсервации по одновременным наблюдениям Солнца и Луны, а также Венеры; вечером можно определить поправку компаса по Солнцу;

— в вечерние сумерки — обсервованное место и поправку компаса по наблюдениям звезд;

— ночью — поправку компаса по звездам.

При наличии астронавигационных систем сроки и возможности выполнения астронавигационных обсерваций значительно расширяются. Обсервации по одновременно наблюдаемым астронавигационным параметрам всегда предпочтительнее по точности результата, чем обсервации по разновременным наблюдаемым параметрам. Не следует отказываться от сочетания в одной обсервации астронавигационных и радионавигационных параметров. В плохих погодных условиях астронавигационный параметр измеряют при первой же возможности и используют его для уточнения счисления по одной линии положения.

Астронавигационное ориентирование является единственно надежным средством контроля счисления пути корабля при плавании с поврежденными техническими средствами навигации и на спасательных средствах; методы такого ориентирования изложены в гл. 33.

Астронавигационные задачи решаются быстро, точно и надежно при машинной обработке выполненных наблюдений. В настоящее время применяются электронная клавишная вычислительная машина (ЭКВМ) «Спика» и штурманский вычислительный комплект (ШВК) «Электроника МК-52 — Астро». Способы машинного решения приведены в специальных пособиях: «Астронавигационном альманахе на 1986—1990 гг.»,

№ 9009, ГУНиО МО, 1987 г. и «Методике обработки навигационных измерений с оценкой точности», № 9257, ГУНиО МО, 1985 г. с приложением Сборника программ СП-1—84. Подробные инструкции по применению этих вычислительных средств и пособий даны в их описаниях, поэтому ниже рассматриваются общие методические вопросы морской астронавигации и решение астронавигационных задач только в двух вариантах: первый — на программируемых микрокалькуляторах (ПМК) «Электроника БЗ-34, МК-54, -52» (и аналогичных им) с использованием Морского астрономического ежегодника и второй — по МАЕ в сочетании с таблицами ВАС—58 или ТВА—57. По мере внедрения вычислительной техники табличный способ становится резервным, необходимым только при выходе ее из строя, поэтому основное внимание уделено наиболее простому варианту табличного решения — методу перемещения счислимого места с использованием таблиц ВАС—58 по программированной схеме вычислений.

Использование ЭВМ или ПМК позволяет заранее оценить условия и предвидеть результаты астронавигационной обсервации, а в случае сомнительного результата — тут же повторить наблюдения и решить задачу заново.

Результаты астронавигационной обсервации будут наиболее точны и надежны, если она является итогом совместной работы группы офицеров в составе астрономического расчета, назначенного командиром корабля для совместного выполнения астронавигационных наблюдений и вычислений. Для предварительной ориентировочной оценки точности астронавигационной обсервации можно пользоваться табл. 22.1.1 и 22.1.2.

В зависимости от района плавания и ожидаемых условий обсервации с учетом данных табл. 22.1.1 вычисляют априорную полную среднюю квадратическую погрешность (СКП) $m_{\text{лп}}$ высотной линии положения по формуле

$$m_{\text{лп}} = \sqrt{\frac{m_{\text{ос}}^2}{N} + m_o^2 + m_{\text{сл}}^2}, \quad (22.1.1)$$

где $m_{\text{ос}}$ — СКП единичного отсчета секстана;

N — число выполненных измерений высоты светила;

m_o — среднее квадратическое значение повторяющейся погрешности;

$m_{\text{сл}}$ — СКП обработки результатов измерений с помощью таблиц; обычно $m_{\text{сл}} = 0,25'$.

В первом приближении можно учитывать величину $m_{\text{лп}}$, указанную в табл. 22.1.1.

С помощью табл. 22.1.2 оценивают ожидаемые СКП единичной обсервации M_o , полученной по двум, трем или четырем высотам светил*, и СКП определения вероятнейшего места M_v , выведенную путем обобщения результатов работы астрономического расчета. При составлении табл. 22.1.2 предполагалось, что наклонение горизонта измерено наклономером, учтена личная погрешность системы «Штурман — секстан» и, кроме того, при решении задачи двух одновременных высот счисление в интервале времени между наблюдениями высот было высокоточным. В случаях, когда эти условия не соблюдаются, необходимо оценивать СКП обсервации согласно приложению 3.

* Для обсервации, выполняемой по высотам двух, трех или четырех светил, в последующем изложении применяется сокращение: задача двух, трех или четырех высот соответственно.

Таблица 22.1.1

Характеристики точности высотных линий положения для различных условий астронавигационной обсервации

Условия астронавигационной обсервации	Средняя квадратическая погрешность, мили				Корреляционные характеристики	
	$m_{ос}$	m_0	$m_{лпс}$	$m_{лп}$	r_{xy}	k
Видимость горизонта: хорошая удовлетворительная	0,6	—	0,33	—	—	—
	1,3	—	0,65	—	—	—
В любых широтах при условии измерения наклоения d и определения личной поправки Δ_l	—	0,2—0,5	0,33—0,65	0,4—0,8	0,2—0,4	2—1,2
В низких и умеренных широтах без измерения d и определения Δ_l	—	0,5—1,5	0,33—0,65	0,6—1,6	0,7—0,9	0,6—0,3
В высоких широтах без измерения d и определения Δ_l	—	1,0—2,5	0,33—0,65	1,0—2,6	1,0—0,9	0—0,3

Примечания: 1. Обозначения, принятые в таблице:

$m_{ос}$ — СКП единичного отсчета секстана;

m_0 — среднее квадратическое значение повторяющейся погрешности;

$m_{лпс}$ — частная СКП высотной линии положения при условии исключения повторяющейся погрешности методом обработки измерений; $m_{лпс}$ выражается формулой

$$m_{лпс} = \sqrt{\frac{m_{ос}^2}{N} + m_{сл}^2}$$

$m_{лп}$ — суммарная (полная) СКП линии положения при 5 отсчетах секстана в серии измерений высоты светила.

2. Коэффициент корреляции r_{xy} линий положения и корреляционный фактор $k = m_{лпс}^2 / m_0^2$ используются при решении задач астронавигации на ПМК и ШВК.

Таблица 22.1.2

Ожидаемые средние квадратические погрешности астронавигационной обсервации M_0 и вероятнейшего места M_v при наивыгоднейших условиях ее проведения, мили

n	СКП высотной линии положения $m_{лп}$ ($m_{лпс}$), мили											
	0,4			0,6			0,8			1,0		
	Количество линий положения в одной обсервации											
	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4

Обсервация выполняется одним оператором

1 | 0,6 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,7 | 0,6 | 1,1 | 1,0 | 0,8 | 1,4 | 1,2 | 1,0

Обсервация выполняется астрономическим расчетом

2 | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,6 | 0,5 | 0,4 | 0,8 | 0,7 | 0,6 | 1,0 | 0,8 | 0,7

3 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,6 | 0,6 | 0,5 | 0,8 | 0,7 | 0,6

4 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,6 | 0,5 | 0,4 | 0,7 | 0,6 | 0,5

Примечания: 1. Буквой n в головке таблицы обозначено количество обсервованных мест, полученных операторами астрономического расчета (при условии независимости измерений).

2. В таблицу входят со значением полной СКП высотной линии положения $m_{лп}$ при решении задачи двух высот и со значениями частной СКП высотной линии положения $m_{лпс}$ при решении задачи трех высот и четырех высот.

Пример 22.1.1. Оценить возможную точность астронавигационной обсервации, выполняемой астрономическим расчетом в составе четырех операторов, при плавании в Карибском море. Условия наблюдений удовлетворительные, наклонение горизонта измерено, личная поправка определена.

Решение. Принимая, что при наблюдениях каждого светила измеряют по пять его высот и учитывая данные табл. 22.1.1, определяют:

- СКП единичного отсчета секстанта $m_{ос} = 1,3'$;
- среднее квадратическое значение повторяющейся погрешности $m_0 = 0,5'$;
- полную СКП высотной линии положения $m_{лп}$ по формуле (22.1.1):

$$m_{лп} = \sqrt{\frac{1,3^2}{5} + 0,5^2 + 0,25^2} = 0,8'$$

для оценки точности решения задачи двух высот;

- частную СКП высотной линии положения

$$m_{лпс} = \sqrt{\frac{1,3^2}{5} + 0,25^2} = 0,6'$$

для оценки точности решения задачи трех высот или четырех высот при исключении повторяющихся погрешностей методом обработки наблюдений.

Результаты вычислений (в милях) представлены в приводимой ниже таблице.

Задача	СКП обсервации, выполняемой	
	одним оператором	астрономическим расчетом в составе четырех операторов
двух высот (при $m_{лп} = 0,8'$)	1,1	0,6
трех высот (при $m_{лпс} = 0,6'$)	0,7	0,3
четырех высот (при $m_{лпс} = 0,6'$)	0,6	0,3

Вывод. В ожидаемых условиях оптимальна обсервация по высотам трех светил.

§ 22.2. ОЦЕНКА АСТРОНАВИГАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ В РАЙОНЕ ПЛАВАНИЯ

Под астронавигационной обстановкой понимается совокупность естественной освещенности небосвода и горизонта, общего характера расположения светил на небосводе и их видимого движения, паличие выгодной комбинации навигационных светил в назначенное время наблюдений. Оценка астронавигационной обстановки выполняется для решения поставленных перед кораблем задач и для навигационных целей. Она включает в себя вычисление времени прихода светила в заданное положение на небосводе, оптимальный выбор светил для астронавигационной обсервации, а также светила для определения поправки курсоуказателя. Эта оценка отображается в суточном бюллетене, составляемом по стандартной форме (табл. 9.7.4).

При предварительной оценке астронавигационной обстановки, на походе моменты судового времени наступления тех или иных астрономических явлений достаточно вычислять с точностью до 5 мин, а при окончательной оценке — с точностью до 1 мин.

Явления солнечной освещенности. Наиболее темная часть ночи наблюдается в момент нижней кульминации Солнца (положение 1 на рис. 22.2.1), когда его местный часовой угол $t_m^{\odot} = 180^\circ$; это явление называется истинной полночью. Наибольшая солнечная освещенность наблюдается в момент истинного полудня — при верхней кульминации Солнца, когда его местный часовой угол $t_m^{\odot} = 0^\circ$ (положение 5).

При прохождении Солнца между альмукантатами $h^{\odot} = -12^{\circ}$ и $h^{\odot} = -6^{\circ}$ наблюдаются навигационные сумерки — интервал времени, в течение которого навигационные звезды и видимый горизонт можно наблюдать совместно для целей астронавигации (положения 2 и 3). При прохождении Солнца между альмукантатами $h^{\odot} = -6^{\circ}$ и $h^{\odot} = -0,8^{\circ}$ наблюдаются гражданские сумерки (положения 3 и 4), в течение которых наблюдения навигационных звезд возможны только с помощью оптических труб и для их обнаружения требуется точное целеуказание по азимуту и высоте звезды. Длительность сумерек увеличивается по мере увеличения широты района плавания.

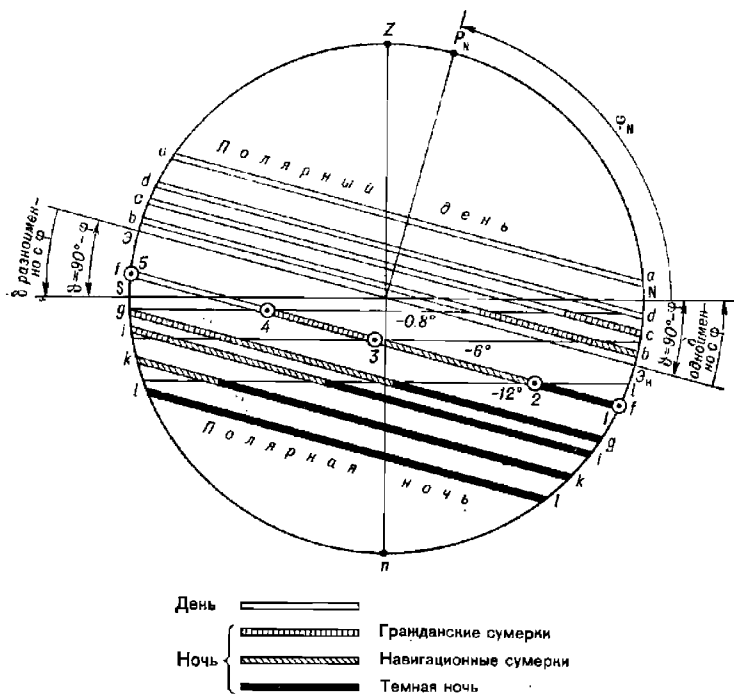


Рис. 22.2.1

Вследствие изменения склонения Солнца δ^{\odot} в течение года происходит непрерывное ежедневное изменение соотношения светлого и темного времени суток в большинстве географических районов. Освещенность горизонта неодинакова в одну и ту же дату на разных географических широтах.

Условия освещенности в зависимости от широты места φ и склонения δ^{\odot} Солнца приведены в табл. 22.2.1.

При необходимости ориентировочно оценить освещенность горизонта в заданном пункте в течение года удобно воспользоваться графиком склонений Солнца (рис. 22.2.2), отметив на нем ординаты для условий, представленных в табл. 22.2.1 формулами (22.2.1) — (22.2.10).

Таблица 22.1

Условия освещенности Солцем

Соотношение между δ^{\odot} и дополнением широты $\varphi = 90^{\circ} - \varphi$	Характеристика освещенности	Номер формулы
Широта места φ и склонение δ^{\odot} одноименны		
$\delta^{\odot} < \varphi - 12^{\circ}$ (см. рис. 22.2.1)	День и ночь, гражданские и навигационные сумерки; светлое время суток длитсьнее темного времени	22.2.1
$\varphi - 12^{\circ} < \delta^{\odot} < \varphi - 6^{\circ}$ (параллель <i>b-b</i>)	День и сумерки, длящиеся всю ночь	22.2.2
$\varphi - 6^{\circ} < \delta^{\odot} < \varphi - 0,8^{\circ}$ (параллель <i>c-c</i>)	День, сомкнувшиеся вечерние и утренние гражданские сумерки (белые ночи)	22.2.3
$\delta^{\odot} = \varphi - 0,8^{\circ}$ (параллель <i>d-d</i>)	Начало или окончание полярного дня, длящегося весь срок изменения δ^{\odot} от указанного до максимального и обратно	22.2.4
$\delta^{\odot} > \varphi - 0,8^{\circ}$ (параллель <i>a-a</i>)	Полярный день	22.2.5
Широта места φ и склонение δ^{\odot} разноименны		
$\delta^{\odot} < \varphi + 0,8^{\circ}$ (параллель <i>f-f</i>)	День и ночь, гражданские и навигационные сумерки; светлое время суток короче темного времени	22.2.6
$\delta^{\odot} = \varphi + 0,8^{\circ}$ (параллель <i>g-g</i>)	Ночь и сумерки; начало или конец полярной ночи	22.2.7
$\varphi + 0,8^{\circ} < \delta^{\odot} < \varphi + 6^{\circ}$ (параллель <i>l-l</i>)	Полярная ночь, включающая сумеречный день — сомкнувшиеся вечерние и утренние гражданские сумерки (белые ночи)	22.2.8
$\varphi + 6^{\circ} < \delta^{\odot} < \varphi + 12^{\circ}$ (параллель <i>k-k</i>)	Полярная ночь, включающая навигационные сумерки	22.2.9
$\delta^{\odot} > \varphi + 12^{\circ}$ (параллель <i>l-l</i>)	Полярная (темная) ночь	22.2.10

Примечание. Указанные в таблице условия соответствуют наблюдениям с уровня моря ($e = 0$) при значениях средней астрономической рефракции, принятом в МАЕ. В приполюсных районах гражданские и навигационные сумерки могут длиться по несколько суток подряд.

Пример 22.2.1. Оценить освещенность Солцем в течение года для пунктов, широта которых $\varphi = 75^{\circ}$ N.

Решение. Вычисляем правые части формул (22.2.1) — (22.2.10); их значение наносим в качестве ординат на график склонения Солнца (рис. 22.2.2) и с оси абсцисс считываем даты наступления и окончания интересующих нас явлений:

- полярный день длится с 28 апреля по 15 августа;
- белые ночи наблюдаются с 15 по 29 августа и с 13 по 28 апреля;
- сумеречные дни наблюдаются с 6 до 27 ноября и с 16 января по 6 февраля.

Явления лунной освещенности. Сведения о них содержатся в § 21.3 и 9.6. Условия видимости Луны оцениваются согласно § 21.4; в широтах более $61,4^{\circ}$ Луна в некоторые даты может непрерывно наблюдаться над горизонтом. В связи с быстрым изменением склонения Луны и ее фазы лунная освещенность значительно изменяется в течение месяца.

Вычисление судового времени наступления явлений освещенности с помощью ПМК. Суть решения заключается в вычислении момента

судового времени T_c , когда светило находится на одном из рассмотренных выше альмукантаратов или имеет заданный часовой угол (например, для Солнца в момент истинного полудня $t_M^{\odot} = 360^\circ$).

Исходными данными для решения задачи являются:

— географическая широта центральной точки рассматриваемого района плавания;

УСЛОВИЯ ОСВЕЩЕННОСТИ

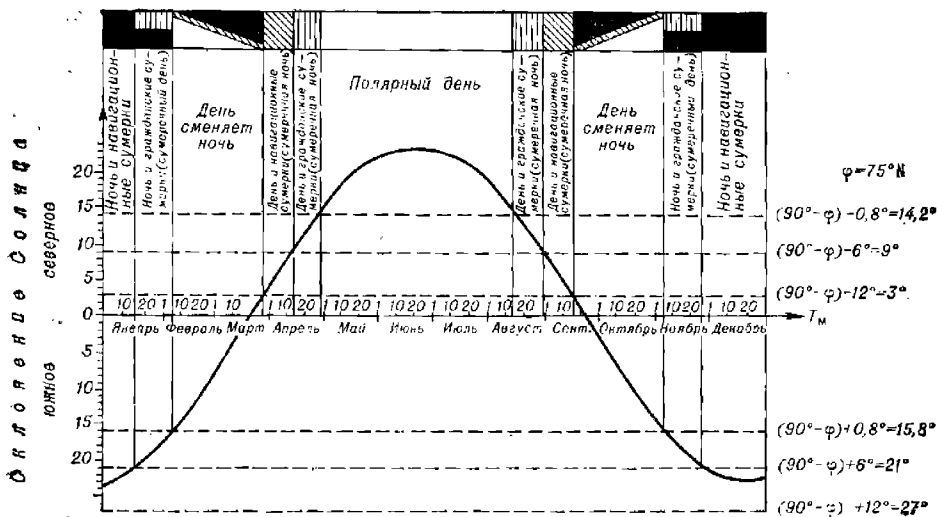


Рис. 22.2.2

— склонение δ_{00} светила, выбираемое из МАЕ на момент гринвичской полудни заданной даты;

— высота светила в момент наступления искомого явления освещенности.

Высота Солнца в момент восхода и захода его верхнего края для ввода ее в ПМК вычисляется по формуле

$$h^{\odot} = 0,0167 (-\Delta h'_d - \Delta h'_s + 0,2' - 16').$$

При наблюдениях с уровня моря и при среднем состоянии атмосферы принимают $h^{\odot} = -0,833^\circ$, а при средней высоте глаза наблюдателя $e = 12$ м принимают $h^{\odot} = -0,963^\circ$.

При восходе и заходе других светил принимают $h = 0^\circ$. В момент начала утренних гражданских сумерек и окончания вечерних гражданских сумерек высота Солнца $h^{\odot} = -6^\circ$. В момент начала утренних навигационных сумерек и окончания вечерних навигационных сумерек высота Солнца $h^{\odot} = -12^\circ$.

Решение начинается с вычисления местного часового угла светила в момент прихода его на заданную высоту:

$$t_M = \arccos \frac{\sin h - \sin \varphi \sin \delta_{00}}{\cos \varphi \cos \delta_{00}}. \quad (22.2.11)$$

По найденному t_m вычисляется приближенное всемирное время $T'_{гр}$ явления:

$$T'_{гр} = \frac{t_m - t_{00} - \lambda}{15^\circ + \frac{t_{24} - t_{00}}{24}}. \quad (22.2.12)$$

Приближенное $T'_{гр}$ исправляется поправкой за перемену склонения ΔT_δ за время $T'_{гр}$:

$$\Delta T_\delta = 0,0028 \text{ sec}^2 \delta_{00} \text{ tg } \varphi (\delta_{24} - \delta_{00}) \text{ cosec } t_m T'_{гр} \quad (22.2.13)$$

и находится судовое время T_c наступления явления:

$$T_c = T'_{гр} + \Delta T_\delta + N_c. \quad (22.2.14)$$

В формулах (22.2.12)—(22.2.14) обозначены:

- λ — географическая долгота центральной точки района;
- t_{00} — гринвичский часовой угол на начало суток (из МАЕ);
- t_{24} — гринвичский часовой угол на начало следующих суток (из МАЕ);
- δ_{24} — склонение на начало следующих суток ($T_{гр} = 24^h$ текущих суток, из МАЕ);
- N_c — номер часового пояса, принятый для счета T_c .

Судовое время верхней кульминации T_c^k вычисляется по формуле

$$T_c^k = \frac{360 - t_{00} - \lambda}{15 + \frac{t_{24} - t_{00}}{24}} + N_c. \quad (22.2.15)$$

Азимут восхода и захода светила для $h=0^\circ$ вычисляется по формуле

$$\cos A = \sec \varphi \sin \delta. \quad (22.2.16)$$

На основании приведенных выше формул составлена программа вычислений (применительно к ПМК «Электроника БЗ-34»), помещенная в табл. 22.2.2. Организация вычислений по этой программе с воспроизведением решения примера показана в табл. 22.2.3.

При вычислениях руководствуются следующими правилами:

- положительными величинами приняты северная широта, северное склонение, восточная долгота и восточный часовой пояс;
- отрицательными величинами приняты южная широта, южное склонение, западная долгота и западный часовой пояс;
- для явлений на восточной полусфере вводится в качестве признака любое положительное число по адресу ПЗ; для явлений на западной полусфере по этому же адресу вводится любое отрицательное число;

— если вычисленное T_c оказалось отрицательным или получилось более 24 ч, то в принятой на корабле системе счета судового времени искомое явление в заданную календарную дату не происходит.

После первого останова счета на табло и по адресу ИП4 находится судовое время наступления восхода, захода или сумерек.

После второго останова по адресу ИП1 хранится судовое время T_c верхней кульминации; на табло и по адресу ИП9 находится азимут восхода (захода) светила.

Для повторения вычислений необходимо заново ввести высоту светила и признак «восток — запад» по адресу ПЗ.

Таблица 22.2.2

Программа для вычисления судового времени T_c наступления явлений,
сопровождающих суточное движение светила

Адрес	Команда	Код	Адрес	Команда	Код	Адрес	Команда	Код
	В/ОФПРГ		33	ИП6	66	66	—	11
00	ИП1	61	34	—	11	67	ИП7	67
01	F sin	1C	35	ИП5	65	68	—	11
02	ИП8	68	36	+	10	69	ИП1	61
03	F cos	1Г	37	ИПА	6—	70	:	13
04	:	13	38	:	13	71	ИПД	6Г
05	ИП2	62	39	П1	41	72	+	10
06	F cos	1Г	40	:	13	73	П1	41
07	:	13	41	П9	49			
08	ИП8	68	42	↑	0E	74	ИПВ	6L
09	F tg	1E	43	ИПС	6C	75	ИП2	62
10	ИП2	62	44	×	12	76	—	11
11	F tg	1E	45	ИП2	62	77	ИПА	6—
12	×	12	46	F cos	1Г	78	:	13
13	—	11	47	F x ²	22	79	ИП9	69
14	F arccos	1—	48	:	13	80	×	12
15	П4	44	49	ИП8	68	81	ИП2	62
16	ИП3	63	50	F tg	1E	82	+	10
17	F x > 0	59	51	×	12	83	F sin	1C
18	23	23	52	ИПВ	6L	84	ИП8	68
19	ИП5	65	53	ИП2	62	85	F cos	1Г
20	ИП4	64	54	—	11	86	:	13
21	—	11	55	×	12	87	F arccos	1—
22	П4	44	56	ИП4	64	88	П9	49
23	ИП4	64	57	F sin	1C	89	ИП3	63
24	ИП6	66	58	:	13	90	F x < 0	5C
25	—	11	59	ИПД	6Г	91	96	96
26	F x < 0	5C	60	+	10	92	ИП5	65
27	30	30	61	+	10	93	ИП9	69
28	ИП5	65	62	П4	44	94	—	11
29	+	10	63	С/П	50	95	П9	49
30	ИП7	67				96	ИП9	69
31	—	11	64	ИП5	65	97	С/П	50
32	ИП0	60	65	ИП6	66		F АВТ	

Вычисления на ПМК следует начинать, предварительно убедившись в существовании рассматриваемого явления в заданном районе в заданную дату (табл. 21.4.1 и формулы 22.2.1—22.2.10).

Пример 22.2.2. 11 сентября. Карибское море. Координаты точки центра района $\varphi = 12^{\circ}30' N$, $\lambda = 76^{\circ}50' W$, $N_c = 5 W$, $e = 12$ м. Вычислить судовое время T_c и азимут.

мут восхода Солнца, судовое время T_c^K наступления полудня. Решение содержится в табл. 22.2.3.

Таблица 22.2.3

Аргументы, константы	Адрес	Информация (с решением примера)	
		исходная	итоговая
h	П1	-0,963	$T_c^K = 12,0676 = 12^h04^m$ (второй останов)
b_{00}	П2	4,8967	
признак	П3	+3	
0	П4	0	$T_c^{\odot} = 5,9330 = 05^h56^m$ (первый останов)
360	П5	360	
t_{00}	П6	180,7583	
λ	П7	-76,8333	
φ	П8	12,5	
0	П9	0	$ИП^{\odot} = 85,2^{\circ}$ (второй останов)
t_{24}	П0	180,845	
24	ПА	24	
b_{24}	ПВ	4,5183	
0,0028	ПС	0,0028	
N_c	ПД	-5	

Вычисление судового времени наступления явлений освещенности с помощью таблиц МАЕ и МТ—75. Программа вычисления с помощью этих таблиц для $\varphi < 74^{\circ} N$ и $\varphi < 60^{\circ} S$ приведена в табл. 9.7.1, а ее применение иллюстрируется примером 22.2.3.

Пример 22.2.3. Определить время наступления явлений освещенности 11 сентября в Карибском море в точке с координатами $\varphi = 12^{\circ}30' N$, $\lambda = 76^{\circ}50' W$. Судовое время по 5-му западному часовому поясу.

Решение содержится в табл. 22.2.4 и иллюстрируется рис. 22.2.3.

Оценка расположения светил на небосводе в заданный момент судового времени. Наиболее удобно и наглядно эта задача решается с помощью звездного глобуса (рис. 22.2.4), с меньшей наглядностью — с помощью карты звездного неба, помещенной на форзаце (§ 21.2).

Звездный глобус представляет собой механический моделирующий вычислительный прибор, воспроизводящий небесную сферу и предназначенный для приближенного решения задач морской астронавигации.

Звездный глобус обеспечивает переход от одной системы сферических координат к другой с погрешностью не более $1,5\text{--}2^{\circ}$ (во временной мере — не более 6—8 мин).

На поверхность глобуса нанесена экваториальная координатная сетка: параллели через 10° и меридианы через 15° . Началом шкал на экваторе является точка Овна, обозначенная отметкой 360° (XXIV^ч); экватор разделен от точки Овна на 360° (оцифровка дана через 10°) и на 24 ч (часы обозначены римскими цифрами, каждый час подразделен и оцифрован через 15, 30 и 45 мин). Отсчет по шкалам экватора непосредственно равен прямому восхождению соответствующего ему меридиана. Число, отсчитанное по шкале экватора под полуденной

Таблица 22.2.4

Решение примера по МАЕ

А. Оценка солнечной освещенности

Район: Карибское море $\varphi = 12^{\circ}30' N$; $\delta = 90^{\circ}$ — $\varphi = 77,5^{\circ}$; $\varphi_T = 10^{\circ}$; $\Delta\varphi = \varphi - \varphi_T = 2^{\circ}30'$
 Дата: 11 сентября $\lambda = 76^{\circ}50' W = 5^{\text{ч}}07^{\text{м}}$
 Судовое время: $N_c \pm \lambda = -5^{\text{ч}} + 5^{\text{ч}}07^{\text{м}} = +7^{\text{м}}$

Параметры и поправки	Нижняя суточная вычитка	Утренние навигационные сумерки			Восход		Подъем	Заход		Вечерние навигационные сумерки		
		Начало	Δ	Конец	Δ	Начало		Δ	Начало	Δ	Конец	Δ
T_T	23 ^ч 56 ^м	05 ^ч 04 ^м	—	05 ^ч 29 ^м	—	05 ^ч 50 ^м	11 ^ч 57 ^м	18 ^ч 04 ^м	—	18 ^ч 25 ^м	—	18 ^ч 49 ^м
ΔT_{δ}	—	0	0	0	0	0	—	—1	—1 ^м	—1	—1 ^м	—1 ^м
ΔT_{φ}	—	—2	—6 ^м	—2	—5 ^м	—1	—4 ^м	+1	+4	+2	+5	+2
ΔT_{λ}	—	—	—	—	—	0	0	0	—1	—	—	—
T_M	23 56	05 02	05 27	05 49	05 56	05 56	11 57	18 04	18 26	18 50	18 50	18 50
λ	+5 07	—	—	+5 07	—	—	+5 07	+5 07	—	—	—	—
T_{TP}	05 03	—	—	10 56	—	—	17 04	23 11	—	—	—	—
$N_c, N_c \pm \lambda$	—5	7 ^м	7 ^м	—5	—	—	—5	—5	7 ^м	7 ^м	7 ^м	7 ^м
T_c	00 03	05 09	05 34	05 56	—	—	12 04	18 11	18 33	18 57	18 57	18 57
δ	77,5°	—	—	—	—	—	77,5°	—	—	—	—	—
δ	N 4,8°	—	—	N 4,7°	—	—	N 4,6°	N 4,5°	—	—	—	—
h	—	—	—	—57,8'	—	—	82,1° S	—57,8'	—	—	—	—
$ИП$	—	—	—	85°	—	—	180°	275°	—	—	—	—

Обозначения: φ_T — широта, указанная в МАЕ;

ΔT_{δ} — поправка времени за дату наблюдений;

ΔT_{φ} — поправка времени за разность широт;

ΔT_{λ} — поправка времени за долготу.

Б. Оценка лунной освещенности

$\varphi_T = 10^\circ$	Нижняя кульминация		Восход		Верхняя кульминация		Заход	
		Δ		Δ		Δ		Δ
T_T	17 ^h 46 ^m	—	23 ^h 42 ^m	—	05 ^h 16 ^m	—	11 ^h 48 ^m	—
ΔT_φ	—	—	-6	-24	—	—	+6	+24
ΔT_λ	+12	+58	+11	+54	+12	+59	+13	+60
T_M	17 58		23 47		05 28		12 07	
λ	+5 07		+5 07		+5 07		+5 07	
$T_{гр}$	23 05		04 54		10 35		17 14	
N_c	-5 ^ч		-5 ^ч		-5 ^ч		-5 ^ч	
T_c	18 05		23 54		05 35		12 14	
ϑ	77,5°	—	77,5°	—	77,5°	—	77,5°	—
δ	N 27,3°	N 27,3°	N 27,3°	N 27,3°	N 27,0°	N 27,0°	N 27,2°	N 27,2°
h		0,0°	0,0°	0,0°	75,5° N	75,5° N	0,0°	0,0°
$ИП$		62°	62°	62°	0°	0°	298°	298°

В) . . . 23^ч

Ф) . . . ●

Примечание. График освещенности на сутки показан на рис. 22.2.3.

ГРАФИК ОСВЕЩЕННОСТИ НА СУТКИ

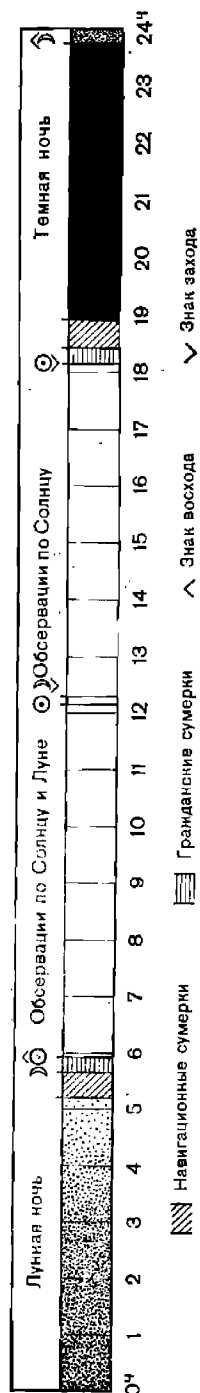


Рис. 22.2.3

частью меридианного кольца I , указывает величину местного часового угла точки Овна t_M^{Γ} (или, что одно и то же, местного звездного времени).

Для отсчета склонений используют шкалы градусных делений, помещенные на меридиане точки Овна и на меридианах с прямыми восхождениями $90, 180, 270^\circ$, а также на меридианном кольце.

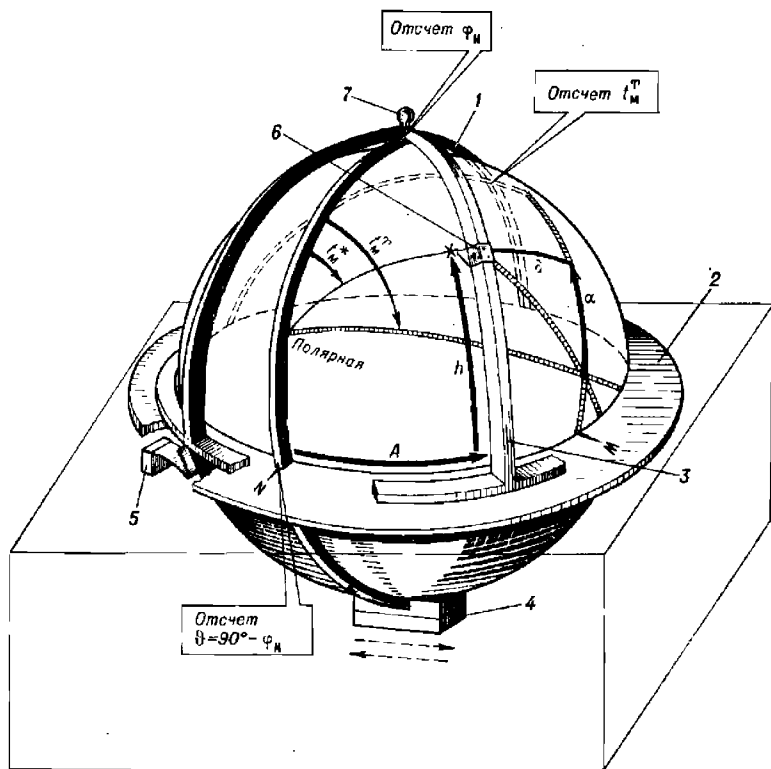


Рис. 22.2.4

На глобус нанесена эклиптика, разделенная на 360 частей; ее оцифровка дана через 10, 20, 30 делений и повторяется 12 раз (по числу календарных месяцев в году и с указанием их наименования).

На глобус нанесены те же 160 звезд, которые помещены в МАЕ; в северном полушарии нанесена 71 звезда, а в южном — 89 звезд. Они опознаются по наименованию созвездия и букве греческого алфавита, надписанной возле звезды (в затруднительных случаях для опознавания звезды на глобусе надо использовать ее склонение δ и прямое восхождение α , указанные в МАЕ). Положение северного полюса мира опознается по звезде Полярная, название которой нанесено на глобус. Если на глобус помещены латинские наименования созвездий, то переход к русским названиям созвездий и звезд производят по списку звезд, помещенному в МАЕ на последней странице и в приложении 6.

Блеск звезд оценивается по шкале условных обозначений m , помещенной в северном полушарии глобуса.

Положение Солнца, Луны и планет наносится на глобус мягким карандашом по их координатам δ и α , выбираемым из МАЕ на заданный момент судового времени наблюдений, переведенный во всемирное время $T_{\text{Гр}}$ по формуле (6.1.2) (пример 22.2.4 и табл. 22.2.5). Приближенным критерием правильности нанесения светила Солнечной системы на глобус служит его расположение относительно эклиптики: Солнце должно располагаться на эклиптике, а планеты — в непосредственной близости (до $3,5^\circ$) от нее.

Координаты звезд хотя и медленно, но все же изменяются с течением времени, поэтому срок службы звездного глобуса не превышает 30 лет от эпохи составления его звездной карты, указанной в формуляре прибора (при решении задач астронавигации с точностью до 1°).

Глобус вращается в меридианном кольце 1, изображающем небесный меридиан места наблюдений. Это кольцо располагается в пазах кольца 2, представляющего собой истинный горизонт наблюдателя, размеченный в круговой или в четвертной системе счета азимута. Крестовина 3 вертикалов позволяет устанавливать или отсчитывать высоты и азимуты светил; на двух вертикалах нанесены градусные деления для отсчета высот светил. Имеется также подвижный индекс 6 для отсчета высоты. Самопроизвольному проворачиванию глобуса препятствует пружинный тормоз 5, размещенный внутри футляра глобуса.

Перед применением звездный глобус должен быть выверен, а затем установлен в соответствии с местом и временем наблюдений.

Для выверки глобуса следует:

— проверить свободу его вращения около оси мира и при необходимости вручную отрегулировать пружинный тормоз 5;

— проверить совпадение экватора глобуса и истинного горизонта при совмещении с горизонтом нулевых делений меридианного кольца и при необходимости — добиться совпадения экватора и горизонта перемещением опорной регулировочной планки 4.

Для установки глобуса по широте φ места наблюдений следует:

— повернуть меридианное кольцо так, чтобы при северной широте над точкой N горизонта был северный полюс мира (звезда Полярная, как показано на рисунке), а при южной — над точкой S горизонта был бы южный полюс мира;

— установить повышенный полюс на высоту, равную широте места, для чего совместить отсчет шкалы меридианного кольца, равный $\theta = 90^\circ - \varphi$, с точкой N, если широта северная, или с точкой S, если широта южная; на глобусе новой модели с точкой N или S совмещают отсчет, равный широте места;

— проверить правильность установки глобуса по широте — под указателем зенита 7 должен располагаться отсчет шкалы меридианного кольца, соответствующий величине и наименованию заданной широты места наблюдений.

Для установки глобуса на заданное время наблюдений T_c следует:

— вычислить всемирное время наблюдений $T_{\text{Гр}} = T_c \mp N_w^E$;

— вычислить на ПМК или по МАЕ местный часовой угол точки Овна $t_m^{\text{Овн}}$ в западном (круговом) счете, как это пояснено в примере 22.2.4 и в § 23.3;

— совместить с серединой меридианного кольца (на глобусе новой модели — с правой кромкой кольца) отсчет шкалы экватора, равный $t_m^{\text{Овн}}$.

После выполненных действий на звездном глобусе будет воспроизведена картина надгоризонтной части небесной сферы в заданный

момент времени и в заданном месте, рассматриваемая извне сферы; при этом следует иметь в виду, что видимое на поверхности глобуса расположение созвездий обратно по отношению к реально наблюдаемому на небосводе.

Если затем развернуть глобус на 1° в сторону точки W горизонта, то получим вид небесной сферы на 4 мин позже заданного момента T_c ; разворот глобуса на 15° дает картину, наблюдаемую через 1 ч после заданного начального момента наблюдений, и т. п.

Таблица 22.2.5

Координаты видимых мест светил на небосводе в заданный срок наблюдений
(к примеру 22.2.4)

а) планеты

Обозначение координат, условия наблюдения	Венера	Марс	Юпитер	Сатурн
α	173,5°	116°	238°	65°
δ	N 4,4	S 12,5	S 19,6	N 19,4
Блеск m	-3,4	-2,0	-1,6	+0,3
Время суток	Не видна	Утро	Вечер	Ночь
T_x	12 ^h 14 ^m	21 ^h 43 ^m	16 ^h 32 ^m	05 ^h 02 ^m
$\pm N_c \pm \lambda$	+7	+7	+7	+7
T_c верхней кульминации	12 21	21 50	16 39	05 09
ϑ	77,5°	77,5°	77,5°	77,5°
h	81,9 S	55,0 S	57,9 S	83,1 N
ИП	180°	180°	180°	0°
Созвездие	ЛЕВ	КОЗЕРОГ	СКОРПИОН	ТЕЛЕЦ

б) Солнце

Обозначение	Числовое значение	
	при восходе	при заходе
$t_{гр}^{\wedge}$	154,8°	335,3°
$t_{гр}^{\odot}$	345,8	165,8
α^{\odot}	169,0	169,5
δ^{\odot}	N 4,7°	N 4,5°
Созвездие	ЛЕВ	

в) Луна

Обозначение	Числовое значение	
	при восходе	при заходе
$t_{гр}^{\wedge}$	64,6°	245,1°
$t_{гр}^{\text{D}}$	356,1	169,0
α^{D}	68,5	76,1
δ^{D}	N 27,3°	N 27,2°
Созвездие	ТЕЛЕЦ	

г) местное звездное время на начало навигационных сумерек

Обозначение	Сумерки	
	утренние	вечерние
T_c	05 ^h 09 ^m	18 ^h 33 ^m
$T_{гр}$	10 09	23 33
$t_{т}^{\wedge}$	139,8°	335,3°
Δt^{\wedge}	2,3	8,3
$t_{гр}^{\wedge}$	142,1	343,6
λ	-76,8	-76,8
$t_{м}^{\wedge}$	65,3°W	266,8°W

Примечание. Положение светил на $T_c = 05^h09^m$ см. на рис. 22.2.5.

Пример 22.2.4. Оценить расположение навигационных светил на небосводе 11 сентября в моменты начала утренних и вечерних навигационных сумерек по исходным данным предыдущего примера.

Решение. Результаты вычисления координат видимых мест светил по МАЕ и характеристика их видимости показана в табл. 22.2.5; там же приведены результаты расчета местного звездного времени t_M^{∞} по МАЕ для установки звездного глобуса.

Если звездный глобус отсутствует, то можно воспользоваться картой звездного неба или приближенно воспроизвести картину расположения светил на чертеже небесной сферы, правила построения которой изложены в § 21.1. На рис. 22.2.5 изображено расположение планет и Луны на начало утренних навигационных сумерек для примера 22.2.4.

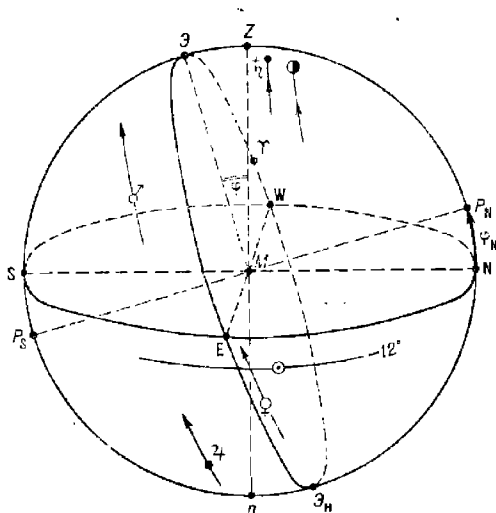


Рис. 22.2.5

Вычисление времени прихода светила в заданное положение на небосводе. Момент судового времени прихода светила в какое-либо положение на небосводе легко устанавливается с помощью звездного глобуса и МАЕ. После нанесения видимого места светила на звездный глобус (пример 22.2.4) его точно устанавливают на широту места наблюдений φ , а затем приводят в необходимое положение видимое место светила:

- совмещают его с горизонтом при вычислении момента восхода или захода;
- устанавливают светило по заданному направлению (например, по выгодному азимуту для вторых наблюдений при обсервации по высотам Солнца).

После этого под полуденной частью местного меридиана глобуса по шкале экватора отсчитывают значение местного часового угла точки Овна t_M^{∞} . Далее с помощью долготы λ места наблюдений вычисляют гринвичский часовой угол точки Овна $t_{гр}^{\infty}$ и обратным входом в МАЕ находят соответствующий ему момент всемирного времени $T_{гр}$. Прибавив к $T_{гр}$ принятый для счета судового времени номер часового пояса N_c , получают T_c . Схема решения показана в примере 22.2.5.

Точность решения этой задачи зависит от точности определения местного часового угла и знания долготы своего места.

В необходимых случаях местный часовой угол любого светила может быть вычислен на ПМК по формуле (22.2.11), если задана высота, или же по формуле

$$\text{ctg } t_m = \cos \varphi \text{ tg } h \text{ cosec } A - \sin \varphi \text{ ctg } A, \quad (22.2.17)$$

если заданы высота и азимут. В случаях, когда даны φ , δ , A , величину t_m можно приближенно получить из таблиц ВАС—58.

При быстром изменении склонения светила задача решается последовательными приближениями.

Пример 22.2.5. Определить, в какой момент судового времени T_c 26 июля Солнце будет видно по $ИП = 350^\circ$, если корабль находится в пункте $\varphi = 62,2^\circ \text{ S}$; $\lambda = 63,3^\circ \text{ W}$. Судовое время — по 4-му западному часовому поясу.

Решение. После нанесения Солнца на глобус и установки его по широте ставим один из вертикалов на отсчет азимута Солнца $A_n = 360^\circ - 350^\circ = 10^\circ \text{ NW}$ и, вращая глобус, приводим на этот вертикал Солнце. Далее читаем отсчет звездного местного времени по шкале экватора у меридианного кольца ($t_M^{\wedge} = 136^\circ$) и с помощью МАЕ вычисляем $T_{гр}$, а затем T_c :

$$\begin{array}{r} 26 \text{ июля } t_M^{\wedge} = 136^\circ \text{ W} \\ + \\ \lambda = 63,3^\circ \text{ W} \\ \hline t_{гр}^{\wedge} = 199,3^\circ \end{array}$$

Выбираем из МАЕ: — по ежедневной таблице $t_T^{\wedge} = 198,9^\circ \dots T_T = 17^h$

— по основной интерполяционной таблице

$$\Delta t^{\wedge} = 199,3^\circ - 198,9^\circ = 0,4^\circ \dots \Delta T = 02^m$$

$$26 \text{ июля } T_{гр} = 17 \text{ } 02$$

$$N_c = 4 \text{ W}$$

$$26 \text{ июля } T_c = 13^h 02^m$$

При необходимости более точного решения можно воспользоваться вычислениями на ПМК по программе, приведенной в табл. 22.2.2. Значение высоты для ввода по адресу П1 предварительно вычисляется по заданным φ , δ , A последовательными приближениями по δ .

§ 22.3. ВЫБОР СВЕТИЛ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЙ. ЦЕЛЕУКАЗАНИЕ НА ИЗБРАННЫЕ СВЕТИЛА. ОПОЗНАВАНИЕ НАБЛЮДЕННЫХ ЗВЕЗД И ПЛАНЕТ

Предварительный выбор светил необходим для правильной организации работ при наблюдениях (особенно в составе астрономического расчета) и сокращения затрат времени на их выполнение, что во многом способствует предотвращению промахов в работе. Оптимальное расположение наблюдаемых светил на небосводе гарантирует получение обсервации наилучшей точности. При выборе светил должно быть обращено внимание на геометрически выгодное расположение светил по азимутам и оптимальную очередность их наблюдений с учетом ожидаемой освещенности морского горизонта под светилами. Следует стремиться к наблюдениям всех избранных светил в наилучших и равных условиях, так как применяемые методы обработки наблюдений светил

и оценки точности астронавигационных обсерваций наиболее эффективны при условии равноточности наблюдений и равенстве повторяющихся погрешностей в линиях положения.

Выбор способа обсервации производится согласно общим рекомендациям, приведенным в § 22.1, с учетом решаемой кораблем задачи, обстоятельств плавания, метеорологической обстановки и результатов оценки астронавигационной обстановки (§ 22.2).

Планирование дневных обсерваций. Прежде всего должна быть оценена возможность одновременных* наблюдений Солнца, Луны и Венеры: либо пары из них, либо всех трех вместе.

Наивыгоднейшая разность азимутов ΔA светил для решения задачи двух высот при различном ожидаемом соотношении частной $m_{\text{дпс}}$ и повторяющейся m_0 СКП высотных линий положения показана в табл. 22.3.1; если оценка погрешностей высотных линий положения

Таблица 22.3.1

Наивыгоднейшая разность азимутов ΔA светил при решении задачи двух высот						
$\frac{m_{\text{дпс}}}{m_0}$	3,0	2,0	1,5	1,0	0,7	0,3
ΔA°	87	84	81	75	66	52

затруднительна, то следует стремиться иметь разность азимутов светил около $60\text{--}80^\circ$. Наблюдения двух светил при ΔA более 90° вообще нежелательны, если ставится задача иметь минимальную погрешность обсервованного места. При необходимости иметь минимальную погрешность обсервации в задаче двух высот по какому-либо заданному (опасному) направлению следует два светила наблюдать так, чтобы направление среднего азимута между ними совпадало с перпендикуляром к заданному направлению и разность азимутов была бы больше 90° (подробнее — в § 23.8).

Наивыгоднейшие условия для решения задачи трех одновременных высот изложены ниже, там, где приводятся рекомендации по планированию сумеречных и ночных обсерваций.

Разновременные наблюдения высот одного или двух светил планируются в том случае, если отсутствует возможность проведения одновременных наблюдений; при этом соблюдается принцип: иметь выгодную разность азимутов за минимальный интервал времени. Выгодная разность азимутов для задачи двух разновременных высот ориентировочно оценивается с помощью табл. 22.3.2. Необходима для пользования таблицей скорость изменения азимута светила оценивается с помощью звездного глобуса или таблиц ВАС—58, как показано в примере 22.3.1. Наибольшая скорость изменения азимута наблюдается в районе верхней кульминации светила, поблизости от которой интервал времени между наблюдениями будет минимальным.

Если условия обсервации трудно предвидеть, то рекомендуется планировать вторые наблюдения после изменения первого азимута на допустимую величину $\Delta A_d = 40\text{--}60^\circ$ за кратчайший интервал времени; величина этого интервала оценивается по изменению часового угла светила с помощью звездного глобуса или таблиц ВАС—58.

* Под «одновременными» понимаются наблюдения нескольких светил в течение короткого интервала времени, позволяющего при обработке наблюдений пренебрегать сферической формой Земли и влиянием погрешностей счисления на приведение астронавигационных параметров к одному месту наблюдений.

Таблица 22.3.2

Наивыгоднейшие ΔA_B и допустимые ΔA_d разности азимутов светила (в том числе Солнца) при решении задачи двух одновременных высот

Коэффициент точности счисления K_c (§ 12.11)	Скорость изменения азимута светила ω_A , °/ч												
	10			15			20						
	Средняя квадратическая погрешность $m_{пл}$, мин. дуг												
	0,5		1,0		0,5		1,0		0,5		1,0		
	ΔA_B	ΔA_d	ΔA_B	ΔA_d	ΔA_B	ΔA_d	ΔA_B	ΔA_d	ΔA_B	ΔA_d	ΔA_B	ΔA_d	
K_c , мили/ч ^{0,5}	0,6	75°	51°	78°	57°	78°	57°	80°	58°	80°	54°	82°	59°
	0,8	72	48	76	54	74	49	79	55	76	50	80	57
	1,0	70	45	73	52	72	46	75	53	75	48	79	54
	1,5	68	43	70	47	70	44	74	49	72	45	78	51
K_c , мили/ч ^{0,5}	0,35	65	41	76	52	69	47	80	57	75	51	82	59
	0,5	60	35	71	47	64	40	76	52	67	42	79	55
	1,0	47	28	56	36	52	30	62	41	55	33	68	44
	1,5	45	23	53	30	48	26	53	34	50	28	58	37

Примечание. При использовании допустимой разности азимутов ΔA_B точность наблюдения снижается не более чем на 10 % от достижимой при наивыгоднейших условиях.

Пример 22.3.1. 11 сентября утром планируется наблюдение по высотам Солнца в точке с координатами $\varphi_c = 56^\circ \text{ N}$; $\lambda_c = 33^\circ \text{ W}$ при $K_c = 1$ мили/ч^{0,5} и $m_{пл} = 0,8' \approx 1'$. Оценить наивыгоднейшие и оптимально допустимые условия наблюдений.

Решение. 1. Склонение Солнца из МАЕ на 11 сентября $\delta^\odot \approx 5^\circ \text{ N}$.

2. По таблицам ВАС—58, том III, устанавливаем среднюю скорость изменения азимута Солнца: $\omega_A \approx 15^\circ/\text{ч}$.

3. Из табл. 22.3.2 получаем: $\Delta A_B = 75^\circ$ и $\Delta A_d = 53^\circ$.

4. Интервал времени между наблюдениями высот:

$$\text{наивыгоднейший } \frac{\Delta A_B}{\omega_A} = \frac{75}{15} = 5 \text{ ч,}$$

$$\text{оптимально допустимый } \frac{\Delta A_d}{\omega_A} = \frac{53}{15} = 3,5 \text{ ч.}$$

Если задана допустимая погрешность наблюдения M_d , то вторые наблюдения светила можно начинать после изменения первого азимута на величину ΔA_d , вычисляемую с помощью ПМК по формуле

$$\Delta A_d = \arcsin\left(\frac{1}{M_d} \sqrt{2m_{пл}^2 + 0,5M_c^2}\right), \quad (22.3.1)$$

где M_c — СКП счисления в интервале времени между наблюдениями высот (§ 12.11).

В низких и умеренных широтах при близмеридиональных наблюдениях Солнца могут быть целесообразны наблюдения по трем и более одновременно наблюдаемым высотам, расположенным симметрично моменту кульминации.

Наблюдения высот светил называют одновременными, если они имеют интервалы времени более указанных в табл. 22.3.3, и погрешности счисления между наблюдениями высот заметно влияют на точность приведения высот к одному месту наблюдений (табл. 23.8.4).

Таблица 22.3.3

Наибольшие интервалы времени ΔT , при которых допустимо приведение высот светил к одному месту наблюдений по формуле

$$\Delta h_z = V(T_2 - T_1) \cos(\text{ИП}^\circ - \text{ПУ})$$

Скорость корабля V , уз	12	18	24	30	36	40
Интервал времени $\Delta T = T_2 - T_1$, мин, не более	40	27	20	16	13	12

Табл. 22.3.3 составлена для широт менее 80° при наблюдениях высот светил до 70° ; при этом обеспечивается предельная погрешность приведения до 1 кбт.

Вычисление момента судового времени, в который светило или группа светил будет занимать избранное для наблюдения положение на небосводе, производится с помощью МАЕ в последовательности, показанной в примере 22.2.5.

Планирование сумеречных и ночных обсерваций. Необходимо стремиться проводить сумеречные обсервации и обсервации в лунные ночи при наилучшей и по возможности равной освещенности горизонта (в сумерки). Для наблюдений в сумерки лучшим является время от середины и до окончания утренних навигационных сумерек, или от начала и до середины вечерних навигационных сумерек.

В лунные ночи измерения высот получаются удовлетворительными при фазе Луны между первой и последней четвертями и ее расположении над горизонтом на высотах $10-40^\circ$.

Задача четырех высот. Наилучший результат дают наблюдения светил, расположенных в выгодных по освещенности секторах (рис. 22.3.1) на примерно равных высотах (хотя бы у светил, наблюдаемых в противозимутах) при смежных разностях азимутов светил около $80-110^\circ$.

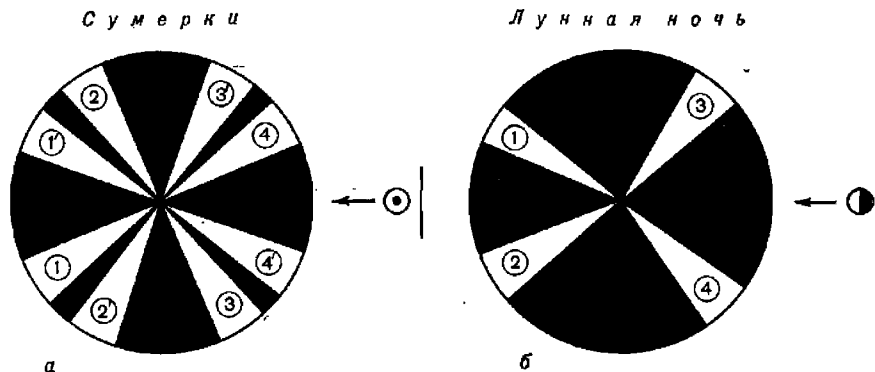


Рис. 22.3.1

Задача трех высот. Наиболее выгодно наблюдать светила в секторах, показанных на рис. 22.3.2, на примерно равных высотах и при смежных разностях азимутов светил около 120° . Если по условиям видимости светил их можно наблюдать только на одной стороне небосвода, то лучше иметь разности азимутов среднего светила и крайних светил возможно большими.

Задача двух высот. Выполняются рекомендаций, сделанные выше для планирования дневных наблюдений, если отсутствует видимость 3—4 светил.

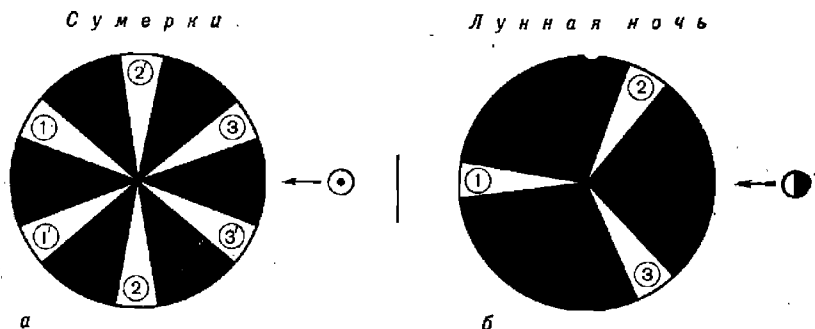


Рис. 22.3.2

Очередность измерений высот светил устанавливается с учетом их расположения относительно направления на освещаемую Солнцем часть небосвода (или направления на Луну). Первыми в сумерки наблюдают светила, расположенные над восточной стороной горизонта.

При планировании работы астрономического расчета составляется сводная таблица целеуказания и очередности наблюдений высот светил операторами, наблюдающими в первую и во вторую очередь (табл. 22.3.4). При этом может быть принята во внимание необходимость получить обсервацию в кратчайший срок и при возможности внезапного прекращения наблюдений. В табл. 22.3.4 показана очередность наблюдений светил применительно к условиям примера 22.2.3; при работе удобно пользоваться такой схемой целеуказания, которая показана на рис. 22.3.3.

Таблица 22.3.4

Сводная таблица целеуказания и очередности наблюдений операторами астрономического расчета (применительно к примеру 22.2.3)

Срок наблюдений: 11 сентября, вечер. Начало: 18°33'.

Конец: 18°57'.

Целеуказание					Первая очередь	Вторая очередь		
Светило	Блеск m	ИП	KU (ИК=95°)	h	Наблюдатели			
					№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Дубхе	2,0	30°	65° л/б	10°	II	I	II	I
Процион	0,5	95	0	43	I	II	I	II
Ахернар	0,6	201	106 пр/б	12	III	IV	III	IV
Хамаль	2,2	292	163 л/б	53	IV	III	IV	III

Примечание. Римскими цифрами указана очередность наблюдений светил каждым оператором применительно к рис. 22.3.3, обеспечивающая выполнение обсервации в оптимальных условиях и при внезапном перерыве в наблюдениях.

Подбор светил и целеуказание. Подбор светил для наблюдений обычно выполняется с помощью звездного глобуса при соблюдении перечисленных выше рекомендаций; предварительно на глобус наносят видимые места светил Солнечной системы (§ 22.2). Поле зрения дневной трубы секстана СНО-Т равно 4,5°, а ночной 8°, поэтому целеука-

знание по глобусу (с погрешностью до $1,5-2^\circ$) обычно бывает достаточным для предварительного наведения секстана на светило. Более точное целеуказание (в виде значений вычисленных высоты светила и пеленга на него) может потребоваться при наведении полуавтомати-

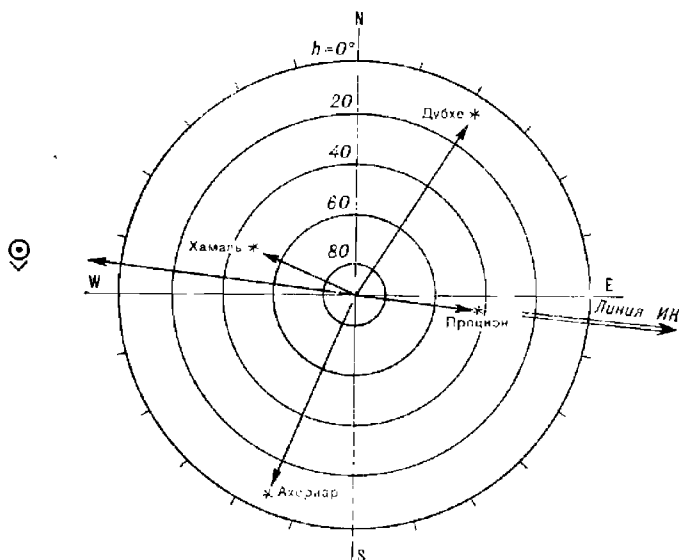


Рис. 22.3.3

зированных астронавигационных средств или при дневных наблюдениях Венеры.

Решение задачи целеуказания на ПМК удобно объединить в единой программе с решением задачи вычисления судового времени наступления сумерек и местного часового угла точки Овна для установки звездного глобуса на этот момент; такая программа для оценки астронавигационной обстановки приведена в табл. 22.3.5, а организация вычислений по ней — в табл. 22.3.6.

По адресам, приведенным в табл. 22.3.6, вводятся:

- координаты φ и λ места наблюдений;
- склонение δ_{00} и гринвичский часовой угол t_{00} светила на 00^h всемирного времени текущих суток;
- склонение δ_{24} и гринвичский часовой угол t_{24} светила на 00^h всемирного времени следующих суток;
- высота светила при наступлении явлений, сопровождающих суточное движение светил: начало навигационных сумерек утром $h=-12^\circ$, начало навигационных сумерек вечером $h=-6^\circ$, окончание навигационных сумерек утром $h=-6^\circ$, окончание навигационных сумерек вечером $h=-12^\circ$, при восходе и заходе Солнца $h^\ominus=-0,8383^\circ$, Луны $h^{\text{D}}=0^\circ$;
- номер часового пояса, принятый для счета судового времени, N_c ;
- константы, необходимые для вычислений: признак явлений на восточной стороне горизонта $L=3,1$; признак явлений на западной стороне горизонта $L=3,2$; число 360;

Программа для оценки астронавигационной обстановки

Адрес	Команда	Код	Адрес	Команда	Код	Адрес	Команда	Код
	В/О F ПРГ							
00	ИП6	66	36	БП	51	71	00	00
01	ИП5	65	37	41	41	72	ИП2	62
02	—	11	38	ИПД	6Г	73	ИП8	68
03	2	02	39	ИПВ	6L	74	+	10
04	4	04	40	+	10	75	П2	42
05	:	13	41	ИП3	63	76	С/П	50
06	ИП2	62	42	—	11			
07	×	12	43	$F_x < 0$	5C	77	ИП4	64
08	ИП5	65	44	47	47	78	ИПД	6Г
09	+	10	45	ИПВ	6L	79	×	12
10	П9	49	46	+	10	80	ИП3	63
11	ИП7	67	47	ИП1	61	81	+	10
12	$F \sin$	1C	48	—	11	82	ИП1	61
13	ИП0	60	49	ИП4	64	83	+	10
14	$F \sin$	1C	50	ИП3	63	84	ИПВ	6L
15	ИП9	69	51	—	11	85	—	11
16	$F \sin$	1C	52	ИПВ	6L	86	$F_x < 0$	5C
17	×	12	53	+	10	87	90	90
18	—	11	54	2	02	88	ИПВ	6L
19	ИП0	60	55	4	04	89	+	10
20	$F \cos$	1Г	56	:	13	90	П9	49
21	:	13	57	:	13	91	С/П	50
22	ИП9	69	58	↑	0E			
23	$F \cos$	1Г	59	ИП2	62			
24	:	13	60	—	11			
25	$F \arccos$	1—	61	→ ху	14			
26	ПД	4Г	62	↑ П2	42			
27	ИПД	6—	63	ПД	4Г		F АВТ	
28	$F \pi$	20	64	→ ху	14			
29	—	11	65	↑ $F_x < 0$	5C			
30	$F_x < 0$	5C	66	68	68			
31	38	38	67	/—/	0L			
32	ИПВ	6L	68	ИПС	6C			
33	ИПД	6Г	69	—	11			
34	—	11	70	$F_x < 0$	5C			
35	ПД	4Г						

— величина критерия заданной точности вычислений $\varepsilon = 0,008$ (при которой момент T_c вычисляется с округлением до 1 мин).

После первого останова ПМК по адресу ИП2 на табло находится судовое время наступления явления T_c , а по адресу ИПД — всемирное время явления, которое может понадобиться в дальнейшем для

выборки координат светил из МАЕ. Далее вводят по адресу ПЗ гринвичский часовой угол точки Овна t_{00}^{\wedge} на $T_{гр} = 00^h$ и по адресу П4 — константу 15,0411, после чего вычисляется t_m^{\wedge} для установки звездного глобуса.

При плавании в больших долготах, а также при значительной разнице между номером часового пояса N_c и теоретическим номером часового пояса, соответствующим долготе места корабля, вычисляемые $T_{гр}$ и T_c могут получаться со знаком *минус*; это означает, что данное явление происходит в предыдущую календарную дату. Если же $T_{гр}$ и T_c получились более 24 ч, то явление происходит в последующую дату (относительно исходной, принятой в начале вычислений).

Пример 22.3.2. 14 апреля. Место наблюдений $\varphi = 59^{\circ}12' N$, $\lambda = 131^{\circ}18,5' E$. Судовое время — по 10-му восточному поясу. Вычислить T_c и t_m^{\wedge} на начало утренних навигационных сумерек.

Решение Его последовательность приведена в табл. 22.3.6. Результат решения: $T_c = 04^h22^m$, $t_m^{\wedge} = 248,9^{\circ}$.

Таблица 22.3.6

Аргументы, константы	Адрес	Информация (с решением примера)		
		исходная	дополнительная (перед новым этапом счета)	итоговая
φ	П0	59,2		$T_c = 4,366^h = 04^h22^m$
λ	П1	131,3083		
0	П2	0		
t_{00}	П3	179,91	$t_{00}^{\wedge} = 202,2933$	$t_m^{\wedge} = 248,9^{\circ}$
t_{24}	П4	179,9733	$\Delta t^{\wedge} = 15,0411$	
δ_{00}	П5	9,375		
δ_{24}	П6	9,7333		
h	П7	-12		
N_c	П8	+10		
0	П9	0		
L	ПА	3,1		
360	ПВ	360		
e	ПС	0,008		
0	ПД	0		$T_{гр} = -5,634^h$

Правила знаков: Северная широта φ_s , северное склонение δ , восточная долгота λ_s , восточный часовой пояс N_c — положительные; южные φ_s , δ и западные λ_s , N_c — отрицательные. Исходные t_{00} и t_{24} из МАЕ вводятся без указания знака.

Вычисления по рассмотренной программе ведутся методом последовательных приближений и дают точный результат в любом районе плавания.

Для получения необходимых при целеуказании на светило приближенных значений его высоты h и истинного пеленга *ИП* (или курсового угла светила $KУ = ИП - ИК$) звездный глобус устанавливают по широте места наблюдений φ и величине звездного времени t_m^{\wedge} (§ 22.2).

После этого с помощью крестовины вертикалов и подвижного индекса высоты считают высоты и круговые или четвертные азимуты избранных для наблюдений светил; далее четвертные азимуты переводят в истинные пеленги.

На основании полученных данных составляют схему и таблицу целеуказания подобно схеме на рис. 22.3.3 и табл. 22.3.4.

При необходимости более точного целеуказания можно вычислить высоты h_c и азимуты A_c светила для счислимого места корабля на избранный момент наблюдений по всемирному времени $T_{гр} = T_c \mp N_c^E W$, воспользовавшись ПМК и программой из табл. 22.3.7. Порядок вычислений по этой программе указан в табл. 22.3.8.

Таблица 22.3.7

Программа для вычисления высоты и азимута светила на заданный момент всемирного времени

Адрес	Команда	Код	Адрес	Команда	Код	Адрес	Команда	Код
	В/О Ф ПРГ		21	ИП1	61	42	+	10
00	ИП5	65	22	+	10	43	F arcsin	19
01	ИП4	64	23	С/П	50	44	ПД	4Г
02	—	11						
03	ИП8	68	24	ИП9	69	45	ИПС	6С
04	:	13	25	+	10	46	F sin	1С
05	ИП6	66	26	/—/	0L	47	ИПО	60
06	×	12	27	П7	47	48	F cos	1Г
07	ИП4	64	28	С/П	50	49	:	13
08	+	10				50	ИПД	6Г
09	ПС	4С	29	ИПО	60	51	F cos	1Г
			30	F sin	1С	52	:	13
10	ИП3	63	31	ИПС	6С	53	ИПО	60
11	ИП2	62	32	F sin	1С	54	F tg	1Е
12	—	11	33	×	12	55	ИПД	6Г
13	ИПВ	6L	34	ИПО	60	56	F tg	1Е
14	+	10	35	F cos	1Г	57	×	12
15	ИП8	68	36	ИПС	6С	58	—	11
16	:	13	37	F cos	1Г	59	F arccos	1—
17	ИП6	66	38	×	12	60	ПА	4—
18	×	12	39	ИП7	67	61	С/П	50
19	ИП2	62	40	F cos	1Г			
20	+	10	41	×	12		F АВТ	

Программа составлена по формулам:

$$\delta = \delta_{00} + \frac{\delta_{24} - \delta_{00}}{24} T_{гр}, \quad (22.3.2)$$

$$t_w = t_{00} + \frac{t_{24} - t_{00} + 360}{24} T_{гр} \pm \lambda_c + \tau^*, \quad (22.3.3)$$

$$h_c = \arcsin(\sin \varphi_c \sin \delta + \cos \varphi_c \cos \delta \cos t_w), \quad (22.3.4)$$

$$A_c = \arccos \left(\frac{\sin \delta}{\cos \varphi_c \cos h} - \operatorname{tg} \varphi_c \operatorname{tg} h \right), \quad (22.3.5)$$

где δ_{00} , t_{00} — координаты светила из МАЕ на $T_{\text{гр}} = 00^{\text{ч}}$;
 δ_{24} , t_{24} — координаты светила на $T_{\text{гр}} = 00^{\text{ч}}$ следующей даты;
 φ_c , λ_c — координаты счисленного места на заданное T_c ;
 τ^* — звездное дополнение (звездный угол) из МАЕ; для Солнца, Луны и планет принимается $\tau^* = 0$.

Таблица 22.3.8

Светило: звезда α Льва.

Аргументы, константы	Адрес	Информация (с решением примера)		
		исходная	промежуточная	итоговая
φ_c	П0	50°05' S		
λ_c	П1	56 45 W		
t_{00}	П2	65 02,9		
t_{24}	П3	66 02,1		
δ_{00}	П4	12 04,7 N		
δ_{24}	П5	12 04,7 N		
$T_{\text{гр}}$	П6	6°54'41"		
0	П7			
24	П8		$t_M^{\text{гр}} = 112,253^{\circ}$	
τ^* или 0	П9	208°12,7'	$t_M^* = -320,46497^{\circ}$	
0	ПА			$A_c = 41,1^{\circ}$
360	ПВ			(Итог: $A_c =$
	ПС			$= 41,1^{\circ}$ NE = ИПс)
	ПД			$h_c = 18,8708^{\circ} =$
				$= 18^{\circ}52,2'$

Правила знаков: Северная широта φ_c , северное склонение δ , восточная долгота λ_c , восточный часовой угол t_M — положительные; южные φ_c , δ и западные λ_c , t_M — отрицательные. Исходные t_{00} и t_{24} из МАЕ вводятся без указания знака.

Полученное значение A_c всегда отсчитывается от точки севера N к востоку или к западу (при $|t_M^*| < 180^{\circ}$ — после второго останова счета).

Пример 22.3.3. Дать целуказание на звезду α Льва 26 ноября в момент $T_{\text{гр}} = 6^{\circ}54'41''$ при наблюдениях из точки с координатами $\varphi_c = 50^{\circ}05' S$, $\lambda_c = 56^{\circ}45' W$.

Решение. Последовательность решения примера приведена в табл. 22.3.8. Результат решения: ИПс = $41,1^{\circ}$, $h_c = 18^{\circ}52,2'$.

Правила ввода в ПМК координат светил при наблюдениях:

а) звезд:

- по адресу П2 ввести гринвичский часовой угол точки Овна на $T_{\text{гр}} = 00^{\text{ч}}$ заданной гринвичской даты;
- по адресу П3 — то же на $T_{\text{гр}} = 00^{\text{ч}}$ следующей гринвичской даты;
- по адресам П4 и П5 ввести склонение звезды на заданную дату;
- по адресу П9 ввести τ^* на заданную дату;

б) планет и Солнца;

— ввести информацию согласно табл. 22.3.8, где по адресу П9 ввести 0;

в) Луны:

— по адресу П2 ввести гринвичский часовой угол и по адресу П4 — склонение на ближайший меньший час $T_{\text{гр}}$;

— по адресу ПЗ ввести гринвичский часовой угол, по адресу П5—склонение на следующий целый час $T_{гр}$;

— по адресу П8 ввести 1; по адресу П9 ввести 0;

— по адресу П6 ввести минуты и секунды заданного $T_{гр}$, выразив их в долях часа.

После первого останова ПМК по адресу ПС находится склонение светила, а на табло высвечивается местное звездное время $t_{\text{м}}^{\text{зв}}$ (оно может потребоваться для установки звездного глобуса в целях опознавания наблюдаемого светила) или местный часовой угол светила Солнечной системы. После второго останова по адресу П7 и на табло находится местный часовой угол светила; знак минус указывает, что это угол западный. Если абсолютная величина этого угла меньше 180° , то полученный в итоге вычислений азимут будет отсчитан от точки N к западу; если же абсолютная величина этого угла оказалась более 180° , то полученный в итоге азимут является истинным пеленгом светила. В первом случае полученный азимут A_c надо пересчитать в истинный пеленг по формуле $ИП = 360^\circ - A_c^{NW}$.

При решении задачи целеуказания с помощью таблиц вначале по МАЕ вычисляется на заданное T_c значение местного часового угла точки Овна $t_{\text{м}}^{\text{зв}}$ (пример см. в табл. 22.2.5), по которому затем устанавливается звездный глобус и определяются h и ИП светил. Для более точного целеуказания могут быть использованы таблицы ВАС—58 или ТВА—57 (правила вычислений по ним см. в § 23.6), что потребует, однако, значительной затраты времени.

При отсутствии звездного глобуса и с меньшими затратами времени, чем при вычислениях по таблицам, задача целеуказания может быть решена с помощью планисферы В. В. Каврайского, изображенной на рис. 22.3.4. В масштабе рисунка точность целеуказания по планисфере и по звездному глобусу примерно одинакова; отметим, что при диаметре планисферы, равном 40—45 см, точность решения повышается в 10 раз по сравнению с результатом, получаемым в масштабе рисунка. Верхняя полусфера рисунка соответствует северной широте, северному склонению и положительной высоте; нижняя полусфера соответствует южным φ и δ и отрицательным значениям h . Шкала горизонтального диаметра используется для отсчета «угла времени» $t_{\text{Эн}} = 180^\circ \pm t_{\text{мЕ}}^W$ — условного часового угла (начало счета которого ради удобства работы принято на полуночной части местного меридиана), а также для отсчета истинного пеленга светила.

Порядок определения данных целеуказания: принять горизонтальный диаметр планисферы в качестве экватора, нанести видимое место светила σ по склонению δ и «углу времени» $t_{\text{Эн}}$, вычислить дополнение широты места $\theta = 90^\circ - \varphi$ и поворотом радиуса центр— σ на угол θ переместить σ в положение σ' . Принять теперь горизонтальный диаметр планисферы в качестве линии горизонта, отсчитать по нему ИП светила (сообразуясь с наименованием заданного t) и по шкалам малых кругов найти высоту h .

Пример 22.3.4. В широте $\varphi = 40^\circ N$ определить высоту и азимут светила σ , имеющего координаты $\delta = 10^\circ S$, $t_{\text{м}} = 22^\circ E$.

Решение (рис. 22.3.4). $t_{\text{Эн}} = 180^\circ - 22^\circ = 158^\circ$, $\theta = 90^\circ - 40^\circ = 50^\circ$.

Ответ: $h = 35^\circ$, $ИП = 153^\circ$.

Ключ к пользованию планисферой показан на рисунке слева внизу.

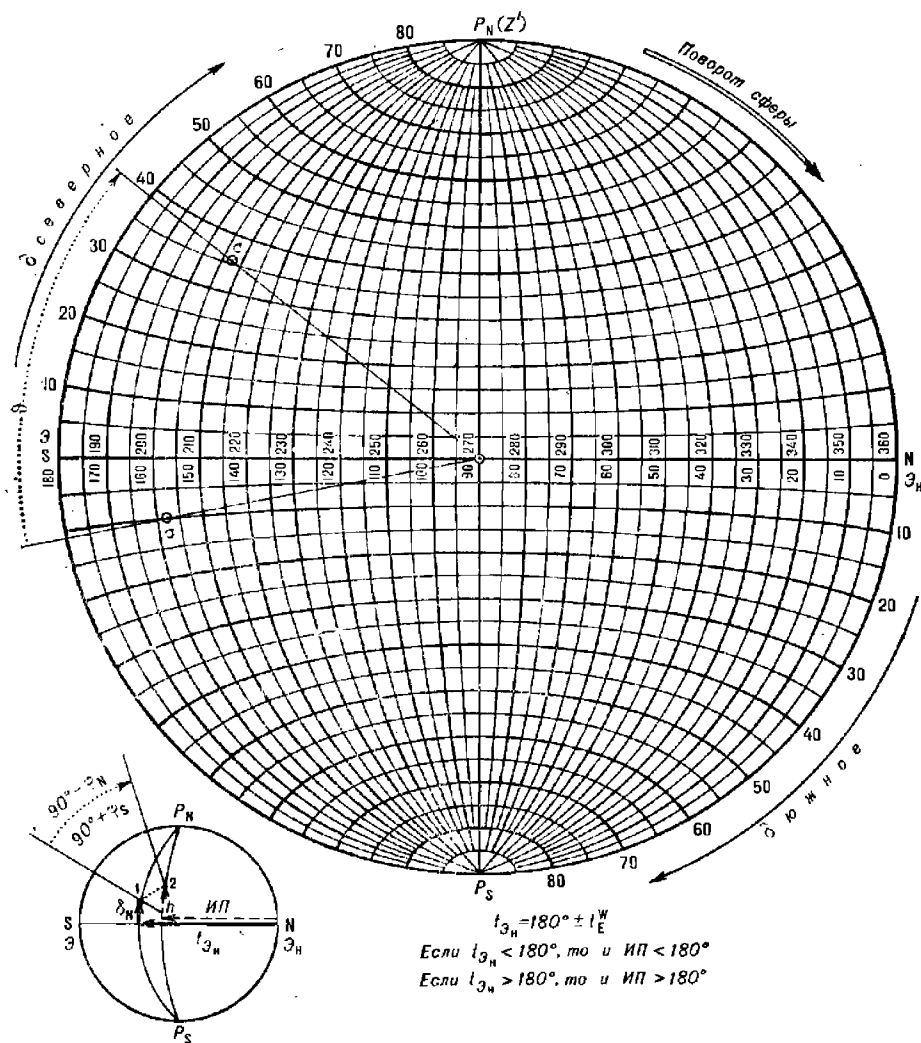


Рис. 22.3.4

Опознавание наблюдаемых звезд или планет. При неблагоприятных условиях наблюдений заранее подобранные светила могут быть не видны; может возникнуть задача опознавания наблюдаемого в разрывах облаков светила по его измеренным высоте и азимуту, судовому времени наблюдений и координатам счислимой места корабля.

При решении задачи с помощью ПМК можно воспользоваться программой, приведенной в табл. 22.3.7 и 22.3.8, вводя координаты по варианту «звезды». При этом после первого останова на табло высветится местный часовой угол точки Овна t_M^{\wedge} . Далее по счислимой широте φ_c и t_M^{\wedge} устанавливают звездный глобус; по азимуту светила (ИП переводят в четвертную систему счета азимута) и его высоте

устанавливают индекс на крестовине вертикалов и опознают звезду. Если в указанной индексом точке глобуса звезды нет и эта точка находится в районе эклиптики, то наблюдали планету. Ее наименование устанавливают с помощью МАЕ: по глобусу определяют склонение δ и прямое восхождение α найденной точки; затем в ежедневной таблице МАЕ по δ и α опознают планету (при этом полезно справиться о сроках видимости этой планеты по таблице «Видимость планет» и сравнить блеск наблюдавшегося светила с указанной в МАЕ звездной величиной планеты в день ее наблюдений).

Если звездного глобуса на корабле нет, то задача решается с помощью ПМК и МАЕ по программе, приведенной в табл. 22.3.9. Порядок вычислений указан в табл. 22.3.10. Для вычислений служат формулы:

$$\left. \begin{aligned} \sin \delta_c &= \sin \varphi_c \sin h + \cos \varphi_c \cos h \cos ИП, \\ \cos t_m &= \sec \varphi_c \sin h \sec \delta_c - \operatorname{tg} \varphi_c \operatorname{tg} \delta_c, \\ t_m^{\text{гр}} &= t_{00}^{\text{гр}} + 15,0411 T_{\text{гр}}^{\text{ч}} \pm \lambda_{\text{с.в.}}^{\text{E}}, \\ \alpha_c &= t_m^{\text{гр}} - t_m, \end{aligned} \right\} (22.3.6)$$

где $t_{00}^{\text{гр}}$ взято из МАЕ на $T_{\text{гр}} = 00^{\text{ч}}$ гринвичской даты наблюдений.

После окончания вычислений на табло и по адресу ПА находится счислимое значение прямого восхождения светила α_c , по адресу П2 — счислимое склонение светила δ_c (табл. 22.3.10). Наблюденное светило опознается входом в МАЕ: вначале в таблицу «Звезды. Видимые места», а затем в ежедневную таблицу и в таблицу «Видимость планет» — для проверки возможности наблюдения планеты в районе измеренных h и $ИП$. Следует учитывать, что, вследствие неизбежных погрешностей в исходных значениях h , $ИП$, $T_{\text{гр}} = T_c \mp N_{\text{с.в.}}^{\text{E}}$, φ_c , $\lambda_{\text{с}}$ счислимые δ_c и α_c могут иметь отклонения от показанных в МАЕ на значения: $|\delta - \delta_c| \leq 2^\circ$ и $|\alpha - \alpha_c| \leq 5^\circ$, что затруднит опознавание. Поэтому рекомендуется обращать внимание на звездную величину наблюдавшегося светила и сравнивать ее с показанной в МАЕ, а также оценивать положение планет на дату наблюдений на карте звездного неба.

Пример 22.3.5. Опознать светило, наблюдаемое 25 июня в момент $T_{\text{гр}} = 18^{\text{ч}}45^{\text{м}}43^{\text{с}}$ по $ИП = 161,4^\circ$ на высоте $h = 30^\circ15'$. Счислимое место наблюдений: $\varphi_c = 23^\circ23,1' \text{ N}$, $\lambda_c = 37^\circ05,4' \text{ E}$.

Решение. Его последовательность приведена в табл. 22.3.10. Опознанное светило — звезда в Скорпиона ($\alpha = 252,2^\circ$, $\delta = 34^\circ15,7' \text{ S}$).

Опознавание светила на звездном глобусе. Оно осуществляется с использованием МАЕ в следующем порядке:

- по выбранным из МАЕ координатам δ и α планет наносят на глобус их видимые места;
- устанавливают глобус по широте места наблюдений и величине $t_m^{\text{гр}}$, вычисленной по МАЕ на момент наблюдений $T_{\text{гр}}$;
- ориентируют крестовину вертикалов по четвертному азимуту и выставляют индекс по высоте наблюдаемого светила; по положению индекса опознают звезду или планету.

Опознавание светила на планисфере. В этом случае счислимые координаты δ_c и α_c (или звездное дополнение $\tau_c^{\text{с}} = 360^\circ - \alpha_c$) определяют по планисфере, как это показано в примере 22.3.6 и на рис. 22.3.4.

Пример 22.3.6. По МАЕ на момент наблюдений вычислили $t_m^{\text{гр}} = 178^\circ$. Необходимо опознать светило, наблюдавшееся в $\varphi = 40^\circ \text{ N}$ по $ИП = 153^\circ$ на высоте $h = 35^\circ$.

Решение. Приняв планисферу в качестве сетки горизонтальной системы координат, сверху помечают точку зенита Z' , а также наносят светило σ' по значениям $ИП$ и h . Вычисляют $\vartheta = 90^\circ - \varphi = 50^\circ$ и, повернув на этот угол радиус, соединяющий центр со светилом σ' , находят положение σ (контроль стороны поворота: зенит Z должен располагаться на полуденной части местного меридиана в угловом расстоянии φ от точки \mathcal{E}). Приняв планисферу за сетку экваториальной системы координат, находят координаты точки σ : склонение $\delta = 10^\circ S$ и „угла времени“ $t_{Эн} = 158^\circ$ (или $t_M = 22^\circ E = 338^\circ W$). Вычисляют $\tau^* = t_W - t_W^* = 160^\circ$. Используя δ и τ^* , по МАЕ или табл. 21.2.1 находят звезду Спика (α Девы).

Таблица 22.3.9

Программа для опознавания наблюдаемого светила

Адрес	Команда	Код	Адрес	Команда	Код	Адрес	Команда	Код
00	В/О F ПРГ ИПЗ	63	24	ИП2	62	48	ИПС	6С
01	F sin	1С	25	F tg	1E	49	+	10
02	ИП8	68	26	ИП8	68	50	ИП4	64
03	F sin	1С	27	F tg	1E	51	+	10
04	×	12	28	×	12	52	ПД	4Г
05	ИПЗ	63	29	—	11	53	3	03
06	F cos	1Г	30	F arccos	1—	54	6	06
07	ИП8	68	31	П0	40	55	0	00
08	F cos	1Г	32	ИП1	61	56	—	11
09	ИП1	61	33	1	01	57	F x > 0	59
10	F cos	1Г	34	8	08	58	61	61
11	×	12	35	0	00	59	БП	51
12	×	12	36	—	11	60	52	52
13	+	10	37	F x < 0	5С	61	ИПД	6Г
14	F arcsin	19	38	45	45	62	ИП0	60
15	П2	42	39	3	03	63	—	11
16	F cos	1Г	40	6	06	64	F x < 0	5С
17	F 1/x	23	41	0	00	65	70	70
18	ИПЗ	63	42	ИП0	60	66	3	03
19	F sin	1С	43	—	11	67	6	06
20	×	12	44	П0	40	68	0	00
21	ИП8	68	45	ИП7	67	69	+	10
22	F cos	1Г	46	ИП9	69	70	ПА	4—
23	:	13	47	×	12	71	С/П	50
							F АВТ	

Опознавание светила с помощью МАЕ и таблиц ВАС—58. В этом случае последовательность действий следующая:

- ИП светила выражают в виде полукругового азимута;
- входят в ВАС—58 по счислимой широте φ_c ;
- входят с высотой светила в колонку склонения δ_t (ближайшую к h);

— входят с полукруговым азимутом в ближайшую строку часового угла t_T ;

— на пересечении колонки $\delta_T = h$ со строкой $t_T = A_n$ находят h_T и A_T и приравнивают их соответственно δ_c и t_M ;

— вычисляют $\tau_c^* = t_M - t_M^{\wedge}$, где t_M^{\wedge} найдено по МАЕ;

— по δ_c и τ_c^* (или $\alpha_c = 360^\circ - \tau_c^*$) входят в МАЕ и опознают светило.

Правила входа в таблицу ВАС—58 и определения знаков:

1. Если войти в ВАС—58 слева по A_n нельзя, то надо вычислить значение разности $180^\circ - A_n$ и войти по ней в таблицу справа.

2. Если значение $\delta_c = h_T$ нашли выше разграничительной черты основной таблицы, разделяющей вход по одноименным и разноименным склонениям при обычных вычислениях h_c и A_c , то найденное δ_c одноименно с φ_c . Если же значение δ_c найдено в той части таблицы, которая расположена ниже разграничительной черты, то оно разноименно с φ_c и при этом $t_M = 180^\circ - A_T$.

Таблица 22.3.10

Аргумент	Величина (пример)	Адрес	Информация		
			исходная	промежуточная	итоговая
$ИП = A_{кр}$	161,4°	П0	$A_{кр}$	t_M	$\delta_c = 33,5^\circ S$
		П1			
h	30°15'	П3	30,25		
λ_c	37°05,4' E	П4	+37,09		
		П5			
15,0411	23°23,1' N	П7	15,0411		
		П8	+23,385		
$T_{гр}$	18°45'43"	П9	18,762		
		ПА			$\alpha_c = 251,4^\circ$
Гр. дата, t_o^{\wedge}	июнь 25,0 ^а	ПВ			
		ПС	272,807		
		ПД			$t_M^{\wedge} = 232,1^\circ$

Правила знаков: Северная широта φ_c и северное склонение δ — положительные; южные φ_c и δ — отрицательные; восточная долгота λ_c — положительная, западная — отрицательная.

§ 22.4. ТРЕНИРОВКИ В ПРОВЕДЕНИИ АСТРОНАВИГАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ И ОЦЕНКА ИХ КАЧЕСТВА. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ВЫСОТНОЙ ЛИНИИ ПОЛОЖЕНИЯ

Наблюдения, выполняемые при астронавигационных обсервациях, включают в себя: определение поправки секстана, личной поправки системы «штурман — секстан», измерение наклоения видимого горизонта, высот и азимутов светил, определение поправки рабочих часов.

Качество и надежность астронавигационных обсерваций в первую очередь зависят от точности определения поправок инструментов и из-

мерений астронавигационных параметров. Искусство штурмана в астронавигационных наблюдениях должно постоянно поддерживаться на высоком уровне, что достигается регулярными тренировками в измерениях при непрерывной оценке достигнутых результатов и сравнении ее с нормативными требованиями.

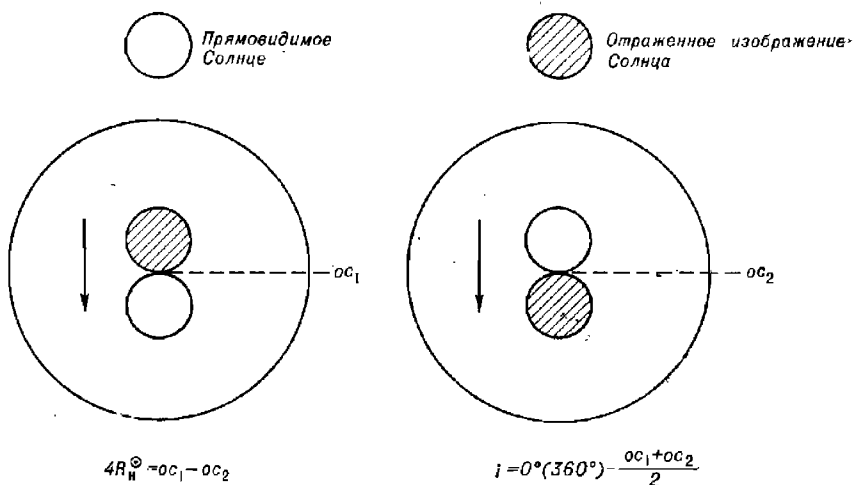


Рис. 22.4.1

Для достоверной оценки точности и надежности своих астронавигационных наблюдений необходимо соблюдать заповедь «Знай себя и свой секстан», накапливать опыт применения имеющихся на корабле астронавигационных средств в различных условиях плавания.

Личная поправка системы «штурман — секстан» определяется при работе конкретного наблюдателя с конкретным секстаном, так как она может существенно изменяться в зависимости от состояния внешней среды и наблюдателя в течение суток.

Для определения личной поправки $\Delta_{\text{л}}$ наблюдают касания диска прямовидимого и диска отраженного изображения Солнца в поле зрения секстана (рис. 22.4.1) при условии одностороннего вращения отсчетного барабана в каждой паре измерений. В качестве эталонной величины берут видимый полудиаметр Солнца R^{\odot} , указанный в МАЕ на календарную дату наблюдений. Обычно измеряют вертикальный диаметр Солнца, но при его высоте менее 17° необходимо переходить к измерениям горизонтального диаметра. При неавтоматизированных расчетах по приведенным ниже формулам вычисляют:

$$\left. \begin{aligned} \text{истинный диаметр Солнца} & \dots D^{\odot} = 2R^{\odot}, \\ \text{наблюдаемый диаметр Солнца} & \dots D_{\text{H}} = 0,5 (oc_1 - oc_2), \\ \text{вероятнейший диаметр Солнца} & \dots D_{\text{в}} = \frac{\sum D_{\text{H}}}{N}, \\ \text{личную поправку} & \dots \Delta_{\text{л}} = D^{\odot} - D_{\text{в}}, \end{aligned} \right\} (22.4.1).$$

где oc_1 — отсчет секстана более 360° ,

oc_2 — отсчет секстана менее 360° ,

N — количество пар касаний диска Солнца (не менее пяти).

Попутно с определением Δ_n находят поправку места нуля секстана i_0 , исходя из единичных значений i' поправки места нуля:

$$\left. \begin{aligned} i' &= 0,5 [(360 - oc_1) + (360 - oc_2)], \\ i_0 &= \frac{\sum i'}{N}. \end{aligned} \right\} \quad (22.4.2)$$

По отклонениям $v = D_n - D_n$ можно найти СКП определения личной поправки

$$m_{\Delta_n} = \sqrt{\frac{\sum v^2}{N(N-1)}}. \quad (22.4.3)$$

Учет личной поправки при наблюдениях необходим при $\frac{\Delta_n}{m_{\Delta_n}} > 1$.

Рекомендуется производить предварительную отбраковку измерений по условию:

$$|4R_n^{\odot} - 4R^{\odot} + 2\Delta_n| < 0,6'. \quad (22.4.4)$$

Если условие (22.4.4) не выполняется, то измерение следует повторить. Вычисления при определении Δ_n и i_0 удобнее всего вести на ПМК по программе табл. 22.4.1. Порядок вычислений указан в табл. 22.4.2.

При работе каждая пара отсчетов oc_1 и oc_2 вводится по мере их получения, после чего нажимают клавиши В/О С/П. При вводе oc_1 (обязательно превышающего 360°) необходимо ввести только количество минут дуги и их долей, после чего нажать клавишу \uparrow . Затем ввести количество минут дуги и их долей, содержащихся в oc_2 . Программа составлена для обработки не более пяти пар измерений. После ввода всех пар и последнего останова счета вновь нажать клавишу С/П. Получим окончательный результат: поправка места нуля секстана i_0 — на табло и по адресу П0, личная поправка — по адресу ПД.

Пример 22.4.1. При измерениях 26 июля получили:

№ пары	oc_1	oc_2
1	360°31,7'	359°29,9'
2	31,7	29,7
3	32,0	29,8
4	31,9	29,8
5	31,7	29,8

Решение. Из МАЕ определяем $4R^{\odot} = 63,2'$. Ответы — в табл. 22.4.2.

Оценка точности измерения астронавигационного параметра. Точность измерения высоты светила (единичного отсчета секстана) оценивается величиной средней квадратической погрешности m_{oc} , которая выводится из серии измеренных высот. Оптимальное количество измерений в серии — девять, минимально допустимое — пять. Длительность всей серии измерений не должна превышать 5 мин; светило лучше всего наблюдать на востоке или на западе.

Вычисления m_{oc} рекомендуется выполнять на ПМК или графическим методом с использованием планшетов контроля астронавигационных наблюдений «ПЛАКАН» (рис. 22.4.2), что особенно удобно при тренировках и обучении в силу наглядности.

Определяя m_{oc} с использованием ПМК, по приводимым ниже формулам последовательно вычисляют:

— скорость изменения высоты светила

$$\omega_h = \left[\frac{\cos \varphi \sin HII}{4} + \frac{V \cos (HII - ПУ)}{60 \cdot 60} \right] ' / с, \quad (22.4.5)$$

где V в узлах;

Таблица 22.4.1

Программа для вычисления личной поправки Δ_l и поправки места нуля i
навигационного секстана

Адрес	Команда	Код	Адрес	Команда	Код	Адрес	Команда	Код
00	В/О F ПРГ ↑	0E	32	ПП	53	66	С/П	50
01	6	06	33	67	67	67	—	11
02	0	00	34	ИП3	63	68	ИПВ	6L
03	ху ↗ ↖	14	35	ИП4	64	69	+	10
04	—	11	36	ИП3	63	70	ИПД	6Г
05	КПО	L0	37	ИП4	64	71	—	11
06	ху ↗ ↖	14	38	ПП	53	72	$F_x < 0$	5C
07	/—/	0L	39	67	67	73	75	75
08	КПО	L0	40	ИП5	65	74	/—/	0L
09	—	11	41	ИП6	66	75	0	00
10	ИПД	6Г	42	ИП5	65	76	.	0—
11	+	10	43	ИП6	66	77	4	04
12	ПД	4Г	44	ПП	53	78	—	11
13	ИПС	6C	45	67	67	79	$F_x > 0$	59
14	1	01	46	ИП7	67	80	82	82
15	+	10	47	ИП8	68	81	В/О	52
16	ПС	4C	48	ИП7	67	82	F ○	25
17	С/П	50	49	ИП8	68	83	+	10
18	ИПД	6Г	50	ПП	53	84	2	02
19	ИПС	6C	51	67	67	85	:	13
20	:	13	52	ИП9	69	86	ИПО	60
21	ИПВ	6L	53	ИПА	6—	87	+	10
22	ху ↗ ↖	14	54	ИП9	69	88	ПО	40
23	—	11	55	ИПА	6—	89	ИПС	6C
24	ПД	4Г	56	ПП	53	90	1	01
25	0	00	57	67	67	91	+	10
26	ПО	40	58	ИПД	6Г	92	ПС	4C
27	ПС	4C	59	2	02	93	В/О	52
28	ИП1	61	60	:	13	F АВТ		
29	ИП2	62	61	ПД	4Г			
30	ИП1	61	62	ИПО	60			
31	ИП2	62	63	ИПС	6C			
			64	:	13			
			65	ПО	40			

— отсчеты секстана, приведенные к одному моменту и к одному месту наблюдений

$$OC_{\text{прив}_i} = OC_i - \omega_n \Delta T_i, \quad (22.4.6)$$

где ΔT_i — интервал времени приведения;

— вероятнейшее значение отсчета секстана

$$oc_b = \frac{\sum oc_{прив_i}}{N}, \quad (22.4.7)$$

— отклонение каждого oc от вероятнейшего значения oc_b

$$v_i = oc_b - oc_{прив_i}, \quad (22.4.8)$$

— среднюю квадратическую погрешность единичного oc

$$m_{oc} = k_v \sqrt{\sum v_i^2}. \quad (22.4.9)$$

Значение коэффициента k_v , входящего в последнюю формулу, выбирается из табл. 22.4.3 по количеству измеренных высот N .

Таблица 22.4.2

Аргументы, константы	Адрес	Информация	
		исходная	итоговая
2N + 1	П0	11	$i_0 = -0,8'$
	П1	Последовательно ввести $oc_1 \uparrow oc_2$ В/О С/П для каждой пары. После обработки введенных отсчетов на табло высвечивается количество обработанных пар наблюдений. После введения пятой (последней) пары нажать клавишу С/П	
	П2		
	П3		
	П4		
	П5		
	П6		
	П7		
	П8		
	П9		
ПА			
4R [⊙]	ПВ	63,2'	$\Delta_s = +0,6'$
0	ПС		
0	ПД		

Примечание. Перед началом работы ввести 0 в стектовую память четырехкратным нажатием клавиши \uparrow .

Перед началом работы в ПМК вводится программа из табл. 22.4.4. Ввод исходных данных и организация вычислений указаны в табл. 22.4.5. После ввода аргументов ($N + 1$), φ , V , $ПУ$, $ИП$, k_v и константы 0 по адресам ПС и ПД нажатием клавиш БП 41 С/П рассчитывают значение ω_s , которое после останова высвечивается на табло и хранится по адресу ПА.

Работая с ПМК, измерение высот удобнее всего производить, регистрируя интервал времени приведения ΔT_i как момент измерения по секундомеру. Для этой цели также возможно применение часов. Секундомер пускают в ход в момент измерения первой высоты по команде «Ноль» оператора, работающего с секстаном.

Момент измерения T (в секундах) и число минут дуги, содержащихся в отсчете секстана (с их десятичными долями, число градусов опускается), вводят в память ПМК, для чего набирают $T \uparrow oc \uparrow$ В/О С/П. При этом, если очередной отсчет высоты в серии измерений переходит через целый градус, то к этому отсчету (и всем последующим)

следует прибавить $60'$, если высота увеличивается, или отнять $60'$, если высота уменьшается.

При фиксировании времени с помощью часов под символом T^c следует понимать интервал времени ΔT , от момента первого измерения до момента очередного измерения, выраженный в секундах. Для первого измерения вводится $T^c = 0$.

Таблица 22.4.3

Коэффициент k_0 для расчета средней квадратической погрешности измерения высоты и азимута светила на ПМК

N	5	6	7	8	9
k_0	0,58	0,50	0,45	0,41	0,38

Таблица 22.4.4:

Программа для вычисления СКП измерения астронавигационного параметра

(для вычисления СКП измерения азимута с адреса 41 используется подпрограмма из табл. 24.4.7)

Адрес	Команда	Код	Адрес	Команда	Код	Адрес	Команда	Код
00	В/ОФ ПРГ ← xy	14	20	ИПС	6С	40	С/П	50
			21	:	13	41	ИП6	66
01	ИПА	6—	22	ПД	4Г	42	F cos	1Г
02	×	12	23	ИПД	6Г	43	ИП9	69
03	—	11	24	КИПО	Г0	44	F sin	1С
04	КПО	10	25	—	11	45	×	12
05	ИПД	6Г	26	F x ²	22	46	4	04
06	+	10	27	ИПА	6—	47	:	13
07	ПД	4Г	28	+	10	48	ИП9	69
08	ИПС	6С	29	ПА	4—	49	ИП8	68
09	1	01	30	ИПО	60	50	—	11
10	+	10	31	1	01	51	F cos	1Г
11	ПС	4С	32	—	11	52	ИП7	67
12	С/П	50	33	F x = 0	5E	53	×	12
13	0	00	34	23	23	54	6	06
14	ПА	4—	35	ИПА	6—	55	0	00
15	ИПО	60	36	F y	21	56	F x ²	22
16	ИПС	6С	37	ИПВ	6L	57	:	13
17	+	10	38	×	12	58	+	10
18	ПО	40	39	ПВ	41	59	ПА	4—
19	ИПД	6Г				60	С/П	50
							F АВТ	

После выполнения операции ввода на табло высвечивается номер обработанного отсчета секстана в серии. В изложенном порядке последовательно обрабатываются все os в серии. После этого нажимают клавишу С/П. После останова ПМК значение $m_{ос}$ высвечивается на табло и хранится по адресу ПВ; по адресу ПД находится значение среднего os , вычисленное на момент начала измерений T_1 .

Таблица 22.45

Аргументы, константы	Адрес	Информация (с решением примера)		
		исходная	дополнительная	итоговая
$N + 1$	ПО	10		
	П1		Последовательно ввести T_i и os_i нажатием клавиш $T \uparrow os$ В/О С/П	
	П2			
	П3			
	П4			
	П5			
φ	П6	32,7°		
V	П7	22 уз		
$ПУ$	П8	278°		
$ИП$	П9	251°		
	ПА			
$k_{ос}$	ПВ	0,38		$m_{ос} = 0,4'$
0	ПС			
0	ПД			$ос_{ср}$

Пример 22.4.2. Выполнены измерения высот Солнца.

Начало: $T_c = 14^{\circ}36^m$ $ИП = 250^{\circ}$

Конец: $T_c = 14^{\circ}39$ $ИП = 252$

Момент времени
по секундомеру

Отсчет секстана

00*00 ^c	21°44,9'
20	41,0
34	38,0
46	36,2
01 04	32,3
19	30,2
38	26,7
02 00	21,5
9	20,2

$\varphi = 32,7^{\circ} N$; $V = 22$ уз; $ПУ = 278^{\circ}$.

Определить СКП $m_{ос}$ измерения высоты Солнца.

Решение. Порядок решения и его результат приведены в табл. 22.4.5.

Для оценки качества подготовленности штурмана к измерениям высот светил в хороших условиях могут служить нормативы:

Отл. Хор. Удовл.

при измерениях высот Солнца $m_{ос} 0,3' 0,4' - 0,6' 0,7' - 1,1',$ }
 при измерениях высот звезд $m_{ос} 0,4 0,5 - 0,8 0,9 - 1,6 .$ } (22.4.10)

При оценке точности измерения астронавигационных параметров с помощью планшета «ПЛАКАН» (рис. 22.4.2) выполняют следующее:

— измеряют первый компасный пеленг на светило $KП_1$;

— измеряют высоты светила и соответствующие им моменты времени (при достаточном навыке оператора, работающего на планшете, значения oc могут наноситься на планшет непосредственно по ходу их измерений; моменты времени удобнее регистрировать по секундомеру, пущенному в ход при измерении первой высоты светила);

— измеряют второй компасный пеленг $KП_2$ на светило;

Таблица 22.46

Характеристика точности астронавигационной информации по величине наибольшего размаха R при $N = 5$

R	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
m_{oc}	0,04	0,09	0,13	0,17	0,22	0,26	0,30	0,34	0,39
m_B	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,11	0,13	0,15	0,17
$m_{лпе}$	0,35	0,35	0,35	0,35	0,36	0,36	0,37	0,38	0,39
$\rho_{лп}$	8,30	8,20	8,10	7,90	7,70	7,60	7,30	7,00	6,70
R	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
m_{oc}	0,43	0,47	0,52	0,56	0,60	0,64	0,69	0,73	0,77
m_B	0,19	0,21	0,23	0,25	0,27	0,28	0,30	0,32	0,34
$m_{лпе}$	0,39	0,40	0,42	0,43	0,44	0,45	0,46	0,47	0,49
$\rho_{лп}$	6,40	6,10	5,80	5,50	5,20	5,00	4,80	4,60	4,20
R	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7
m_{oc}	0,82	0,86	0,90	0,95	0,99	1,03	1,08	1,12	1,16
m_B	0,36	0,38	0,40	0,42	0,44	0,46	0,48	0,49	0,51
$m_{лпе}$	0,50	0,51	0,53	0,55	0,56	0,57	0,59	0,60	0,62
$\rho_{лп}$	4,00	3,80	3,60	3,30	3,20	3,00	2,90	2,80	2,60
R	2,8	2,9	3,0	<p>Примечание. Если $N \neq 5$, то сначала по R вычисляют $m_B = K_R R$; затем, входя в таблицу по m_B, получают $m_{лпе}$ и $\rho_{лп}$. Влияние погрешностей исправления измеренных высот на точность высотной линии положения величины $m_{лпе}$ и $\rho_{лп}$ не оценивают.</p>					
m_{oc}	1,20	1,25	1,29						
m_B	0,53	0,55	0,57						
$m_{лпе}$	0,63	0,65	0,67						
$\rho_{лп}$	2,50	2,40	2,20						

— вычисляют средний $KП$ светила в период измерений, а затем его $ИП$ и курсовой угол $KУ = ИП - ПУ$;

— $ИП$ светила выражают в форме азимута полукругового счета A_n ;

— из табл. 17 МТ—75 по φ и A_n выбирают изменение высоты за 10 с; умножая эту величину на 6, находят скорость изменения высоты

вследствие вращения Земли ω_{HT} (она имеет знак *плюс* при восточных пеленгах светила и знак *минус* при западных пеленгах светила);

Планшет „ПЛАНАН“

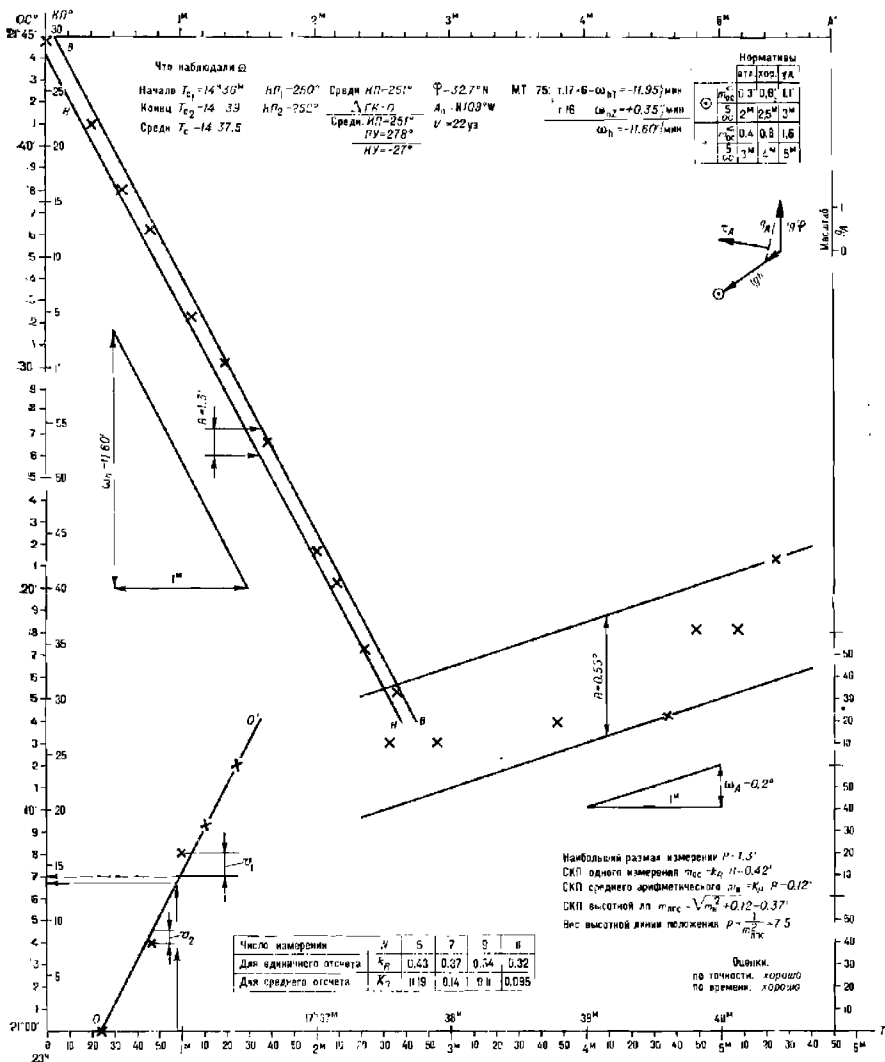


Рис. 22.4.2

— из табл. 16 МТ—75 по V и K_U выбирают скорость изменения высоты светила вследствие перемещения корабля ω_{KZ} ; она имеет знак, указанный в таблице (при движении на светило — знак *плюс*, при движении от светила — знак *минус*);

- вычисляют полную скорость изменения высоты $\omega_h = \omega_{h1} + \omega_{h2}$;
- наносят соответственно моментам измерений на планшет все полученные oc (если это не было сделано в ходе измерений);
- по направлению оси абсцисс прокладывают отрезок, равный 1 мин;
- по направлению оси ординат прокладывают отрезок, равный ω_h ;
- соединив концы построенных отрезков, получают линию теоретического изменения высоты в период наблюдений;
- с помощью параллельной линейки проводят через крайние в нанесенном ряду отметки oc две линии, параллельные линии теоретического изменения высоты: одну (BB) через oc с наибольшим отклонением вверх, другую (HH) — через oc с наибольшим отклонением вниз; рекомендуется при построениях пользоваться масштабом: 10 с в 1 см и 1' в 1 см;
- между полученными линиями по направлению осн ординат измеряют наибольший размах измерений R ;
- из таблицы, помещенной в левом нижнем углу планшета, по числу измерений N в серии выбирают коэффициент k_R для расчета m_{oc} или, если это необходимо, коэффициент K_R для расчета СКП m_Σ среднего отсчета oc_{cp} по результатам данной серии измерений;
- вычисляют

$$m_{oc} = k_R R \text{ или } m_\Sigma = K_R R. \quad (22.4.11)$$

В левом верхнем углу рис. 22.4.2 и в его вычислительных схемах показано решение примера 22.4.2 графическим методом.

При необходимости быстрой, хотя бы и менее точной оценки качества измерений (экспресс-оценки) глазомерно проводят осредняющую линию по нанесенным oc , как это показано слева внизу на рис. 22.4.2. Затем измеряют максимальные отклонения отметок oc от осредняющей линии вверх v_1 и вниз v_2 (по направлению оси ординат), после чего вычисляют наибольший выборочный размах измерений $R = |v_1| + |v_2|$ и СКП единичного измерения $m_{oc} = k_R R$.

Если требуется только качественная оценка выполненных измерений, то она может быть дана непосредственно по величине наибольшего выборочного размаха R :

	Отл.	Хор.	Удовл.
— по Солнцу	до 1'	2'	3'
— по звездам	до 1,2'	2,4'	4,8'

С помощью табл. 22.4.6 при пяти oc в серии измерений можно входить по величине размаха R непосредственно получить значения m_{oc} , m_Σ , частной СКП высотной линии положения $m_{лпс}$ и веса высотной линии положения $p_{лп}$.

Оценка точности измерения пеленга светила. При использовании ПМК сначала вводится программа из табл. 22.4.4, а начиная с 41 шага — подпрограмма из табл. 22.4.7, составленная по формуле

$$\omega_{AT} = \frac{\sin \varphi - \cos \varphi \cos A \operatorname{tg} h}{4 \cdot 60} \text{ (°/с)}. \quad (22.4.12)$$

Ввод исходных данных выполняется согласно таблице:

Адрес	Вводимые аргументы, константы
П0	$N + 1$
П7	Высота светила h
П9	Истинный пеленг $ИП$
П6	Широта места φ
ПВ	Коэффициент k_0 (из табл. 22.4.3)

Значения $КП$ вводятся в ПМК в градусах и их десятых долях, моменты времени по секундомеру — в секундах.

Таблица 22.4.7

Подпрограмма для вычисления скорости изменения азимута вследствие видимого суточного движения светила (дополнение к табл. 22.4.4)

Адрес	Команда	Код	Адрес	Команда	Код	Адрес	Команда	Код
41	ИП6	66	48	×	12	55	0	00
42	F cos	1Г	49	ИП6	66	56	:	13
43	ИП9	69	50	F sin	1С	57	ПВ	4L
44	F cos	1Г	51	—	11	58	С/П	50
45	×	12	52	4	04	F АВТ		
46	ИП7	67	53	:	13			
47	F tg	1E	54	6	06			

Изменением пеленга светила вследствие движения корабля пренебрегают по его малости, что возможно при наблюдениях светила на малых высотах в низких и умеренных широтах. В прочих случаях скорость изменения азимута ω_{AZ} вследствие движения корабля вычисляется по формулам:

$$\Delta A_V = \frac{V}{60} \cos(\tau_A - ПУ), \quad (22.4.13)$$

где V в узлах;

$$\omega_{AZ} = \Delta A_V g_A \text{ (}'/\text{мин}). \quad (22.4.14)$$

При этом направление градиента азимута τ_A находится графическим построением, показанным на рис. 22.4.2 вверху справа; здесь же определяется значение модуля градиента азимута g_A . Значение ΔA_V удобно находить по табл. 16 МТ—75 входом по V и $КУ = \tau_A - ПУ$. При необходимости ω_{AZ} должна быть выражена в размерности $^\circ/\text{с}$ и просуммирована с величиной, находящейся по адресу ПВ после выполнения первого этапа вычислений по программе из табл. 22.4.7.

Решение задачи на планшете «ПЛАКАН» выполняется в том же общем порядке, что и при оценке точности измерения высоты светила. Скорость изменения азимута ω_{AT} светила вследствие вращения Земли получают по табл. 18 МТ—75 следующим путем:

— выбирают из табл. 18 по аргументам φ , A_n , h табличное изменение азимута ΔA_T за 10 с в минутах дуги;

— вычисляют скорость изменения азимута $\omega_{AT} = \frac{\Delta A_T}{10}$, $^\circ/\text{мин}$.

Скорость изменения азимута вследствие движения корабля оценивают согласно формулам (22.4.13), (22.4.14), после чего вычисляют полную скорость изменения азимута $\omega_A = \omega_{AT} + \omega_{AZ}$ и строят на планшете линию теоретического изменения азимута. После нанесения на планшет отметок измеренных КЛ светила определяют размах R и вычисляют $m_{кп}$ согласно первой формуле (22.4.11): $m_{кп} = k_R R$. Справа внизу на рис. 22.4.2 решен пример 22.4.3.

Пример 22.4.3. С корабля, следующего по направлению $ПУ=39^\circ$ со скоростью 8 уз, измерено 7 компасных пеленгов светила:

N	Момент времени T	Отсчет КЛ
1	17 ^h 37 ^m 34 ^s	235,3°
2	55	235,3
3	38 48	235,4
4	39 37	235,4
5	50	235,8
6	40 09	235,8
7	17 40 25	236,1

Место корабля на средний момент измерений: $\varphi=50^\circ N$; $\lambda=17^\circ W$.

Высота светила при наблюдениях КЛ: $h=15^\circ$.

Найти СКП единичного измерения пеленга $m_{кп}$.

Решение. 1. Из табл. 18 МТ—75 для $\varphi=50^\circ$, $A_{лл}=N124,6^\circ W$ и $h=15^\circ$ имеем $\Delta A_T=2,2'$ за $10'$; тогда $\omega_{AT} = \frac{2,2}{10} = 0,22^\circ/\text{мин}$.

Согласно построениям, показанным на рис. 22.4.2, для выбранных из табл. 6 МТ—75 значений $\text{tg } \varphi=1,19$ и $\text{tg } h=0,27$ имеем $g_A=1,4$ и $\tau_A=283^\circ$.

Из табл. 16 МТ—75 по $V=8$ уз и курсовому углу на светило $KУ=283^\circ - 39^\circ = 244^\circ$ находим $\Delta A_V=0,06'$ /мин. Следовательно, $\omega_{AZ}=0,06 \cdot 1,4=0,08'$ /мин, чем можно пренебречь.

2. Выполнив графическое определение размаха $R=0,55'$ для $N=7$ согласно таблице, расположенной на рис. 22.4.2 в его левой нижней части, находим $k_R=0,37$, а затем $m_{кп}=0,37 \cdot 0,55=0,20'$.

Оценка точности измерения наклона горизонта. При использовании наклонмера Н-5 СКП единичного измерения наклона горизонта m_d должна быть около $0,1'—0,2'$. Для ее определения получают серию из 9—11 величин $d=0,5$ ($d_1 - d_2$) и вычисляют $m_d=k_R R$ по наибольшему размаху измеренных величин.

Оценка точности определения поправки часов. Опыт показывает, что при длине секундной стрелки часов не менее 1 см момент слухового приема радиосигнала времени регистрируется со средней квадратической погрешностью $m_u=0,17$ с; предельная погрешность будет около $0,5 \text{ с} \approx 0,12'$. Такая погрешность во времени при выполнении астронавигационной обсервации приведет к долголетнему выносу до 230 м, что несущественно в сравнении с другими погрешностями. Тренировка в регистрации моментов времени производится попутно с тренировкой в измерениях высот светил. Фиксирование моментов изсредней высот и пеленгов светила всегда должно производиться с большой тщательностью, так как ошибка во времени приводит к неизбежной ошибке в астронавигационном параметре, представление о величине которой можно составить по табл. 16, 17, 18 МТ—75 или с помощью формул (22.4.5), (22.4.12) и (22.4.14).

Оценка точности высотной линии положения. Показанные в табл. 22.1.1 статистические оценки точности высотной линии положения имеют вероятностный характер и верны в среднем; всегда

существует возможность того, что на конкретном корабле и в реальных условиях плавания эти оценки могут быть меньше или больше приведенных в этой таблице. Полученные в результате систематических тренировок по изложенной выше методике СКП единичных отсчетов секстана m_{oc} и СКП вероятнейшего отсчета секстана m_s позволяют штурману более реально оценивать величину частной СКП высотной линии положения; при табличной обработке наблюдений:

$$m_{лпс} = \sqrt{m_s^2 + 0,25^2}. \quad (22.4.15)$$

Если же имеется возможность в период проведения тренировок определить эталонное место корабля с точностью на порядок выше точности астронавигационных обсерваций (например, по спутниковой навигационной системе или по высокоточной РНС), то следует путем многократных наблюдений определить величину полной СКП высотной линии положения и значения систематической погрешности высотной линии положения при различных обстоятельствах плавания на данном корабле.

Истинная погрешность высотной линии положения в каждом отдельном случае измерения серии высот находится по отклонению линии положения от эталонного места. Если при расчете элементов высотной линии положения взамен счислимых координат ввести эталонные координаты, то взятая с обратным знаком величина переноса линии положения представит собой поправку для ее приведения к эталонному месту (§ 23.6); сама величина переноса с его знаком представит собой истинную погрешность линии положения при данных наблюдениях. СКП высотной линии положения по истинным ее погрешностям, полученным в одних и тех же условиях, выводится следующим путем:

— вычисляют переносы от эталонных мест по программе для ПКМ, приведенной в § 23.6;

— вычисляют среднее арифметическое значение полученных переносов Δ_c , которое характеризует систематическую погрешность данной группы высотных линий положения:

$$\Delta_c = \frac{\sum n_{эi}}{N}, \quad (22.4.16)$$

где $n_{эi}$ — перенос от эталонного места;

— находят отклонения v_i каждого переноса от Δ_c и вычисляют полную СКП высотной линии положения $m_{лп}$ соответственно по формулам

$$v_i = \Delta_c - n_{эi}; \quad m_{лп} = \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{N-1}}. \quad (22.4.17)$$

При устойчивом значении Δ_c в дальнейших обсервациях переносы целесообразно исправлять поправкой, равной по величине Δ_c и имеющей обратный знак. При неустойчивом значении Δ_c необходимо вывести их среднюю квадратическую величину m_o и учитывать ее для оценки полной СКП высотной линии положения по формуле (22.1.1). Возможные средние значения m_o при различных условиях астронавигационных обсерваций были приведены в табл. 22.1.1. Помня, что никакие предварительные прогнозы не могут заменить реальной оценки качества измерений в конкретных условиях плавания, следует стремиться накапливать личные сведения о точности своих астронавигационных измерений, производимых с помощью астронавигационных средств, имеющихся на корабле.

§ 22.5. ПОДГОТОВКА АСТРОНАВИГАЦИОННЫХ ИНСТРУМЕНТОВ, ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ВРЕМЕНИ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ

Мероприятия при подготовке к плаванию включают проверку исправности астронавигационных средств и предварительное определение их поправок.

Навигационный секстан должен проходить переаттестацию на предприятии гидрографической службы флота не реже одного раза в год; при переаттестации определяется на юстировочном приборе инструментальная поправка секстана и при необходимости производится регулировка величины «мертвого» хода отсчетного устройства. Результаты заносятся в формуляр секстана. При подготовке к плаванию производят проверку параллельности оптической оси дневной трубы плоскости лимба, перпендикулярности большого и малого зеркала плоскости лимба, величины «мертвого» хода отсчетного устройства; далее определяют поправку места иуля и личную поправку системы «штурман — секстан» (§ 22.4). Правила проверок секстана изложены в его техническом описании, входящем в комплект секстана, и в ПШС № 1; их выполнение схематически показано на рис. 23.2.1 б, в, г.

Наклономер проходит переаттестацию наравне с навигационным секстаном. При подготовке к плаванию производят его осмотр и при необходимости очищают оптические детали согласно инструкции по эксплуатации.

Звездный глобус осматривают и проверяют, как указано в § 22.2; наносят видимые места планет для установленного срока похода. При этом следует учитывать, что положение Венеры должно уточняться не реже чем каждую неделю, Марса — через две недели, Юпитера и Сатурна — через месяц; положение Солнца должно уточняться на каждую дату, а положение Луны — на конкретный срок наблюдений.

При подготовке измерителей времени прежде всего проверяют организацию приема и слышимость радиосигналов времени согласно расписанию, приведенному в бюллетене «Эталонные сигналы частоты и времени» (его получают через гидрографическую службу флота). При наличии на корабле электронной системы единого времени (СВЭК) производят ее привязку к эталонным радиосигналам времени, принимают информацию о поправке всемирного координированного времени (гл. 6), проверяют работу часовых станций и всех индикаторов системы времени. По радиосигналам (или по сравнению со СВЭК) определяют поправки морских хронометров и палубных часов. В соответствии с записями в Журнале хронометров и часов за последний месяц строят графики суточных ходов хронометра и палубных часов; по этим графикам проверяют соответствие величины суточного хода, максимальной вариации и среднего отклонения суточного хода техническим условиям, указанным в ПШС № 29. Систематическое изменение хода не должно превышать 0,1 с/сут. Хронометр и палубные часы, не соответствующие техническим условиям, должны быть заменены.

Ход карманных, наручных и морских часов регулируют в корабельных условиях самостоятельно по результатам недельного наблюдения за их поправками. Ход секундометров регулируют по наблюдениям за их показаниями при работе за 15, 30 и 60 мин; при этом эталонные интервалы времени определяют по СВЭК или по хронометру.

Вычислительные средства проверяют путем решения тестовых задач в соответствии с правилами их технической эксплуатации. Проверяют наличие астронавигационных пособий и бланкового материала.

Глава 23

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА КОРАБЛЯ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ ВЫСОТ НЕБЕСНЫХ СВЕТИЛ

§ 23.1. ПРИНЦИП АСТРОНАВИГАЦИОННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА КОРАБЛЯ

Астронавигационной обсервацией называется определение места корабля по наблюдениям естественных или искусственных небесных ориентиров (звезд, планет, Солнца, Луны или искусственных спутников Земли, выведенных на орбиту для решения задач навигации). Целью этих наблюдений являются измерения астронавигационных параметров — совокупности величин, определяющих место корабля на земной поверхности относительно географических мест небесных ориентиров. В географической системе координат (рис. 23.1.1) место корабля M определено направлением отвесной линии OZ_M , т. е. направлением гравитационного поля, в точке наблюдений относительно оси вращения

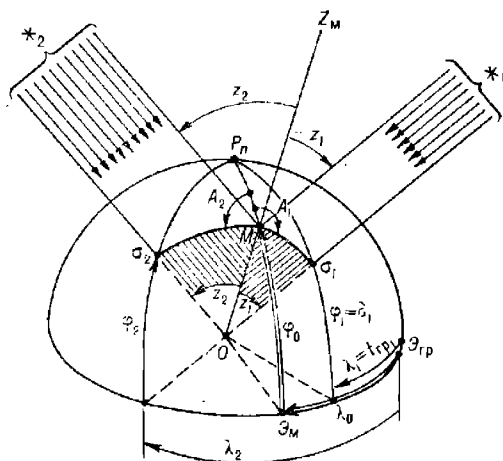


Рис. 23.1.1

Земли OP_n и относительно гринвичского меридиана $P_n Э_{гр}$. Долгота места λ_0 указывает положение местного меридиана $P_n M Э_M$ относительно начального гринвичского меридиана $P_n Э_{гр}$; широта места φ_0 указывает положение корабля на местном меридиане M относительно экватора $Э_{гр} Э_M$.

В основе астронавигационной обсервации по наблюдениям естественных светил лежит определение направления отвесной линии OZ_m в месте наблюдений относительно направлений на наблюдаемые светила \star_1 и \star_2 . Поскольку направления на наблюдаемые светила определяются их экваториальными координатами, то первым необходимым этапом астронавигационной обсервации является определение склонений и гринвичских часовых углов светил в моменты T_i измерений астронавигационных параметров. Как известно, экваториальные координаты светил (склонение δ и гринвичский часовой угол $t_{гр}$) тождественны координатам φ и λ их географических мест на земной поверхности, что для случая двух светил выражается символическими записями:

$$\sigma_1 (\varphi_1 = \sigma_1; \lambda_1 = t_{гр1}) \text{ и } \sigma_2 (\varphi_2 = \sigma_2; \lambda_2 = t_{гр2}). \quad (23.1.1)$$

Для определения места корабля M относительно географических мест светил σ_1 и σ_2 в качестве астронавигационных параметров могут быть измерены:

- расстояния $z_1 = 90^\circ - h_1$ и $z_2 = 90^\circ - h_2$;
- углы между плоскостью местного меридиана и плоскостями вертикалов светил, т. е. азимуты A_1 и A_2 ;
- разности расстояний вида $\Delta z = z_2 - z_1$;
- углы между плоскостями вертикалов светил вида $\Delta A = A_2 - A_1$ (здесь азимуты взяты в круговом счете).

В зависимости от количества наблюдаемых светил и возможностей астронавигационных инструментов для определения места корабля могут быть измерены:

- при наблюдениях одного светила — высота $h = 90^\circ - z$ и азимут A одновременно либо две высоты разновременно (после прихода светила в видимом суточном движении из положения \star_1 в положение \star_2 и т. д.);
- при наблюдениях двух светил и более — высоты нескольких светил либо высоты и азимуты, либо высоты и разности азимутов и т. п.

Поэтому вторым необходимым этапом астронавигационной обсервации являются измерения высот и азимутов светил, а затем исправление поправками измеренных величин для получения их истинных значений.

Азимутальные наблюдения светил рассматриваются в гл. 24, а обсервации по спутниковой навигационной системе — в гл. 25.

В случае наблюдения высот светил (рис. 23.1.2) отсчет секстана исправляется его общей поправкой Δ_{oc} , в результате чего получают измеренную высоту h' — угол между направлением на видимый горизонт в плоскости вертикала светила и направлением на наблюдаемое место светила \star_1 , т. е. $h' = oc + \Delta_{oc}$.

Для определения направления отвесной линии в момент измерения высоты секстан методом «покачивания» устанавливается в плоскости вертикала светила, а затем при исправлении измеренной высоты h' вводят поправку Δh_d за наклонение горизонта d при возвышении глаза наблюдателя над уровнем моря, равным e . В результате получают $h_a = h' - \Delta h_d$ — видимую высоту светила над плоскостью истинного горизонта.

Для определения истинного направления на светило \star_1 вводят поправку Δh_p за астрономическую рефракцию p и получают истинную топоцентрическую высоту светила $h_{тц} = h_a - \Delta h_p$ в месте расположения глаза наблюдателя G . Лучи света, приходящие от звезды \star_1

в глаз наблюдателя Γ и в центр Земли O , можно принять параллельными вследствие очень больших расстояний до звезд. Поэтому топоцентрическая высота звезды равна ее геоцентрической высоте $h_{\text{тц}} = h$ и топоцентрическое зенитное расстояние $z_{\text{тц}}$ равно геоцентрическому z_1 , которое и является искомым расстоянием от географического места светила σ_1 до корабля M . Для светил Солнечной системы топоцентрическую высоту приводят к центру Земли введением поправки Δh_p за параллакс p светила по высоте.

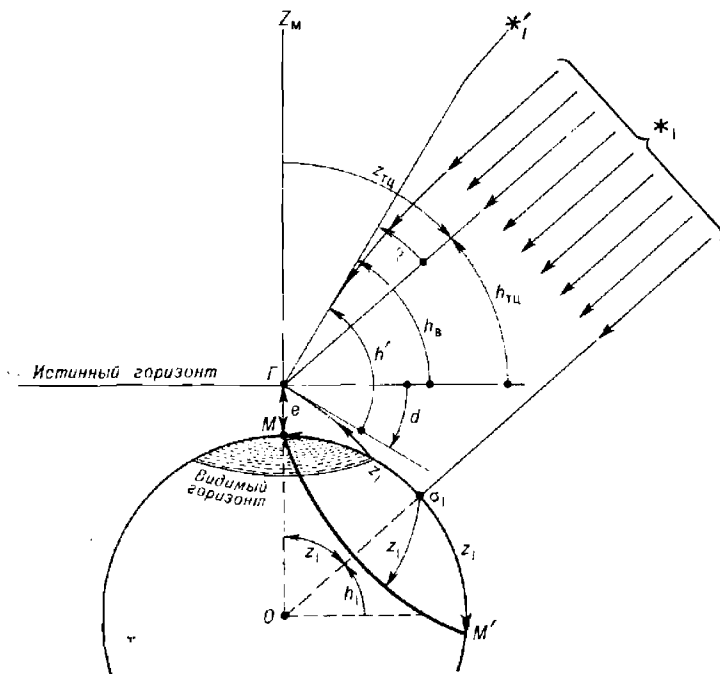


Рис. 23.1.2

Третьим этапом наблюдения является вычисление наблюдаемых координат φ_0 , λ_0 места корабля M , исходя из координат δ_1 , $t_{\text{гр}_1}$ и δ_2 , $t_{\text{гр}_2}$ географических мест светил σ_1 и σ_2 и полученных истинных значений астронавигационных параметров. Истинной высоте светила на земной поверхности соответствует геометрическое место точек, из которых в один и тот же момент светило наблюдается на одной и той же высоте, — круг равных высот MM' . Центром круга равных высот является географическое место светила σ_1 , а его радиус равен зенитному расстоянию светила z_1 . Уравнением круга равных высот является формула

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos (t_{\text{гр}} \pm \lambda). \quad (23.1.2)$$

Для отыскания неизвестных φ_0 и λ_0 необходимо каким-либо методом решить систему не менее чем двух уравнений кругов равных высот (§ 23.5, 23.7—23.9).

Любая астронавигационная наблюдение может быть успешной только при выполнении следующих принципиальных требований.

1. Момент измерения астронавигационного параметра должен быть зафиксирован с погрешностью не более 0,5 с; погрешность в поправке u_c часов также не должна превышать эту величину. Любая погрешность в определении всемирного времени наблюдений $T_{гр} = T + u_c$ приводит к выносу линий положения по долготе или обсервованного места по направлению на восток (если $T_{гр}$ меньше верного) или на запад (если $T_{гр}$ больше верного). Погрешность определения долготы обсервованного места корабля равна погрешности в поправке часов. Например, погрешность в поправке часов, равная 4 с, изменит обсервованную долготу на $1'$; погрешность в поправке, равная 1 мин, приведет к погрешности в долготе $15'$ и т. п. Промах в расчетах $T_{гр}$ не может быть устранен увеличением числа измеряемых астронавигационных параметров.

2. Астронавигационный инструмент должен быть точно стабилизирован в плоскости вертикала светила и в плоскости истинного горизонта (либо должно быть точно известно наклонение видимого горизонта). Любая погрешность определения положения отвесной линии при астронавигационных наблюдениях по высотам и азимутам светил принципиально неустранима никакими методами обработки. Погрешность фиксирования направления отвесной линии в момент измерений астронавигационных параметров вызовет равновеликую погрешность обсервованного места.

3. Измерения должны быть тщательными. Смещение круга равных высот на местности непосредственно равно погрешности в истинной геоцентрической высоте светила; например, погрешность измерения высоты, равная $1'$, смещает круг равных высот на 1 милю вдоль направления на географическое место светила и т. п. Хорошие астронавигационные наблюдения являются лучшим показателем личного профессионального мастерства штурмана, его искусства в точных морских измерениях и вычислениях.

При соблюдении изложенных условий астронавигационные наблюдения точны и надежны; они могут применяться в любом районе плавания, являясь во многих случаях наилучшими из возможных или единственно возможными.

§ 23.2. АСТРОНАВИГАЦИОННЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Непосредственная подготовка к астронавигационным наблюдениям начинается за 20—30 мин до запланированного срока их выполнения (гл. 22).

Определение поправки рабочих часов и контроль вычисления всемирного времени. Поправка рабочих часов u определяется по радиосигналам времени (гл. 6) или по сличению часов с хронометром. Поправка часов должна быть определена двумя наблюдателями, независимо друг от друга; при расхождении полученных ими поправок часов следует найти причину промаха и выполнить работу заново. Если наблюдения выполняются с секундомером, то вычисляется поправка хронометра, и секундомер пускают в ход непосредственно перед началом измерений, записывая момент пуска по хронометру $T'_{хр}$.

При работе астрономического расчета производится обязательная сверка всемирного времени: поправки всех участвующих в работе часов определяют полностью независимо, затем по общей команде «Ноль» регистрируют показания всех часов в один и тот же физический момент. Придав к показаниям каждого часов их поправки, получают значение всемирного времени $T_{гр} = T_i + u_i$, которое должно получиться

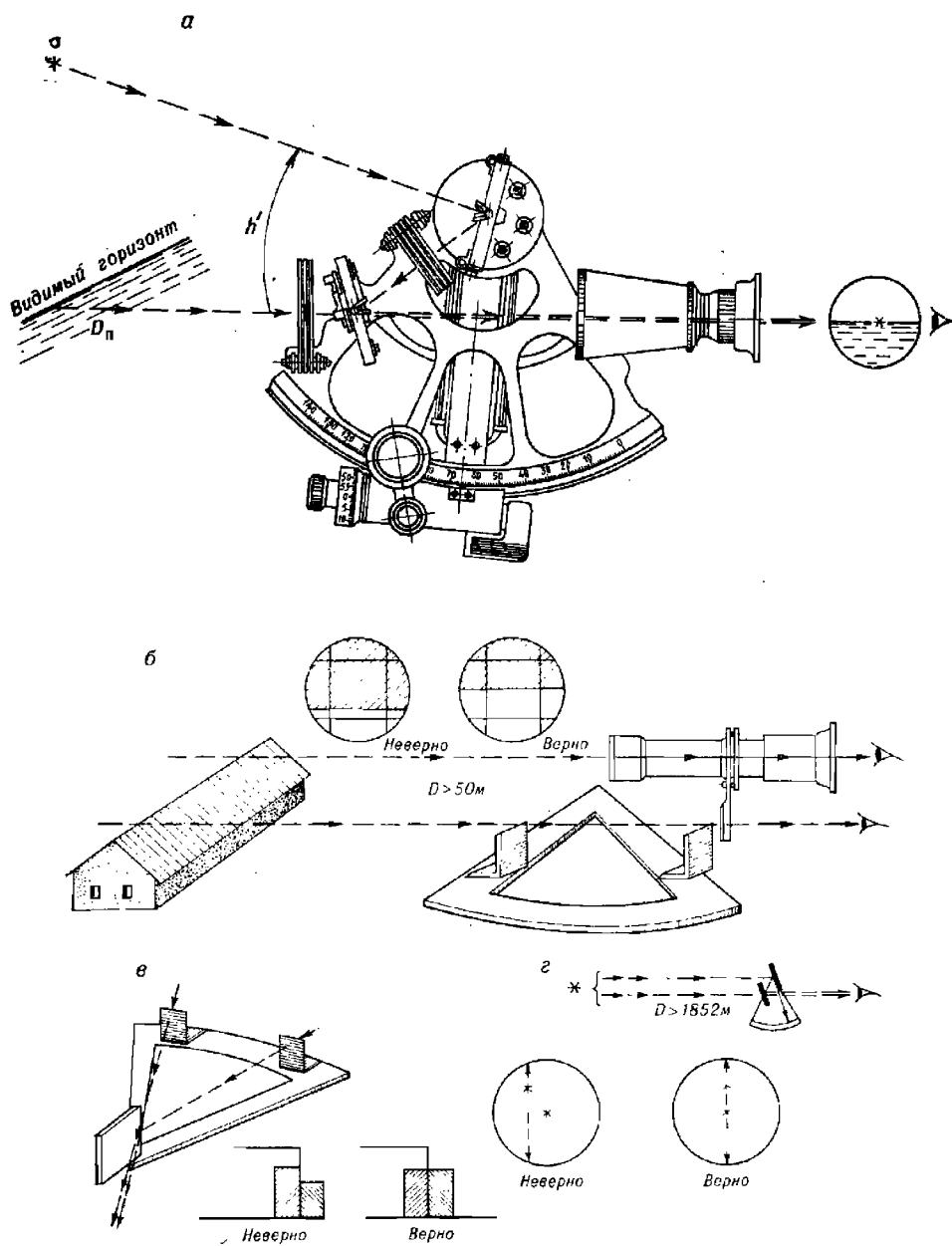


Рис. 23.2.1

одинаковым по всем часам, что подтверждает правильность определения поправок часов. В случае расхождения значений всемирного времени $T_{гр}$ поправки u_i всех часов определяют заново. Вычисления ведут по схемам, приведенным в Записной книжке штурмана (ЗКШ) и показанным в табл. 23.9.4.

Определение поправки индекса i секстана и личной поправки системы «штурман — секстан» Δ_n . Перед определением поправки секстана выполняют проверки перпендикулярности большого и малого зеркала плоскости лимба (рис. 23.2.1, θ и z); в экстренных случаях правильность положения зеркал можно проверить, если направить трубу на линию горизонта и вращать секстан около оптической оси трубы — совмещенные в начале прямоугольное и отраженное изображения горизонта не должны расходиться.

Поправка индекса секстана в принципе должна всегда определяться по тому объекту, который является прямоугольным в измеряемом угле (рис. 23.2.1, a). При измерении высоты светила таким объектом является линия видимого горизонта, но иногда им может быть кромка льда, урез воды у береговой линии, ватерлиния другого корабля и т. п. Если при измерении астронавигационного параметра дальность D_n до прямоугольного объекта больше одной мили, то поправка индекса i равна поправке места нуля секстана i_0 и ее можно определять по любому другому объекту, также удаленному от корабля более чем на 1 милю (например, по звезде или по Солнцу). В противном случае поправка индекса будет отличаться от поправки места нуля на величину параллакса зеркал секстана. Ее необходимо определять именно по прямоугольному предмету в измеряемом угле.

Другим важным правилом является всегда одностороннее вращение отсчетного барабана как при определении поправки индекса, так и при измерении высоты светила: при соблюдении этого правила в ходе измерения высоты светила происходит компенсация погрешностей, возникающих под влиянием «мертвого» хода в отсчетном устройстве.

При наблюдениях Солнца поправка индекса и личная поправка определяются совместно по правилам, изложенным в § 22.4. Если отсутствует ПМК, то поправка индекса определяется однократно: вначале проверяют качество измерений по условию

$$|4R_n^{\odot} - 4R^{\odot} + 2\Delta_n| < 0,6',$$

где личная поправка Δ_n учитывается по предыдущим наблюдениям, а затем вычисляют поправку индекса (в дуговых минутах):

$$i = 0,5 [(360 - oc_1) + (360 - oc_2)]. \quad (23.2.1)$$

По предвычисленной для целеуказания высоте светила из формуляра секстана выбирают его инструментальную поправку s и находят общую поправку секстана $\Delta_{oc} = i' + s + \Delta_n$.

При наблюдениях звезды, планеты, Луны, линии горизонта и т. п. совмещают прямоугольное и отраженное изображение объекта, считают oc_i и вычисляют поправку индекса:

$$i = 0(360) - oc_i; \quad (23.2.2)$$

далее находят общую поправку секстана.

Учет личной поправки может быть необходим, так как ее величина в зависимости от качества секстана и свойств глаза конкретного наблюдателя, а также внешних условий плавания, в ряде случаев достигает $1'$ и бывает подвержена суточному ходу порядка $0,4'$.

Температура и давление воздуха измеряются, если предполагаются измерения высот менее 50° .

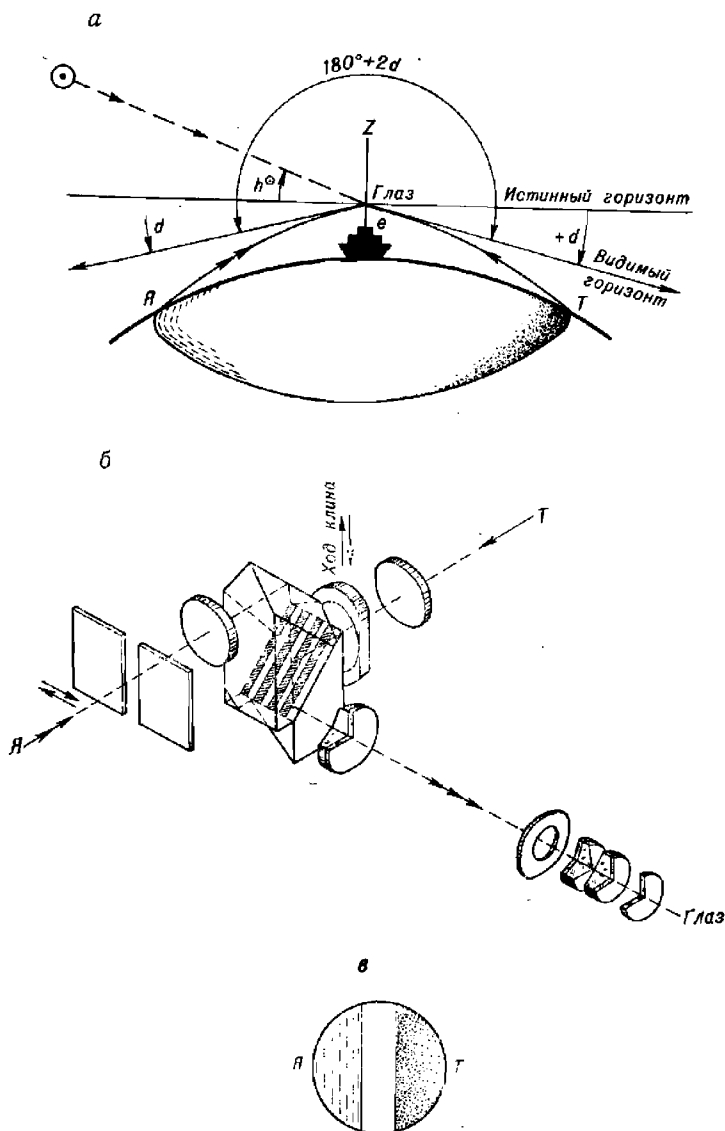


Рис. 23.2.2

Измерение наклона видимого горизонта d . Оно производится наклономером по двум направлениям: в плоскости вертикала наблюдаемого светила (рис. 23.2.2) и в перпендикулярном направлении. Равенство двух полученных таким путем наклонов горизонта подтверждает надежность его измерений и указывает на отсутствие существенной асимметрии наклона, что служит признаком хорошей точности

всей обсервации. Правила измерений зависят от конструкции наклономера и излагаются в его описании. Надо помнить, что измеренное значение положительного наклонения ($+d$) (рис. 23.1.2 и 23.2.2) при измерении высоты светила вычитается.

Принцип измерения наклонения иллюстрирует рис. 23.2.2, а, где буквой $Я$ обозначен яркий участок горизонта под Солнцем, а буквой T — менее освещенный участок горизонта в противоазимуте. На рис. 23.2.2, б показан ход лучей в наклонномере Н-5 и вид в его окуляре до совмещения изображений участков горизонта $Я$ и T .

Рекомендуется по возможности повторить определение величин u , i , d после окончания измерений высот, что позволит проверить стабильность этих поправок и принять в расчет их средние значения, в наибольшей степени соответствующие условиям измерений высот.

Проверка секундомера. Работу секундомера в период измерений можно проверить, если по окончании измерений высот остановить его на некотором показании хронометра T_{xp}'' . Сравнение показания секундомера при его остановке и прошедшего интервала времени по хронометру после пуска секундомера $T_{xp}'' - T_{xp}'$ позволяет выявить погрешность показаний секундомера и учесть ее при расчете $T_{гр}$ (пример см. в описании МАЕ, § 4).

Измерение высот светил. Измерение высот, как правило, выполняет астронавигационный расчет в составе пары операторов: первый номер в паре измеряет высоты светил, второй — измеряет время и ведет записи в ЗКШ. Затем измерения проверяются на отсутствие промахов, после чего операторы меняются ролями и повторяют измерения. При необходимости все наблюдения может выполнять один оператор, но менее точно и менее надежно. Никогда не следует пренебрегать взаимным контролем на промахи даже при работе двух операторов, так как такой контроль снижает вероятность появления промахов при измерениях в десятки раз.

Перед началом измерений высот необходимо оценить внешние условия наблюдений и позаботиться о том, чтобы они были наилучшими из возможных. Для этого необходимо:

- оценить условия видимости горизонта и тенденцию к их изменению в ходе измерений; в ясную погоду четкий горизонт лучше наблюдать с высоких надстроек; в пасмурную погоду, при неотчетливом горизонте, следует находиться с секстаном возможно ближе к уровню моря;
- при значительной качке размещаться ближе к диаметральной плоскости корабля и к центру его качания, приурочивая моменты измерений к выгодному положению корабля на качке;
- выбирать место наблюдений так, чтобы оно было защищенным от ветра и потоков горячего воздуха; это место не должно забрызгивать волна, и оно не должно подвергаться тряске;
- сумеречные наблюдения стремиться выполнять в наиболее светлую часть сумерек при равномерной освещенности горизонта под всеми наблюдаемыми светилами. Нарушение этой рекомендации приводит к «сумеречному эффекту» — выносу звездных обсерваций на несколько миль преимущественно в сторону, противоположную точке захода или восхода Солнца. Эти наблюдения лучше производить в то время, когда естественная освещенность позволяет снять отсчеты секстана и показания часов без искусственной подсветки шкал и циферблата;

— при ночных наблюдениях не допускать засвечивания глаза при измерениях или при считывании отсчетов секстана, так как действие света в течение 1—3 мин полностью нарушает световую адаптацию глаза (она восстанавливается только через полчаса), что ухудшает качество измерений; полезно перед наблюдениями засветить глаза красным светом в течение 10—15 мин;

— при наблюдениях в лунную ночь избегать измерений высот по линии азимута Луны, так как здесь появляются ложные горизонты.

На качестве измерений самым существенным образом сказываются внутреннее психофизиологическое состояние и личные особенности наблюдателя. Знания наблюдателя об объекте наблюдений непосредственно влияют на полноту и точность наблюдений. Наблюдение не сводится только к восприятию наблюдаемого; в нем непосредственно участвует мышление и прежде всего сравнение наблюдаемого с теми представлениями о нем, которые имеются в памяти. Необходимо позаботиться о том, чтобы представления наблюдателя о выполняемой им работе и объектах наблюдения были бы ясными, четкими и осмысленными до мельчайших деталей. Волевое устремление наблюдателя к получению результата наилучшей точности — необходимое условие высокого качества измерений.

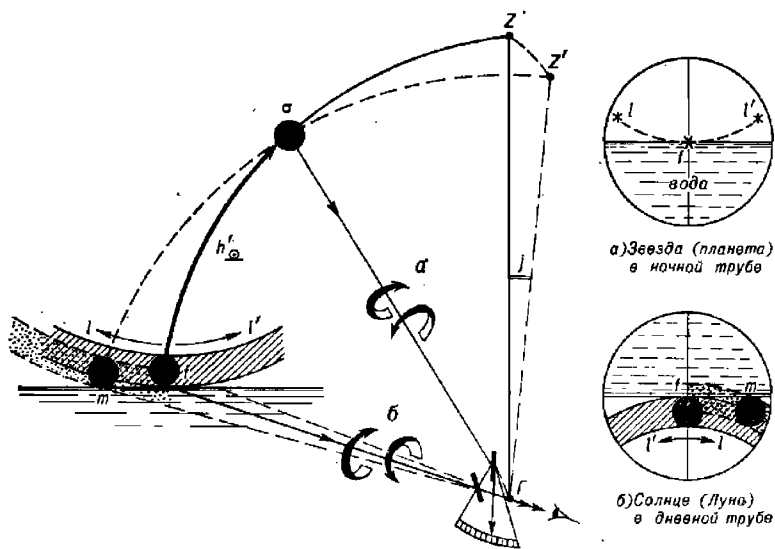


Рис. 23.2.3

Измерение высоты светила состоит из двух этапов.

1. Совмещение изображения светила в трубе секстана с видимым горизонтом (рис. 23.2.1, а и 23.2.3). Оно может быть выполнено одним из следующих методов:

— по данным целеуказания (предвычисленным высоте и азимуту на момент наблюдений, § 22.3), что особенно удобно при совместных наблюдениях Солнца, Венеры и Луны днем и при наблюдениях звезд в светлую часть сумерек;

— приведением светила на горизонт движением алидады секстана, что удобно при наблюдениях ярких светил и отсутствии данных целеуказания;

— приведением горизонта к светилу движением алидады при перевернутом положении секстана (лимбом и отсчетным устройством вверх), что удобно при наблюдениях звезд малой яркости на «богатом» ими участке небосвода.

2. Совмещение изображения светила в трубе секстана с той точкой горизонта, через которую в данный момент проходит плоскость вертикала светила. Эта точка отыскивается малым движением секстана вдоль горизонта и легким покачиванием его:

- а) либо относительно луча, идущего от светила σ ,
- б) либо относительно луча, идущего от горизонта.

Положение секстана в плоскости вертикала

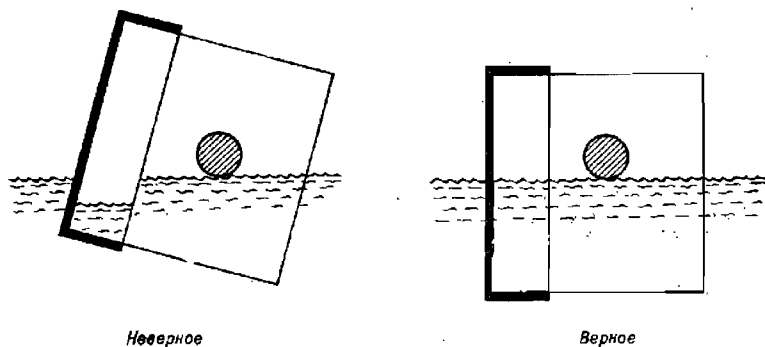


Рис. 23.2.4

При этом изображение светила описывает дугу $l-l'$; искомая точка f есть точка касания этой дуги к горизонту. Точку f можно также найти путем установки секстана в плоскости вертикала с помощью специальной призмы-стабилизатора, вмонтированной в трубу секстана (рис. 23.2.4). В последнем случае при верном положении секстана в плоскости вертикала светила горизонт виден сплошной линией, а при неверном положении его — изображения в призме и в зеркале расходятся. Необходимость тщательной стабилизации визирной плоскости секстана в плоскости вертикала светила видна из табл. 23.2.1, где даны погрешности измеряемой высоты при различных значениях угла отклонения секстана j от плоскости вертикала в момент подачи команды «Ноль» при измерении h' . Как уже отмечалось, погрешность в высоте непосредственно равна погрешности в положении круга равных высот; при этом всякое измерение вне вертикала светила приводит к смещению круга равных высот по направлению на светило, так как неверно измеренная высота $h = \sigma t$ больше верной h' (см. рис. 23.2.3).

Само совмещение изображения светила с точкой f выполняется либо методом ожидания прихода светила на заранее установленный oc (при измерениях быстро изменяющихся высот на восточной или на западной стороне горизонта), либо методом приведения светила в касание с горизонтом путем вращения отсчетного барабана секстана (при

малой скорости изменения высоты и при измерениях в облачную погоду). В обоих методах необходима тщательная стабилизация секстана в плоскости вертикала светила «покачиванием» или с помощью призмы.

Таблица 23.2.1

Погрешность измерения высоты светила, возникающая из-за отклонения визирной плоскости секстана на угол j от вертикала светила, минуты дуги

Угол отклонения j от вертикала (рис. 23.2.3)	Высота светила h							
	5°	10°	20°	30°	45°	60°	80°	85°
1°	0,0	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2	0,1	0,0
2°	0,2	0,4	0,7	0,9	1,0	0,9	0,4	0,2
3°	0,4	0,8	1,5	2,0	2,4	2,0	0,8	0,4
4°	0,7	1,4	2,7	3,6	4,2	3,6	1,4	0,7

Днем при плохом горизонте под Солнцем высоту светила можно измерить приемом «через зенит» (если $h' > 60^\circ$): обычным методом приближенно измеряют высоту h_{\odot}^z верхнего края Солнца, вычисляют

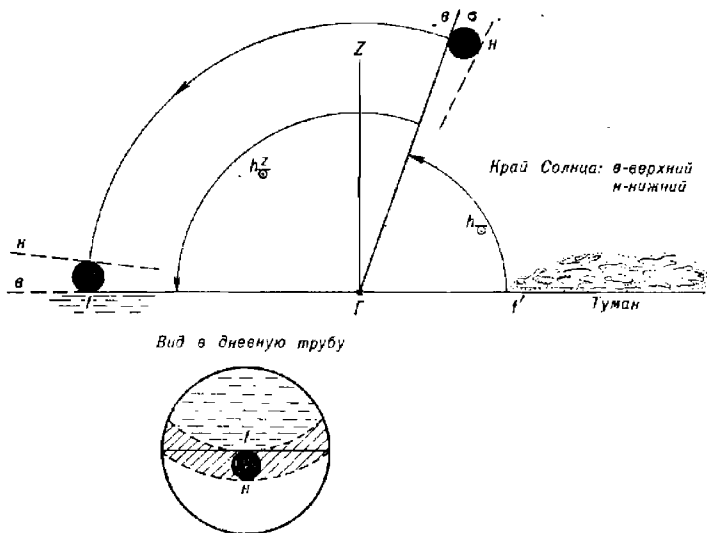


Рис. 23.2.5

отсчет секстана для измерения высот через зенит $h_{\odot}^z = 180^\circ - h_{\odot}$ и устанавливают его на секстане. Затем поворачиваются спиной к Солнцу и измеряют углы h_{\odot}^z , совмещая край светила с горизонтом путем вращения отсчетного барабана (рис. 23.2.5).

Высота светила может быть также измерена над береговой чертой, над кромкой льда, над ватерлинией корабля в азимуте Солнца; расстояние до них D_n измеряется РЛС или дальномером. В этих случаях выгоднее иметь $D_n > 1$ мили, а высоту глаза наблюдателя — малой. При $D_n < 1$ милл поправка секстана должна быть определена по прямовидимому предмету.

Если наблюдения в трубу секстана очень затруднены (например, из-за забрызгивания волной и т. п.) и погрешность измерений до 2—3' признается допустимой, то высоты можно измерять без трубы, т. е. невооруженным глазом.

Рекомендации по повышению точности измерений высот:

— точность результата измерений повышается, если измерять высоты сериями (оптимально — по пять высот) и выводить вероятнейшие высоты; каждое измерение должно быть сделано тщательно;

— в каждой серии первые два-три отсчета рекомендуется считать «пристрелочными» и отбрасывать;

— при наблюдениях Солнца лучше совмещать с горизонтом его нижний край, а при плохой видимости краев — совмещать горизонт и середину диска;

— каждое измерение необходимо производить с таким же односторонним последним движением отсчетного барабана, как и при определении поправки секстана;

— при ночных наблюдениях звезд и планет отсчеты лучше считать тем глазом, которым не визирировалось совмещение светила и горизонта.

Запись результатов измерений и их контроль. Фиксирование момента измерения (секунды, минуты, часы) производится по команде «Ноль» оператора на секстане; записи T и oc ведутся в ЗКШ.

Важное предупреждение. Во избежание промаха при считывании или записи oc и T немедленно после окончания записи измерений данной серии выполняется контроль: первый номер передает секстан второму, который проверяет значение последнего oc , второй номер передает часы (секундомер) первому, который проверяет правильность отсчета и записи времени (минут и часов). Обязательным приближенным способом контроля качества измерений и расчетов является сравнение и близкое совпадение третьего oc_3 и третьего момента T_3 регистрации (в серии из пяти измерений) со средними oc и T , выведенными из пяти измерений.

Одиночный наблюдатель может регистрировать моменты измерений по секундомеру или по часам, отсчитывая в последнем случае в уме интервал времени от команды «Ноль» до регистрации момента по часам, а затем отбрасывая этот интервал от зафиксированного показания часов.

По окончании измерения высот в серии измеряют и записывают компасный пеленг $KП$ светила. Он используется далее в процессе приведения высот к одному месту наблюдений, для оценки четверти горизонта при расчетах счислимго азимута, для контроля правильности прокладки высотных линий положения и т. п. Длительность измерений в одной серии не должна превышать 5 мин.

Результатом наблюдений высот светил в серии являются вероятнейшие (средние арифметические) значения высоты (отсчета секстана) и момента измерения T , вычисляемые по формулам

$$oc = \frac{\sum oc_i}{N}; \quad T = \frac{\sum T_i}{N}, \quad (23.2.3)$$

где N — число отсчетов.

Графическое определение вероятнейшего отсчета секстана применяется чаще всего при выполнении обсервации методом предвычислений (для получения среднего $ос$ непосредственно на момент предвычислений T_n); в масштабе не мельче $1' = 1$ см по высоте и не мельче $10 с = 1$ см по времени строят график высот (рис. 22.4.2, слева внизу), на который наносят отметки всех $ос$. Далее вычисляют полную скорость изменения ω_h высоты светила по табл. 17 и 16 МТ—75: $\omega_h = \omega_{hT} + \omega_{hZ}$ в размерности $'$ /мин, затем строят треугольник изменения высот ($\Delta h'$ за 1 мин). Ориентируясь по наклону линии ω_h , проводят осредняющую линию OO' между отметками одиночных $ос$. Далее на заданный момент T_n по осредняющей считывают вероятнейший $ос$.

§ 23.3. ВЫЧИСЛЕНИЕ КООРДИНАТ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ МЕСТ СВЕТИЛ НА МОМЕНТЫ ИХ НАБЛЮДЕНИЯ

Координаты δ и $t_{гр}$ географических мест светил Солнечной системы на каждый целый час всемирного времени даны в МАЕ. Там же даны склонения δ и звездные дополнения τ^* (звездные углы) навигационных звезд и на каждый целый час $T_{гр}$ даны величины гринвичского часового угла $t_{гр}^{\circ}$ точки Овна, что позволяет найти гринвичский часовой угол $t_{гр}^* = t_{гр}^{\circ} + \tau^*$ для наблюдавшейся звезды. Поправки за минуты и секунды всемирного времени после ближайшего меньшего целого часа вводятся в готовом виде из приложенных к МАЕ интерполяционных таблиц, как показано в табл. 23.3.1.

Вычисление δ и $t_{гр}$ любых светил на ПМК при выборке исходных данных из МАЕ изложено в § 22.3 (табл. 22.3.7, адреса 00—28); там же приводятся правила этих вычислений.

Для вычисления экваториальных координат любых светил на ПМК предназначен Астронавигационный альманах на 1986—1990 гг., № 9009, изд. ГУНиО МО, 1987; эта же задача для звезд и Солнца решается на ЭКВМ «Спика», на ШВК «Электроника МК-52-Астро», по Сборнику программ СП-1—84, изд. ГУНиО МО, 1985.

Если перечисленные средства отсутствуют, то задачу можно решить на любом микрокалькуляторе с помощью табл. 21.2.1, 23.3.2, 23.3.3, 23.3.4. Этими таблицами можно пользоваться до 2000 г. при условии, что погрешность числимой высоты Солнца, не превышающая $0,5'$, и погрешность числимой высоты звезды — $1,5'$ допустимы по обстоятельствам плавания. При навигационном определении поправки курсоуказателя с точностью до доли градуса и оценке астронавигационной обстановки влиянием погрешностей вычислений по упомянутым таблицам можно пренебречь. Программы и правила этих вычислений даны в табл. 23.3.5—23.3.7.

Вычисление координат светил на непрограммируемом микрокалькуляторе. При вычислениях по табл. 23.3.2—23.3.4 и 21.2.1 на непрограммируемом микрокалькуляторе вначале находят всемирное время $T_{гр}$ (согласно пп. 6—11 табл. 23.3.1). Затем необходимо:

- 1) рассчитать часовой угол точки Овна (звездное время), для чего:
- а) заданный момент $T_{гр}$ представить в часах и их долях:

$$T_{гр}^u = T^c + (T^s : 60 + T^m) : 60;$$

Таблица 23.3.1

Вычисление момента наблюдений светила по всемирному времени.
 Вычисление местного часового угла и склонения светила
 (метод перемещения счислимго места)

1. _____ (район плавания)					
№ п.п.	Аргументы и действия	Условн. обозн.	Вычисления для 1 дл		
2	Счислимое место на момент T_c (см. п. 6)	φ_c			ол
3		λ_c			
4	Округлить φ_c до градусов	φ_n			$\Delta_n =$
5	Наблюдали светило	Год:			
6	Судовое время наблюдений	Дата, T_c	Месяц:	д	ч м
7	Принятый на корабле часовой пояс	$N_c \frac{E-}{W+}$		
8	$= 6 \pm 7$ Гринв. дата	Прибл. $T_{гр}$	д	ч м
9	Момент по рабочим часам	T		ч м с
10	Поправка рабочих часов	u			
11	$= 9 \pm 10$	$T_{гр}$		ч м с	
12	Из МАЕ по пп. 8, 11	t_T			$\bar{\Delta} =$
13	Из МАЕ по п. 11	$\Delta_1 t$			↑ К О Н Т Р О Л ь ↓
14	Из МАЕ по $\bar{\Delta}$	$\Delta_2 t; \dots$			
15	$= 12 + 13 + 14$	$t_{гр}$			
16	$t_{гр} \pm 360^\circ$, если это необходимо	---			
17	Подобрать λ по п. 3	$\lambda_n \frac{E+}{W-}$			
18	$= 15 (16) + 17$	t_n		° W	Контроль:
19	При $t_w > 180^\circ : 360^\circ - t_w$	t_n		E	$t_w + t_E =$ $= 360^\circ$
20	Из МАЕ по пп. 8, 11	δ_r		°	$\Delta =$
21	Из ОИТ МАЕ по п. 11	$\Delta \delta$			Контроль знака $\Delta \delta$
22	$= 20 \pm 21$	δ			

б) результат выразить в долях суток и в долях градуса

$$T_{\text{гр}}^{\text{сут}} = T_{\text{гр}}^{\circ} : 24; \quad T_{\text{гр}}^{\text{сут}} \times 360 = T_{\text{гр}}^{\circ} \quad (\text{округляя } T_{\text{гр}}^{\circ} \text{ до } 0,0001);$$

в) придать к $T_{\text{гр}}^{\text{сут}}$ целое число суток, прошедшее от начала календарного месяца до гринвичской даты наблюдений (например, если наблюдали 29 марта, то придать 28);

г) из табл. 23.3.2 выбрать поправку года $\Delta T_{\text{г}}$ и прибавить к величине, полученной в п. 1в; результат даст приведенный момент D ;

д) из табл. 23.3.3 выбрать исходное $t_0^{\text{гр}}$ и вычислить гринвичский часовой угол точки Овна $t_{\text{гр}}^{\text{гр}}$:

$$t_{\text{гр}}^{\text{гр}} = 0,98564D + t_0^{\text{гр}} + T_{\text{гр}}^{\circ}$$

и, если необходимо (например, для установки звездного глобуса), вычислить местное звездное время:

$$t_{\text{м}}^{\text{гр}} = t_{\text{гр}}^{\text{гр}} \pm \lambda_{\text{W}}^{\text{E}};$$

2) рассчитать координаты звезды, для чего, выбрав из табл. 21.2.1 величины τ^* , $\Delta\tau^*$, δ_0^* , $\Delta\delta^*$ для заданной звезды, вычислить: $t_{\text{гр}}^* = t_{\text{гр}}^{\text{гр}} + \tau_0^* + n \cdot \Delta\tau^*$ или $t_{\text{м}}^* = t_{\text{м}}^{\text{гр}} + \tau_0^* + n \cdot \Delta\tau^*$; $\delta = \delta_0^* + n \cdot \Delta\delta^*$, где n — количество лет после 1983 г.; $t_{\text{гр}}^{\text{гр}}$ найдено по п. 1;

3) рассчитать координаты Солнца:

а) по приведенному моменту D из табл. 23.3.4 на ближайшую меньшую табличную дату D_{τ} выбрать τ_0^{\odot} и $\Delta\tau_0^{\odot}$; вычислить

$$\tau^{\odot} = \tau_0^{\odot} - \Delta\tau_0^{\odot} (D + 1 - D_{\tau});$$

б) используя $t_{\text{гр}}^{\text{гр}}$, вычисленный по п. 1, найти искомые:

$$t_{\text{гр}}^{\odot} = t_{\text{гр}}^{\text{гр}} + \tau^{\odot} \quad \text{или} \quad t_{\text{м}}^{\odot} = t_{\text{м}}^{\text{гр}} + \tau^{\odot} \quad \text{и} \quad \delta^{\odot} = -\arctg(0,4336 \sin \tau^{\odot}).$$

При этих вычислениях часовые углы получаются в круговом западном счете; положительный знак δ^{\odot} является признаком северного склонения, отрицательный знак δ^{\odot} — южного; наименование склонения звезды указано в табл. 21.2.1, оно дается после вычисления абсолютной величины склонения.

Вычисления координат светил на программируемом микрокалькуляторе. После ввода программы из табл. 23.3.5 или 23.3.6 исходных данных и констант согласно табл. 23.3.7 ПМК включают на счет. Величина склонения звезды по адресу П7 вводится без наименования; наименование вычисленного склонения указано в табл. 21.2.1.

Результаты вычисления:

δ — высвечивается на табло и хранится по адресу П3;

$t_{\text{гр}}$ — хранится по адресу П2 и выводится на табло нажатием клавиш ИП2. Порядок решения показан в примере 23.3.1.

Пример 23.3.1. Вычислить координаты географических мест Солнца и звезды Спика на момент $T_{\text{гр}} = 13^{\text{h}}35^{\text{m}}49^{\text{s}}$ 29 марта 1995 г.

Решение приведено в табл. 23.3.7.

Таблица 23.3.2

 Поправки года ΔT_r (в сутках) для приведения момента наблюдений к 1990 г.

Год	Поправка	Год	Поправка	Год	Поправка
1988	-0,519	1993	+0,274	1997	+0,301
.	+0,481	1994	+0,032	1998	+0,058
1989	+0,240	1995	-0,211	1999	-0,186
1991	-0,242	1996	-0,455	2000	-0,430
1992	-0,484		+0,545		+0,570
	+0,518				

В високосные годы первое значение поправки ΔT_r выбирают до 1 марта, а второе — 1 марта и позже.

Таблица 23.3.3

 Гринвичский часовой угол точки Овна t_0^{\cap} (в градусах) на $T_{гр}=0$ ч первого числа каждого месяца в 1990 г.

Месяц	t_0^{\cap}	Месяц	t_0^{\cap}
Январь	100,387	Июль	278,788
Февраль	130,942	Август	309,343
Март	158,540	Сентябрь	339,898
Апрель	189,095	Октябрь	9,468
Май	218,664	Ноябрь	40,023
Июнь	249,218	Декабрь	69,593

Таблица 23.3.4

 Звездное дополнение (звездный угол) τ_0^{\odot} Солнца (в градусах) и скорость его уменьшения $\Delta\tau_0^{\odot}$ (в градусах/сутки) на 1990 г.

D_r	τ_0^{\odot}	$\Delta\tau_0^{\odot}$	τ_0^{\odot}	$\Delta\tau_0^{\odot}$	τ_0^{\odot}	$\Delta\tau_0^{\odot}$	τ_0^{\odot}	$\Delta\tau_0^{\odot}$
	Январь $R_{\odot} = 0,272^{\circ}$		Февраль $R_{\odot} = 0,27^{\circ}$		Март $R_{\odot} = 0,268^{\circ}$		Апрель $R_{\odot} = 0,266^{\circ}$	
1	78,790	1,1022	45,675	1,0156	18,333	0,9350	349,882	0,9117
4	75,483	1,0972	42,628	1,0050	15,528	0,9289	347,147	0,9133
7	72,192	1,0911	39,613	0,9956	12,742	0,9239	344,407	0,9156
10	68,918	1,0839	36,627	0,9856	9,970	0,9200	341,660	0,9194
13	65,667	1,0761	33,670	0,9767	7,210	0,9156	338,902	0,9233
16	62,438	1,0683	30,740	0,9672	4,463	0,9144	336,132	0,9278
19	59,233	1,0589	27,838	0,9594	1,720	0,9117	333,348	0,9328
22	56,057	1,0494	24,960	0,9511	358,985	0,9100	330,550	0,9389
25	52,908	1,0400	22,107	0,9439	356,255	0,9106	327,733	0,9450
28	49,788	1,0294	19,275	0,9417	353,523	0,9100	324,898	0,9506
31	46,700	1,0250			350,793	0,9116		

Продолжение табл. 23.3.4

D_T	τ_0^{\odot}	$\Delta\tau_0^{\odot}$	τ_0^{\odot}	$\Delta\tau_0^{\odot}$	τ_0^{\odot}	$\Delta\tau_0^{\odot}$	τ_0^{\odot}	$\Delta\tau_0^{\odot}$
	Май $R_{\odot} = 0,264^{\circ}$		Июнь $R_{\odot} = 0,263^{\circ}$		Июль $R_{\odot} = 0,263^{\circ}$		Август $R_{\odot} = 0,264^{\circ}$	
1	322,047	0,9578	291,363	1,0256	260,293	1,0328	229,070	0,9678
4	319,173	0,9644	288,287	1,0294	257,195	1,0289	226,167	0,9606
7	316,280	0,9706	285,198	1,0328	254,108	1,0244	223,285	0,9528
10	313,368	0,9783	282,100	1,0356	251,035	1,0189	220,427	0,9456
13	310,433	0,9856	278,993	1,0383	247,978	1,0128	217,590	0,9389
16	307,477	0,9928	275,878	1,0400	244,940	1,0072	214,773	0,9328
19	304,498	1,0000	272,758	1,0406	241,918	1,0006	211,975	0,9261
22	301,498	1,0067	269,637	1,0400	238,917	0,9939	209,197	0,9217
25	298,478	1,0128	266,517	1,0389	235,935	0,9861	206,432	0,9150
28	295,440	1,0183	263,400	1,0356	232,977	0,9778	203,687	0,9106
31	292,385	1,0217			230,043	0,9733	200,955	0,9067

Продолжение табл. 23.3.4

D_T	τ_0^{\odot}	$\Delta\tau_0^{\odot}$	τ_0^{\odot}	$\Delta\tau_0^{\odot}$	τ_0^{\odot}	$\Delta\tau_0^{\odot}$	τ_0^{\odot}	$\Delta\tau_0^{\odot}$
	Сентябрь $R_{\odot} = 0,266^{\circ}$		Октябрь $R_{\odot} = 0,268^{\circ}$		Ноябрь $R_{\odot} = 0,270^{\circ}$		Декабрь $R_{\odot} = 0,272^{\circ}$	
1	200,048	0,9061	173,057	0,9061	144,068	0,9817	113,207	1,0811
4	197,330	0,9017	170,338	0,9100	141,123	0,9922	109,963	1,0883
7	194,625	0,8994	167,608	0,9156	138,147	1,0033	106,698	1,0950
10	191,927	0,8978	164,862	0,9211	135,137	1,0133	103,413	1,1006
13	189,233	0,8967	162,098	0,9278	132,097	1,0244	100,112	1,1056
16	186,543	0,8972	159,315	0,9350	129,023	1,0350	96,795	1,1083
19	183,852	0,8978	156,510	0,9428	125,918	1,0450	93,470	1,1100
22	181,158	0,8978	153,682	0,9511	122,783	1,0550	90,140	1,1100
25	178,465	0,9006	150,828	0,9600	119,618	1,0644	86,810	1,1089
28	175,763	0,9022	147,948	0,9689	116,425	1,0728	83,483	1,1067
31			145,042	0,9733			80,163	1,1067

Таблица 23.3.5

 Программа для вычисления δ и i_{cp} звезды без МАЕ

Адрес	Команда	Код	Адрес	Команда	Код	Адрес	Команда	Код
	В/О F ПРГ		13	П4	44	25	ИПД	6Г
00	ИП1	61	14	ИП4	64	26	×	12
01	ИПА	6—	15	ИПС	6С	27	ИП2	62
02	÷	13	16	×	12	28	+	10
03	П2	42	17	ИП6	66	29	П2	42
04	ИП2	62	18	+	10	30	ИП8	68
05	ИПВ	6L	19	ИП3	63	31	ИПД	6Г
06	×	12	20	+	10	32	×	12
07	П3	43	21	ИП9	69	33	ИП7	67
08	ИП2	62	22	+	10	34	+	10
09	ИП4	64	23	П2	42	35	П3	43
10	+	10	24	ИП0	60	36	С/П	50
11	ИП5	65					F АВТ	
12	+	10						

Таблица 23.3.6

 Программа для вычисления δ и i_{cp} Солнца без МАЕ

Адрес	Команда	Код	Адрес	Команда	Код	Адрес	Команда	Код
	В/О F ПРГ		14	ИП4	64	27	ИП3	63
00	ИП1	61	15	ИПД	6Г	28	+	10
01	ИПА	6—	16	+	10	29	ИП8	68
02	÷	13	17	ИП0	60	30	+	10
03	П2	42	18	×	12	31	П2	42
04	ИП2	62	19	ИП9	69	32	ИП8	68
05	ИПВ	6L	20	+	10	33	F sin	1С
06	×	12	21	П8	48	34	ИП7	67
07	П3	43	22	ИПС	6С	35	×	12
08	ИП2	62	23	ИП4	64	36	F arctg	1L
09	ИП4	64	24	×	12	37	/—/	0L
10	+	10	25	ИП6	66	38	П3	43
11	ИП5	65	26	+	10	39	С/П	50
12	+	10					F АВТ	
13	П4	44						

Таблица 23.3.7

Вычисление δ и $t_{гр}$ Солнца и звезд без МАЕ

Аргументы, константы		Источник	Адрес ввода	Пример 23.3.1. 29 марта 1995 г.	
\odot	\star			Солнце	Звезда Спика
$\Delta\tau_0^{\odot}$	--	Табл. 23.3.4	П0	-0,9100	
—	$\Delta\tau^*$	Табл. 21.2.1	П0		-0,0132
$T_{гр}$		Табл. 23.3.1 (пп. 6—11)	П1	13,596942*	13,596942*
			Итого	ИП2 742,7319	189,20738
			Итого	ИП3 3,3287	11,1374
Гр. дата минус 1			П4	28	28
ΔT_r		Табл. 23.3.2	П5	-0,211	-0,211
t_0^{\odot}		Табл. 23.3.3	П6	158,540	158,540
0,4335	δ_0^*	Табл. 21.2.1	П7	0,4335	Модуль: 11,0750
—	$\Delta\delta^*$	Табл. 21.2.1	П8	0	+0,0052
τ_0^{\odot}	—	Табл. 23.3.4	П9	353,523	0
	τ_0^*	Табл. 21.2.1	П9	0	158,9233
24			ПА	24	24
360			ПВ	360	360
0,98564			ПС	0,98564	0,98564
1 — D_r	n		ПД	-27	12

Результаты:

$$t_{гр}^{\odot} = 22^{\circ}43,9'$$

$$t_{гр}^{\star} = 189^{\circ}12,4'$$

$$\delta^{\odot} = 3^{\circ}19,7' N$$

$$\delta^{\star} = 11^{\circ}08,2' S \text{ (наименование } \delta \text{ — в табл. 21.2.1)}$$

Примечания. 1. При необходимости повторного решения ввести величину (Гр. дата минус 1) по адресу П4.

2. До 1992 г. при вычислениях δ^{\odot} по адресу П7 вводить 0,4336.

Ручные вычисления t и δ по таблицам МАЕ. Вычисления ведутся по стандартной схеме из журнала астрономических вычислений. Выборка из этого журнала дана в табл. 23.3.1. Для получения точного и надежного результата неавтоматизированных или полуавтоматизированных вычислений штурману следует быть внимательным при выборках из таблиц и при записи чисел (память человека удерживает в поле ясного сознания группу, содержащую не более трех цифр). Необходимо также усвоить систему контроля арифметических операций и соблюдать следующие правила:

— в схеме вычислений одинаковые разряды в числах располагать на одной вертикали;

— на месте отсутствующей значащей цифры писать 0 (например, $11^{\circ}08^m02^s$ или $145^{\circ}02,4'$);

— при сложении двух чисел справа налево проверять результат сложением их слева направо;

— при сложении трех чисел сверху вниз проверять результат повторным их сложением снизу вверх;

— при вычитании, получив разность, следует сложить ее с вычитаемым — в итоге должно получиться уменьшаемое;

— следовать при любых навигационных вычислениях заповеди: «Пока контроль не произведен — вычисления не закончены!».

В отсутствие должного контроля даже натренированный вычислитель в среднем делает 2 ошибки на каждые 100 цифр, которыми он оперирует.

Аргументом для вычисления δ и t является момент $T_{гр}$ наблюдения светила по всемирному времени. Для вычисления $T_{гр}$ согласно табл. 23.3.1 необходимо выполнить следующее:

а) по пп. 1—4:

— записать название района плавания и счислимые координаты корабля на момент наблюдений по судовому времени, отсчет лага ol и поправку лага Δ_s ;

б) по п. 5:

— записать название наблюдавшегося светила, год наблюдений;

в) по п. 6:

— записать календарную дату наблюдений светила по принятому на корабле счету судового времени. Записать приближенно судовое время наблюдений; оно регистрируется по морским часам и может быть зафиксировано либо до наблюдений, либо после их окончания;

г) по п. 7:

— записать номер N_c часового пояса, по которому установлены морские часы на корабле. Если в качестве судового времени используется время, соответствующее поясному времени в районе плавания, то величина N_c соответствует долготе места корабля; если в качестве судового времени используется время, соответствующее декретному зимнему времени в районе плавания, то вычисленный по долготе номер пояса N_c увеличивается на 1 ч в восточных долготах и уменьшается на 1 ч в западных долготах; если счет судового времени на корабле установлен неизменным или не соответствует, указанной системе счета поясного (или декретного) времени, то величина N_c соответствует тому часовому поясу, по времени которого последний раз устанавливались морские часы (эти сведения всегда записываются в навигационном и вахтенном журналах);

д) по п. 8:

— вычислить приближенное (до ± 1 мин) всемирное время наблюдений $T_{гр}$ с учетом наименования часового пояса: $(8) = (6) \pm (7)$. При определении гринвичской календарной даты руководствуются следующими правилами:

— если $T_c + N_{св} > 24$ ч, то в качестве гринвичской принять дату следующего календарного дня (относительно даты на корабле, указанной в п. 6); вычесть 24 ч из значения T_c ;

— если $T_c - N_c^e < 0$ ч, то в качестве гринвичской принять дату предыдущего календарного дня (относительно указанной в п. 6);

— в прочих случаях гринвичская дата совпадает с корабельной календарной датой;

е) по п. 9:

— записать момент T наблюдений светила по рабочим часам (с округлением до 1 с), вычисленный по формуле 23.2.3;

ж) по п. 10:

— записать поправку рабочих часов, определенную по радиосигналам времени или по сличению с хронометром (гл. 6);

з) по п. 11:

— вычислить точное всемирное время $T_{гр}$ наблюдений светила с учетом знака поправки часов: $(11) = (9) \pm (10)$.

Важное предупреждение. Необходимо сопоставить приближенное (п. 8) и точное (п. 11) значения времени $T_{гр}$ — число часов в них должно быть согласованным; при необходимости — увеличить отсчет точного $T_{гр}$ на 12 ч.

Для вычисления $t_{зр}$ и δ выполнить следующие действия:

и) по пп. 12 и 20:

— из ежедневных таблиц МАЕ по гринвичской дате (п. 8) и на ближайший меньший час всемирного времени (п. 11) выбрать и записать для Солнца, планет и Луны их табличный часовой угол $t_{гр}$, для звезд — табличный часовой угол точки Овна $t_{г}^{\Gamma}$;

— если наблюдавшееся светило не опознано, то в целях его опознания следует выполнить рекомендации, изложенные в § 22.3;

— на ближайший меньший час всемирного времени выбрать табличное значение склонения $\delta_{г}$ Солнца, планеты, Луны (для звезд склонение выбирается попутно с выполнением действий по п. 14);

— выбрать из МАЕ квазиразность $\bar{\Delta}$ и часовое изменение склонения Δ для Солнца, планет, Луны;

к) по пп. 13, 14 и 21:

— выбрать из основных интерполяционных таблиц МАЕ основное приращение часового угла $\Delta_1 t$, входя в них по количеству минут и секунд точного $T_{гр}$ (п. 11) и названию светила;

— выбрать из тех же таблиц дополнительную поправку $\Delta_2 t$, входя с величиной квазиразности $\bar{\Delta}$ (п. 12) в ту же таблицу, где выбирали $\Delta_1 t$;

— выбрать из тех же таблиц для Солнца, планет и Луны поправку $\Delta\delta$ к склонению δ , входя с часовым изменением склонения Δ (п. 20) в ту же таблицу, из которой выбирали $\Delta_1 t$;

— для звезд выбрать, интерполируя по гринвичской дате, из таблицы МАЕ «ЗВЕЗДЫ. Видимые места, ... г.» величины τ^* и δ и записать соответственно в пп. 14 и 22;

л) по п. 15:

— вычислить гринвичский часовой угол Солнца, планеты, Луны или гринвичский часовой угол звезды $(15 = 12 + 13 + 14)$, которые всегда являются западными;

м) по п. 22:

— вычислить склонение Солнца, планеты, Луны с учетом знака Δ $(22 = 20 \pm 21)$.

Если необходимо вычислить местный часовой угол светила непосредственно для счислимого места или для специально подобранного перемещенного счислимого места, то нужно выполнить следующее:

н) по п. 17:

— записать в п. 17 долготу (λ_c или λ_n), принятую для дальнейшего решения задачи;

о) по пп. 16—19:

— рассчитать местный часовой угол t_m (t_n) Солнца, планеты, Луны или местный часовой угол звезды t_m (t_n) $(18 = 15 (16) \pm 17)$ с учетом знака долготы. Если при восточной долготе λ_e результат окажется более 360° , то вычесть из него 360° . Если при западной долготе λ_w

окажется, что в п. 15 $t_{гр} < \lambda_w$, то вначале придать к $t_{гр}$ величину 360° , а затем произвести вычитание.

Результат расчета по п. 18 всегда дает часовой угол светила в круговом западном счете; если при этом он оказался больше 180° , то $t_E = 360^\circ - t_w$ (п. 19).

В ходе вычислений должен вестись тщательный контроль выборок из таблиц и арифметических операций по правилам, указанным выше, и в самой таблице. Примеры вычислений здесь не приводятся, так как с ними можно ознакомиться в пояснении к пользованию МАЕ.

**§ 23.4. ИСПРАВЛЕНИЕ ИЗМЕРЕННЫХ ВЫСОТ СВЕТИЛ.
ПРИВЕДЕНИЕ ВЫСОТ К ОДНОМУ МЕСТУ НАБЛЮДЕНИЯ**

Высоты светил, измеренные с движущегося корабля, должны быть исправлены поправками и приведены к одному месту наблюдений, что выполняется вручную с помощью таблиц, помещенных в Астронавигационном альманахе, таблиц МАЕ, МТ—75, ВАС—58 и ТВА—57, а также автоматизированно на ПМК. В указанные таблицы за последние годы были внесены уточнения, поэтому при вычислениях лучше пользоваться таблицами, изданными в 1975 г. и позднее.

Ручные вычисления истинных высот с использованием программированной стандартной схемы (табл. 23.4.1). Работа выполняется в следующем порядке:

1. Из бланка записи для астронавигационной обсервации ЗКШ выписывают исходные данные, которые заносят в следующие пункты табл. 23.4.1:

Таблица 23.4.1

№ п.п.	Аргументы, константы	Условн. обозн.	*, t_1 , t_2	Расчет Δh_z		ρ , σ	○	☉
28	Наблюдения высот	oc		t_B°				
29	Поправка секстанга	Δoc		B_B				
30	Измерен. высота	h'		P_0 МАЕ				
31	Наклономер или таблицы	Δh_d		e				
32	$=30 \pm 31$ Видимая высота	h_B		V				
33	Δh_{e+p}^\ominus или Δh_p^X ; ОПД	ПОПРАВКИ	(а)	ИП		(а)	(а)	(а)
34	Δh_p ; R_\ominus		(б)	ПУ		(б)	(б)	(б)
35	$\Delta h_t + \Delta h_B$		(в)	КУ		(в)	(в)	(в)
36	По необходимости: $=32 \pm 33 \pm 34 \pm 35$	h		$^{\omega} h_z$				
37	Приведение к одному месту, Δh_z	$^{\omega} h_z \cdot \tau_H^M$		τ_H^M				
38	$=36 \pm 37$	$h_{п}$						

— п. 31 — возвышение глаза e — высоту надстройки (или палубы) над уровнем моря плюс рост оператора с точностью до 30—40 см;

— пп. 28, 29 (графа 6) — температуру воздуха t_a и атмосферное давление B_a ;

— п. 28 (графа 4) — среднее арифметическое значение отсчета секстана os , рассчитанное по данным серии измерений согласно формуле (23.2.3);

— п. 29 (графа 4) — общую поправку секстана $\Delta_{ос} = i + s + \Delta_{и}$, определенную с учетом правил § 23.2.

2. По таблицам ВАС—58 (или ТВА—57, или МТ—75, или МАЕ и т. п.) исправляют высоту светила, для чего в соответствии с рекомендациями § 23.2:

— вычисляют измеренную высоту h' светила с учетом знака поправки секстана ($30 = 28 \pm 29$);

— записывают измеренное наклонение горизонта d или, что хуже, выбирают из таблиц поправку за наклонение видимого горизонта Δh_d (п. 31);

— вычисляют высоту h_b светила, видимую над истинным горизонтом, с учетом знака d и Δh_d ($32 = 30 \pm 31$);

Таблица 23.4.2

Наблюдаемое светило	Формула	Обозначение графы для записи
Звезда, Юпитер, Сатурн	$\Delta h_p^* \pm \Delta h_t \pm \Delta h_a$ (а) (б) (в)	×, 7, 7
Венера, Марс	$\Delta h_p^* \pm \Delta h_t \pm \Delta h_a \pm \Delta h_p \pm \Delta h_\phi$ (а) (б) (в) (г) (д) (Δh_ϕ выбирается из МАЕ только при дневных наблюдениях)	♀, ♂
Солнце	$\Delta h_p^\odot + p \pm \Delta h_t \pm \Delta h_a + R_\odot (-R_\odot)$ (а) (б) (в)	☉
Луна	$OP \text{ D} \pm \Delta h_t \pm \Delta h_a$ (а) (б) (в)	☾

Обозначение и наименование поправок:

- Δh_p^* — за астрономическую рефракцию,
- Δh_t — за температуру воздуха,
- Δh_a — за атмосферное давление,
- Δh_p — за параллакс,
- Δh_ϕ — за фазу Венеры,
- $\Delta h_p^\odot + p$ — за астрономическую рефракцию и параллакс Солнца,
- R_\odot — за видимый полудиаметр Солнца при наблюдениях его нижнего края,
- R_\odot — за видимый полудиаметр Солнца при наблюдениях его верхнего края,
- $OP \text{ D}$ — общая поправка для исправления высоты верхнего или нижнего края Луны.

— руководствуясь формулами из табл. 23.4.2, выбирают из перечисленных выше таблиц для наблюдаемого светила поправки и записывают в пп. 33—35, (а), (б), (в) табл. 23.4.1;

— вводят все необходимые поправки к видимой высоте и получают истинную геоцентрическую высоту h светила ($36 = 32 \pm 33 \pm 34 \pm 35$).

3. Полученную истинную геоцентрическую высоту h приводят к заданному месту наблюдений (исктому месту обсервации), для чего:

— записывают путевой угол $ПУ$ (или истинный курс) корабля с точностью до 1° (п. 34);

— записывают путевую скорость V (п. 32);

— записывают истинный пеленг того светила, высота которого приводится к заданному месту наблюдений, с точностью до 1° ; обычно приведение делают к месту корабля в момент наблюдения последнего (например, четвертого) светила. Величины $ИП$ могут быть получены по наблюденному компасному пеленгу светила (измеренному сразу же по окончании наблюдений серии высот этого светила) либо по его счислимому азимуту, вычисленному на ПМК или по таблицам; в последнем случае особое внимание следует обратить на правильность перевода четвертного азимута A_4 , полученного по ТВА—57, или полукругового азимута A_4 , полученного по ВАС—58, в систему счета истинного пеленга ($ИП$) (п. 33);

— вычисляют курсовой угол светила: $KУ = ИП - ПУ$ (п. 35). Если значение $KУ$ положительное, то наблюдения светила велось по правому борту, а если отрицательное — по левому борту (для дальнейшего хода решения этот знак не имеет значения). Для исключения промаха при расчете $KУ$ полезно сверить полученное значение $KУ$ с направлением на светило, полученным согласно схеме целеуказания (рис. 22.3.3) и с реально наблюдавшимся $KУ$ в период наблюдений;

— выбирают (по $KУ$ и V) скорость изменения высоты ω_{hz} светила вследствие движения корабля (в табл. МТ—75 она обозначена Δh_v); эта скорость может быть выбрана из табл. 7 ТВА—57 или из таблицы «Приведение высот к одному зениту» ВАС—58, всегда со знаком, указанным в варианте «приведение к последующему зениту» (п. 36). Знак *плюс* означает, что наблюдение светила велось на носовых курсовых углах;

— вычисляют интервал времени приведения τ_n (до 0,1 мин) с указанием знака

$$\pm \tau_n = T_n - T_i,$$

где T_n — момент $T_{гр}$ измерения высоты того светила, к месту наблюдений которого приводятся высоты других светил;

T_i — момент $T_{гр}$ измерения высоты приводимого светила.

Если, например, в задаче четырех высот первые три истинные высоты приводятся к месту наблюдений четвертого светила, то интервалы времени приведения выразятся формулами:

$$T_n = T_{гр_1}, \quad \tau_{i-1} = T_{гр_1} - T_{гр_2}, \quad \tau_{i-2} = T_{гр_1} - T_{гр_3}, \quad \tau_{i-3} = T_{гр_1} - T_{гр_4}.$$

При решении задачи определения места корабля может быть поставлено условие приведения высоты светил к месту корабля в момент, например, третьих наблюдений $T_{гр_3} = T_n$, или вообще к какому-то заданному месту корабля, которое он занимал в момент $T_n = T_c \mp N_{св}^E$; в последнем случае поправки вычисляют к истинным высотам всех наблюденных светил. Интервалы τ_n имеют знак *плюс* при $T_i < T_n$ и знак *минус* при $T_i > T_n$;

— вычисляют поправку для приведения высоты к заданному месту наблюдений: $\Delta h_z = \omega_{hz} \tau_n$. Знак этой поправки алгебраически определяется по знакам ω_{hz} и τ_n . Полученное значение Δh_z заносят в схему исправления высот (п. 37). Затем вычисляют приведенную высоту h_n светила (п. 38):

$$h_n = h_n + \Delta h_z.$$

Табличным способом приведения высот можно пользоваться при интервалах приведения τ_n , не превышающих указанных в табл. 22.3.3.

Автоматизированное исправление высот светил на ПМК и ЭКВМ. Высоты звезд, Солнца и планет при использовании ПМК и ЭКВМ исправляются по формулам:

а) для получения видимой высоты

$$h_b^{\circ} = oc' - 0,0293 \sqrt{e} + 0,0167 \Delta_{oc},$$

где высота e глаза наблюдателя вводится в метрах, общая поправка секстанта Δ_{oc} — в минутах; если наклонение горизонта d было измерено, то

$$h_b^{\circ} = oc^{\circ} + 0,0167 (d + \Delta_{oc}),$$

где d и Δ_{oc} вводятся в минутах и учитываются их знаки;

б) для получения истинной топоцентрической высоты $h_{тц}^{\circ}$ в стандартных условиях (температура воздуха $t = +10^{\circ}\text{C}$, атмосферное давление $B = 760$ мм = 1013 гПа (мбар)

$$h_{тц}^{\circ} = h_b^{\circ} - 0,0167 \operatorname{ctg} \left(h_b^{\circ} + \frac{7,31}{h_b^{\circ} + 4,4} \right) = h_b^{\circ} - \Delta h_{p_0};$$

в) для получения истинной топоцентрической высоты в нестандартных условиях

$$h_{тц}^{\circ} = h_b^{\circ} - 0,0167 \left[\frac{B - 80}{930} \left(\frac{1}{1 + 8 \cdot 10^{-8} (|\Delta h_{p_0}| + 39) (t^{\circ} - 10)} \right) |\Delta h_{p_0}| \right],$$

где B в миллибарах;

г) для получения истинной геоцентрической высоты

$$h = h_{тц} + 0,0167 (p_0 \cos h_{тц} + R^{\odot}),$$

где горизонтальный экваториальный параллакс p_0 для Солнца принимается равным $0,15'$, а для Венеры и Марса он выбирается из МАЕ на дату наблюдений. Для других планет и звезд $p_0 = 0$. Видимый угловой полудиаметр R^{\odot} Солнца выбирается из МАЕ, его знак зависит от наблюдавшегося совмещения края Солнца с горизонтом.

Исправление высот Луны осложняется необходимостью интерполяции $p_0^{\text{л}}$ и $R^{\text{л}}$ на момент $T_{гр}$ наблюдений, а также ввода дополнительной поправки к параллаксу за широту места наблюдений и к полудиаметру — за высоту Луны. Эти операции перегружают программу вычислений на ПМК, поэтому высоту Луны предпочтительнее исправлять по таблицам МАЕ.

Приведенная высота светила для любого реально возможного интервала приведения τ_n удобно вычисляется по формуле

$$h_n = \arcsin (\sin h \cos S + \cos h \sin S \cos KU), \quad (23.4.1)$$

где

h — истинная геоцентрическая высота;

S — расстояние, пройденное кораблем со скоростью V за интервал времени τ_n по пути ПУ;

$KU = ИП - ПУ$ — наблюдаемый или вычисленный курсовой угол приводимого светила.

При очень больших интервалах приведения τ_n и плавании в высоких широтах может быть полезен учет вместо локсодромического ПУ его ортодромического значения:

$$KU = ИП - (ПУ \pm 0,5S \sin ПУ \operatorname{tg} \varphi_c),$$

где S вводится в градусах; знак плюс в скобках соответствует значениям ПУ, лежащим в диапазоне от 180 до 360° , если $\sin ПУ$ взят по модулю.

Формула (23.4.1) позволяет выполнять наблюдения по высотам Солнца «звездным методом», т. е. расчет элементов всех линий положения производится для одной общей расчетной точки и тем самым унифицируются программы решения астронавигационных задач при наблюдениях любых светил и при любом числе линий положения. Если в интервале времени приведения τ_n корабль двигался несколькими курсами, то здесь под *ПУ* следует понимать генеральный курс, а под *V* — генеральную скорость; величина *S* является генеральным плаванием.

Если наблюдали высоты более 10° , а плавание за интервал времени приведения не превышало 200 миль, то можно воспользоваться системой упрощенных формул:

$$\left. \begin{aligned} h^\circ &= oc^\circ + 0,0167 (\Delta_{oc} - 1,76 \sqrt{e} - 0,97 \operatorname{ctg} h_a + p_o \operatorname{cosh}_a + 16 + 0,26 \cos N), \\ h_n^\circ &= h^\circ + 0,0167 [V \tau_n \cos [KY + 0,0083V \tau_n (\sin ПУ \operatorname{tg} \varphi + \sin KY \operatorname{tg} h)], \end{aligned} \right\} (23.4.2)$$

где *e* вводится в метрах, Δ_{oc} и p_o — в минутах дуги, $V/60$ — в узлах, τ_n — в минутах времени.

Программа вычислений по формулам (23.4.2) дана в табл. 23.4.3, организация вычислений — в табл. 23.4.4. При наблюдениях звезды вводят признак 0 (ноль) по адресам П5 и П6; при наблюдениях планет этот признак вводят по адресу П6. При наблюдениях Солнца вводят $p_o = 0,15'$ по адресу П5, порядковый номер *N* дня в году (указан в МАЕ) — по адресу П6; если наблюдали нижний край Солнца, то по адресу П7 вводят признак +1 (для верхнего края вводят —1).

После первого останова счета на табло и по адресу ИПС находится неприведенная истинная геоцентрическая высота светила. При необходимости ее дополнительно исправляют поправками за температуру и давление воздуха, выразив сумму этих поправок в долях градуса. Аналогично можно ввести поправку за разницу измеренного и табличного наклона горизонта. Уточненное значение h° должно быть введено по адресу ПС. Далее вводят промежуточную информацию и продолжают счет. После второго останова на табло и по адресу ИПС находится приведенная высота светила.

Пример 23.4.1. 20 мая в момент $T_{rp} = 10^\circ 04' 12''$ получили: $oc_{\odot} = 30^\circ 12,6'$, $\Delta_{oc} = -3,2'$, $e = 12$ м, $ИП = 120^\circ$, $ПУ = 240^\circ$, $V = 12$ уз. Исправить высоту Солнца и привести ее к месту корабля в момент $T_{rp} = 10^\circ 09' 00''$.

Решение. Последовательность и результат решения приведены в табл. 23.4.4.

При вычислениях на ЭКВМ «Спика» автоматически вводятся только поправка за рефракцию Δh_p^* или поправка за рефракцию и параллакс Δh_{p+r}^{\odot} (обе они учитывают влияние фактической температуры воздуха и атмосферного давления) и поправка за полудиаметр для нижнего края Солнца R_{\odot}^{\odot} . Все остальные поправки, вводимые в ЭКВМ, получают из таблиц МАЕ, МТ—75, ВАС—58, ТВА—57.

Исправление высот светил, измеренных над объектом, расположенным ближе видимого морского горизонта. Отличие в вычислениях истинной высоты, показанных в табл. 23.4.1, заключается в том, что вместо наклона видимого горизонта (п. 31) учитывается поправка за наклонение зрительного луча d_n , которая выбирается из табл. 11-6 МТ—75 или из табл. 1-6 ТВА—57.

Исправление высоты Солнца, измеренной через зенит. Измеренную высоту h' исправляют поправкой за наклонение горизонта и результат вычитают из 180° . Полученную видимую высоту h_n^{\odot} далее исправляют как высоту верхнего края Солнца обычным порядком.

Таблица 23.4.3

Программа для исправления измеренных высот звезд, планет и Солнца

Адрес	Команда	Код	Адрес	Команда	Код	Адрес	Команда	Код
	В/О F ПРГ		32	$F_x=0$	5E	64	ИПВ	6L
00	ИП0	60	33	37	37	65	—	11
01	ИП1	61	34	ИПС	6C	66	Fsin	1C
02	6	06	35	БП	51	67	ИПС	6C
03	0	00	36	56	56	68	Ftg	1E
04	÷	13	37	ИП6	66	69	×	12
05	+	10	38	Fcos	1Г	70	+	10
06	ИП3	63	39	ИП4	64	71	ИПД	6Г
07	ИП2	62	40	×	12	72	ИП8	68
08	F√	21	41	ИПА	6—	73	÷	13
09	×	12	42	+	10	74	×	12
10	—	11	43	П8	48	75	ИП9	69
11	ПД	4Г	44	ИП7	67	76	×	12
12	ИПД	6Г	45	$F_x \geq 0$	59	77	2	02
13	Ftg	1E	46	53	53	78	÷	13
14	0	00	47	ИПС	6C	79	ИПА	6—
15	,	0—	48	ИП8	68	80	ИПВ	6L
16	0	00	49	+	10	81	—	11
17	1	01	50	ПС	4C	82	+	10
18	6	06	51	БП	51	83	Fcos	1Г
19	÷	13	52	56	56	84	ИП9	69
20	F1/x	23	53	ИПС	6C	85	×	12
21	—	11	54	ИП8	68	86	ИПД	6Г
22	ИП5	65	55	—	11	87	×	12
23	6	06	56	ПС	4C	88	ИП8	68
24	0	00	57	С/П	50	89	÷	13
25	÷	13	58	ИПВ	6L	90	ИПС	6C
26	ИПД	6Г	59	Fsin	1C	91	+	10
27	Fcos	1Г	60	ИП7	67	92	ПС	4C
28	×	12	61	Ftg	1E	93	С/П	50
29	+	10	62	×	12		F АВТ	
30	ПС	4C	63	ИПА	6—			
31	ИП6	66						

Исправление высот светил, измеренных секстаном с искусственным горизонтом. Искусственный горизонт воспроизводится уровнем или гироскопической системой. С меткой искусственного горизонта при измерениях совмещают центр светила, поэтому учет видимого полудиаметра светила не требуется. Поправка такого секстана в большинстве случаев определяется из специальных наблюдений путем сравнения вычисленной высоты $h_{\text{выч}}$ для точно известного эталонного географического места наблюдений и истинной геоцентрической высоты h светила,

полученной после исправления измеренной высоты всеми известными поправками (§ 22.4), т. е.

$$i = h_{\text{выч}} - h. \quad (23.4.3)$$

Если инструментальная поправка секстана s известна, то она учитывается при расчете общей поправки секстана $\Delta_{oc} = i + s$. Истинная высота h светила вычисляется по формуле:

$$h = oc + \Delta_{oc} + \Delta h_p + \Delta h_r + \Delta h_t + \Delta h_o. \quad (23.4.4)$$

При вычислениях на ПМК по формуле (23.4.1) принимают $e=0$ и вводят 0 по адресам ПА и П4. Высоты Луны исправляют по специальным таблицам в ВАС—58, в МАЕ или по табл. 10 МТ—75.

Таблица 23.4.4

Адрес	Аргументы, константы	Информация (с решением примера)		
		исходная	промежуточная	итоговая
П0	oc	30,21°		
П1	Δoc	—3,2'		
П2	e_n	12		
П3	0,029			
П4	0,0043			
П5	ρ_o	0,15'		
П6	N	140		
П7	± 1	1	$\varphi = 45^\circ N$	
П8			3600	
П9			$\tau_n = 4,8$ мин	
ПА	0,287		$ИП^\odot = 120^\circ$	
ПВ			$ПУ = 240^\circ$	
ПС		$h = 30,294^\circ$		$h_n = 30,286^\circ = 30^\circ 17,2'$
ПД			$V = 12$ уз	

§ 23.5. ПРЯМОЙ ИТЕРАЦИОННЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ДВУХ ВЫСОТ

В задаче двух высот искомыми являются географические координаты точки M пересечения кругов равных высот (рис. 23.5.1). Вообще говоря, решение задачи является двойственным, так как круги равных высот I-I и II-II пересекаются также в точке M_1 ; точка M , из которой были выполнены измерения высот и которая является обсервованным местом, опознается по расположению счислимого места C в момент наблюдений и по наблюдаемым направлениям $M\sigma_1$ и $M\sigma_2$ на светила.

Исходными данными для решения служат:

- координаты φ_c, λ_c счислимого места;
- моменты наблюдений высот по всемирному времени $T_{гр_1}$ и $T_{гр_2}$;
- истинные пеленги $ИП_1$ и $ИП_2$ светил по данным наблюдений;
- истинные геоцентрические высоты светил h_1 и h_2 , приведенные к одному месту наблюдения.

Величины $T_{гр}$ вычисляют согласно табл. 23.3.1 (п. 11), приведенные высоты — согласно табл. 23.4.1; при определении места по разновременным измерениям высот Солнца приведенные высоты находят по табл. 23.4.3 и 23.4.4 или по формуле 23.4.1.

Вычисления обсервованных координат φ_0 , λ_0 проводят прямым итерационным методом по формулам (23.5.1) и (23.5.2):

$$\left. \begin{aligned} \delta &= \delta_{00} + \Delta\delta T_{rp}; \\ t_{rp} &= t_{00} + \Delta t T_{rp} + \tau^*; \\ t_1 &= \arccos(\sin h_1 - \sin \varphi \sin \delta_1) \sec \varphi \sec \delta_1; \\ \lambda_1 &= t_1 - t_{rp1}; \end{aligned} \right\} (23.5.1)$$

$$\left. \begin{aligned} t_2 &= t_{rp2} \pm \lambda_W^E; \\ x &= \arctg(\operatorname{tg} \delta_2 \sec t_2); \\ \varphi - x &= \arccos(\sin h_2 \sin x \operatorname{cosec} \delta_2); \\ \varphi_I &= (\varphi - x) + x; \\ \varphi_{cp} &= 0,5(\varphi_I + \varphi_{I-1}); \\ \Delta\varphi &= \varphi_{cp} - \varphi_{I-1}; \\ \Delta\varphi - 0,0008^\circ &< 0. \end{aligned} \right\} (23.5.2)$$

Составленная по этим формулам программа приведена в табл. 23.5.1, организация и правила вычислений — в табл. 23.5.2.

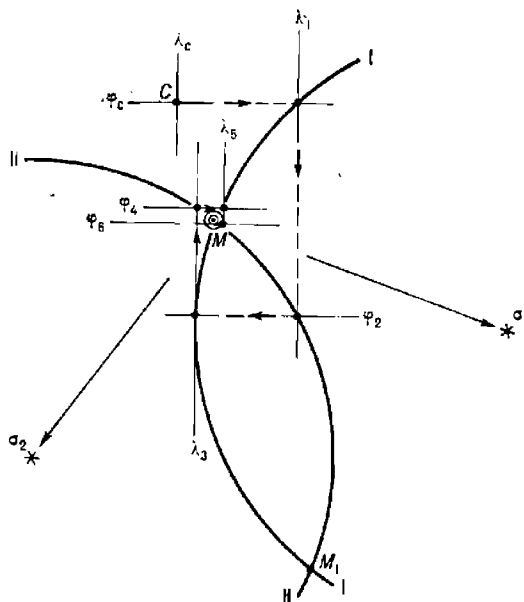


Рис. 23.5.1

На первом этапе и на последующих нечетных этапах итерационного процесса вычисляется долгота точки пересечения параллели, соответствующей последовательно задаваемой широте φ , и круга равных высот I-I. При этом обязательно соблюдение правила: первым именуется то светило, ИП которого ближе к 90° или к 270° (независимо от очередности наблюдений светил). Нарушение этого правила делает итерационный процесс расходящимся и счет на ПМК остановится без результата.

Таблица 23.5.1

Программа для вычисления прямым итерационным методом обсервованного места в задаче двух высот (метод Р. А. Скубко)

Адрес	Команда	Код	Адрес	Команда	Код	Адрес	Команда	Код
	В/О F ПРГ		33	ИПА	6—	67	Fsin	1С
00	ИП9	69	34	Fsin	1С	68	ИП6	66
01	ИП1	61	35	×	12	69	Fsin	1С
02	×	12	36	—	11	70	×	12
03	ИП8	68	37	ИП0	60	71	ИП8	68
04	+	10	38	Fcos	1Г	72	Fsin	1С
05	ПА	4—	39	:	13	73	:	13
06	ИП9	69	40	ИПА	6—	74	Farcocos	1—
07	ИП4	64	41	Fcos	1Г	75	ИП9	69
08	×	12	42	:	13	76	+	10
09	ИП8	68	43	Farcocos	1—	77	ИП0	60
10	+	10	44	П7	47	78	+	10
11	П8	48	45	ИП2	62	79	2	02
12	ИП7	67	46	ИПВ	6L	80	:	13
13	ИП1	61	47	—	11	81	↑	0E
14	×	12	48	Fx < 0	5C	82	ИП0	60
15	ИП6	66	49	54	54	83	—	11
16	+	10	50	ИПС	6C	84	Fx < 0	5C
17	ИП3	63	51	ИП7	67	85	87	87
18	+	10	52	—	11	86	/—/	0L
19	П3	43	53	П7	47	87	ИПД	6Г
20	ИП7	67	54	ИП7	67	88	—	11
21	ИП4	64	55	ИП3	63			
22	×	12	56	—	11	89	F ○	25
23	ИП6	66	57	П1	41	90	ПО	40
24	+	10	58	ИП5	65	91	Vx	0
25	ИП5	65	59	+	10	92	Fx < 0	5C
26	+	10	60	Fcos	1Г	93	29	29
27	П5	45	61	ИП8	68	94	ИП0	60
28	С/П	50	62	Ftg	1E	95	С/П	50
29	ИП4	64	63	xy →	14		F АВТ	
30	Fsin	1С	64	↑	13		180 ПВ	
31	ИП0	60	65	Farcfg	1L		360 ПС	
32	Fsin	1С	66	П9	49		0,0008 ПД	

На втором этапе и на последующих четных этапах вычисляются широта точки пересечения меридиана λ , соответствующего полученной на первом этапе долготе, и круга равных высот II-II. Для ускорения сходимости итерационного процесса в программе предусмотрено усреднение последовательно получаемых широт и сравнение средней широты с последней полученной. Счет прекращается, когда разность $\Delta\varphi = \varphi_{cp} - \varphi_{i-1}$ становится менее 90 м ($0,0008^\circ$). Момент обсервации T_c .

находят, придавая к $T_{гр_2}$ номер часового пояса N_c , принятый для счета судового времени: $T_c = T_{гр_2} \pm N_{св}^E$.

Достоинством данного метода является его пригодность в любых районах плавания и при любых значениях высот светил, так как обсервованное место отыскивается непосредственно в точке пересечения кругов равных высот, а не заменяющих их высотных линий положения. Ввод программы в ПМК и решение тестовой задачи занимают около 10 мин, подготовка исходных данных и вычисления обсервованных координат — также около 10 мин.

При вводе исходных данных:

- числимая широта всегда положительна;
- одноименное с широтой склонение положительно, разноименное — отрицательно;
- в качестве первого истинного пеленга $ИП_1$ принимается пеленг светила, ближайший к 90° или 270° ;
- $T_{гр_1}$ — момент наблюдения светила, имеющего принятый $ИП_1$;
- исходные координаты светил δ_{00} и t_{00} берутся из МАЕ на $T_{гр} = 0$ ч гринвичской даты (для звезд берется t_{00}^{\wedge});
- для Солнца и планет $\Delta\delta$ берут из МАЕ (при φ и δ разноименных знак $\Delta\delta$ обратен указанному в МАЕ), а часовое изменение Δt часового угла предварительно вычисляют по формуле

$$\Delta t = 0,041667 (t_{24} - t_{00} + 360).$$

Особенности расчета координат Луны приведены в § 22.3.

Таблица 23.5.2

Аргументы, константы		Адрес	Информация (с решением примера)		
для звезд	для Солнца и планет		исходная (пример — звезды)	промежуточная	итоговая
$ИП_1$	$ИП_1$	П2	233,7°		λ_0
$T_{гр_1}$	$T_{гр_1}$	П1	22°13'07"		
$T_{гр_2}$	$T_{гр_2}$	П4	22 25 24	$h_1 = 40^\circ 40,3'$	
τ_1^*	0	П3	146°24,3'		
τ_2^*	0	П5	62 38,6		
t_{00}^{\wedge}	t_{00}	П6	303 02,2	$h_2 = 31^\circ 00,5'$	
15,0411	Δt	П7	15,0411°		
$\pm \delta_2$	$\pm \delta_{00}$	П8	+8°47,6' N		
0	$\Delta \delta$	П9	0		
$\pm \delta_1$	0	ПА	+19 19,8 N		
φ_c	φ_c	П0	59°20' N		φ_0
Дать команды:				Команда	
БП 12 С/П	В/О С/П		БП 12 С/П	пуска С/П	

Контроль после первого останова: ИПА, ИП8, ИП3, ИП5

Первый останов ПМК происходит после завершения расчета координат географических мест светил. Нажимая клавиши ИПА, ИП8, ИП3,

ИП5, проверяют решение тестовой задачи, после чего по адресам П4 и П6 вводят приведенные высоты светил (по адресу П4 вводится высота светила, имеющего ИП₁).

После второго останова получают:

по адресу ИП0 — обсервованную широту φ_0 (одноименна с φ_c);

по адресу ИП1 — обсервованную долготу λ_0 (восточная — положительна, западная — отрицательна).

Пример 23.5.1. 26 июля 1971 г., находясь по счислению в $\varphi_c = 59^\circ 20' N$; $\lambda_c = 23^\circ 14' W$, измерили высоты звезды Арктур и звезды Альтаир при $e = 7,6$ м; $V = 24$ уз; $ПУ = 223^\circ$; $N_c = 2$ W. Результаты обработки наблюдений (с приведенем к месту измерений высоты звезды Альтаир):

	Арктур	Альтаир
ИП	233,7°	131,8°
h	40°40,3'	31°00,5'
$T_{гр}$	22°13'07"	22°25'24"

Вычислять координаты обсервованного места корабля и момент обсервации по судовому времени.

Решение. Его порядок представлен в табл. 23.5.2.

Итог: ИП0 $\varphi_0 = 59,35212^\circ = 59^\circ 21,1' N$,

ИП1 $\lambda_0 = -743,3503^\circ = 23^\circ 21,0' W$,

$T_c = 22^\circ 25,4^m - 2^s = 20^\circ 25,4^m$.

§ 23.6. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ДВУХ ВЫСОТ МЕТОДОМ ВЫСОТНЫХ ЛИНИЙ ПОЛОЖЕНИЯ. КОНТРОЛЬ СЧИСЛИМОГО МЕСТА ПО ОДНОЙ ВЫСОТНОЙ ЛИНИИ ПОЛОЖЕНИЯ

Принцип решения. Высотной линией положения (*влп*) называется отрезок круга равных высот малой протяженности, взятый вблизи счислимого места и представленный в виде прямой линии. На рис. 23.6.1 показано, что вблизи счислимой точки C (φ_c, λ_c) круги равных высот можно заменить соответствующими им высотными линиями положения 1-1 и 2-2, продолженными на карте или на планшете. Для построения высотных линий положения служат их элементы:

- счисляемые азимуты A_{c_1} и A_{c_2} , определяющие направления S_0 и S_{02} на географические места светил σ_1 и σ_2 от счислимого места C ;
- переносы n_{h_1} и n_{h_2} — расстояния по линиям азимутов от счислимой точки C до определяющих точек K_1 и K_2 линий положения.

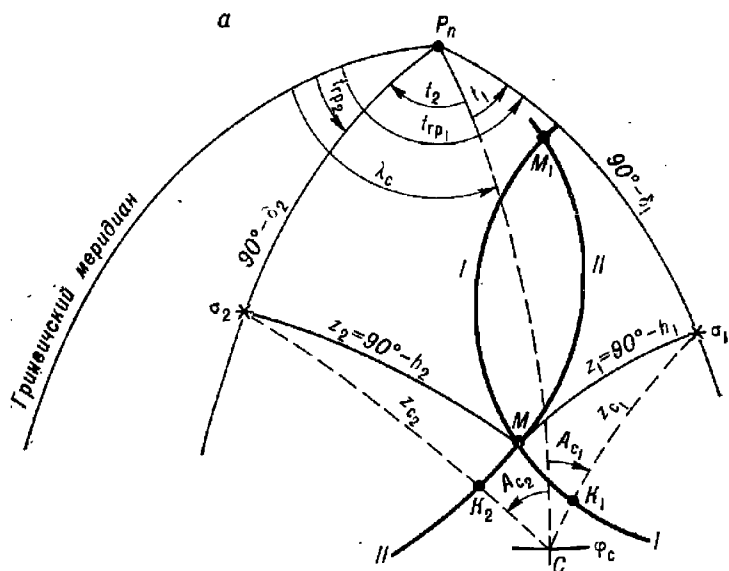
Величины переносов равны разностям счисляемых z_c и истинных z зенитных расстояний светил или же истинных и счисляемых высот:

$$n_{h_1} = SK_1 - z_{c_1} - z_1 = h_1 - h_{c_1}; \quad n_{h_2} = z_{c_2} - z_2 = h_2 - h_{c_2}.$$

Положительные значения переносов прокладывают в сторону светила, отрицательные — в противоположном направлении. Линии положения прокладывают через определяющие точки K_1 и K_2 перпендикулярно линиям азимутов и в их пересечении получают обсервованное место корабля M . Изложенное представляет собой принцип решения задачи двух высот методом линий положения. Если прокладка выполнена на карте, то точка M непосредственно определяет географическое место корабля. Если же прокладку выполняли на планшете бланка Ш-8 (рис. 23.6.1, б), в центре которого принимается счислимая точка C , то обсервованные координаты находят посредством определения поправок $\Delta\varphi_0$ и $\Delta\lambda_0$ к счислимым координатам:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_0 &= \varphi_c \pm \Delta\varphi_0; \\ \lambda_0 &= \lambda_c \pm \Delta\lambda_0. \end{aligned} \right\} \quad (23.6.1)$$

При этом поправку $\Delta\varphi_0$ измеряют в том же масштабе, в каком прокладывали значения переносов (например, в 1 см —



б

Ш-8

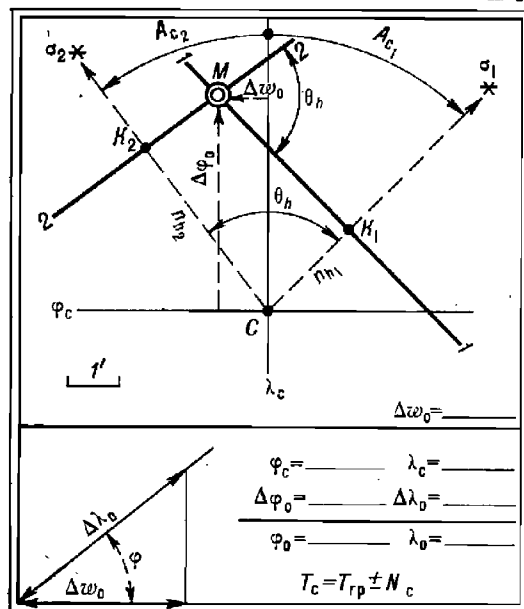


Рис. 23.6.1

1 милия); поправку к счислимой долготе находят по величине отшествия $\Delta\omega_0$ между меридианами счислимого и обсервованного места (его

измеряют в том же масштабе), которую умножают на секанс широты места: $\Delta\lambda_0 = \Delta\omega_0 \sec \varphi$. При $\varphi < 60^\circ$ в последнюю формулу вводят φ_c ; в более высоких широтах используют среднюю широту $\varphi_m = 0,5(\varphi_c + \varphi_0)$. Эта же операция может быть выполнена по табл. 25-а МТ-75, по аналогичной таблице в ВАС-58 и при $\varphi < 70^\circ$ — графическим приемом, показанным на рис. 23.6.1 слева внизу (где $\Delta\lambda_0$ измеряют в масштабе $\Delta\omega_0$).

Момент наблюдения по судовому времени находят, придавая номер N_c часового пояса к заданному моменту приведения высот $T_{гр}$.

Необходимо твердо знать основные свойства высотной линии положения:

— *влп* может быть получена по светилу, наблюдаемому на любой высоте и по любому направлению от корабля;

— расположение *влп* на местности не зависит от выбора вблизи счислимого места точки, принимаемой для вычисления h_c и A_c ; выбор той или иной расчетной точки C изменит значения h_c и A_c , но результаты прокладки *влп* от разных расчетных точек будут практически одинаковы — *влп* всегда проходит через obserвованное место M ;

— при расчетах элементов *влп* для фактического счислимого места величина переноса не может быть больше погрешности счисления; расстояние от места корабля M до определяющей точки K всегда меньше погрешности счислимого места C , поэтому можно уточнить счисление по одной линии положения;

— любая погрешность в истинной или счислимой высоте вызывает равновеликую погрешность в *влп*, поэтому астронавигационные наблюдения и их обработку следует выполнять тщательно и аккуратно.

Вычисление элементов *влп* на ПМК. Программа вычисления элементов n и A_c на ПМК, обобщающая частные программы, содержащиеся в § 22.3, 23.3 и 23.4, дана в таблице 23.6.1, организация и правила вычислений — в табл. 23.6.2.

В программе, приведенной в табл. 23.6.1, реализованы следующие зависимости:

$$\begin{aligned} \delta &= \delta_{00} + 0,0417 (\delta_{24} - \delta_{00}) T_{гр}; \\ t &= t_{00} + 0,0417 (t_{24} - t_{00} + 360) T_{гр} + \lambda + \tau^*; \\ h_c &= \arcsin (\sin \varphi_c \sin \delta + \cos \varphi_c \cos \delta \cos t); \quad n = h - h_c; \\ ИП_c &= \arccos (\sin \delta \sec \varphi_c \sec h - \operatorname{tg} \varphi_c \operatorname{tg} h); \\ \Delta h_z &= V \cos (ИП_c - ПУ) \tau_{и}; \quad \text{прив. } n = n + \Delta h_z, \end{aligned}$$

где обозначения прежние.

При работе по программе руководствуются нижеследующим (табл. 23.6.2):

1. Исходными величинами для вычислений являются:

1) координаты расчетной (счислимой) точки φ_c и λ_c ;

2) момент наблюдений светила по всемирному времени $T_{гр}$;

3) начальные координаты светила, выбираемые из МАЕ по гринвичской дате:

а) для звезд на момент $T_{гр} = 00$ ч значение t_{00}^{\wedge} , на $T_{гр} = 00$ ч следующей даты значение t_{24}^{\wedge} ; по дате — значения δ^* и τ^* ;

б) для планет и Солнца на $T_{гр} = 00$ ч значения δ_{00} и t_{00} , на $T_{гр} = 00$ ч следующей даты значения δ_{24} и t_{24} ;

в) для Луны на начало часа заданного $T_{гр}$ значения δ_{00} и t_{00} , и на конец часа — δ_{24} и t_{24} ; при этом по адресу П6 вводятся только минуты

Таблица 23.6.1

Программа для вычисления переноса l вл и азимута ИП.

Адрес	Команда	Код	Адрес	Команда	Код	Адрес	Команда	Код
	В/О F ПРГ		33	Fcos	1Г	66	ИПВ	6L
00	ИП5	65	34	ИПС	6С	67	ИПА	6—
01	ИП4	64	35	Fcos	1Г	68	—	11
02	—	11	36	×	12	69	ПА	4—
03	ИПА	6—	37	ИП9	69	70	ИП7	67
04	:	13	38	Fcos	1Г	71	ИПД	6Г
05	ИП6	66	39	×	12	72	—	11
06	×	12	40	+	10	73	6	06
07	ИП4	64	41	Farsin	19	74	0	00
08	+	10	42	ПД	4Г	75	×	12
09	ПС	4С	43	ИПС	6С	76	ПВ	4L
10	ИП3	63	44	Fsin	1С	77	С/П	50
11	ИП2	62	45	ИП0	60	78	ИПА	6—
12	—	11	46	Fcos	1Г	79	ИПД	6Г
13	ИПВ	6L	47	:	13	80	—	11
14	+	10	48	ИПД	6Г	81	ИП7	67
15	ИПА	6—	49	Fcos	1Г	82	2	02
16	:	13	50	:	13	83	:	13
17	ИП6	66	51	ИП0	60	84	+	10
18	×	12	52	Ftg	1E	85	Fcos	1Г
19	ИП2	62	53	ИПД	6Г	86	ИПС	6С
20	+	10	54	Ftg	1E	87	×	12
21	ИП1	61	55	×	12	88	ИП9	69
22	+	10	56	—	11	89	ИП6	66
23	С/П	50	57	Farccos	1—	90	—	11
24	ИП9	69	58	ПА	4—	91	×	12
25	+	10	59	ИП8	68	92	ИПВ	6L
26	П9	49	60	ИПВ	6L	93	+	10
27	ИП0	60	61	2	02	94	ПВ	4L
28	Fsin	1С	62	:	13	95	С/П	50
29	ИПС	6С	63	—	11		F АВТ	
30	Fsin	1С	64	Fx > 0	59			
31	×	12	65	70	70			
32	ИП0	60						

и секунды $T_{гр}$, выраженные в долях часа (§ 22.3); по адресу П9 вводятся 0, а по адресу ПА — единицу.

II. При вводе координат:

1) северное склонение, северная широта, восточная долгота — положительны; южное склонение, южная широта, западная долгота — отрицательны; часовые углы из МАЕ вводятся без учета их наименования;

2) если светило не опознано, то вводят данные для точки Овна и, вычислив t_m^{\wedge} , опознают светило по звездному глобусу (§ 22.3);

3) истинная высота светила вводится по адресу П7 не приведенной к заданному месту наблюдений (§ 23.4);

4) истинный пеленг вводится по данным наблюдений.

III. После первого останова на табло высвечивается t_m^{\wedge} для работы со звездным глобусом.

После второго останова по адресу ПА находится считаемый ИП светила (круговой азимут), а по адресу ПВ — неприведенный перенос n . Для приведения полученного переноса к месту корабля на заданный момент $T_{гр.п}$ по адресам, указанным в табл. 23.6.2, вводят промежуточную информацию: $T_{гр.п}$, V , $ПУ$, а по адресу П7 — цифру 0, если за интервал времени приведения пройденное расстояние не превысит 10 миль, а при больших расстояниях — вычисленную предварительно величину ΔA по формуле

$$\Delta A = S [\sin ПУ \operatorname{tg} \varphi + \sin (ИП - ПУ) \operatorname{tg} h].$$

После третьего останова по адресу ПВ находится приведенный перенос высотной линии положения.

Если при выполнении п. II. 3 по адресу П7 была введена приведенная высота h , то и перенос получится приведенным к заданному месту (после второго останова счета).

Таблица 23.6.2

Аргументы, константы	Адрес	Информация (с решением примера)		
		исходная	промежуточная	итоговая
φ_c	П0	50°05' S		
λ_c	П1	56°45' W		
t_{00} или t_{00}^{\wedge}	П2	65 02,9		
t_{24} или t_{24}^{\wedge}	П3	66 02,1		
δ_{00} или δ^*	П4	12 04,7 (Регул)		
δ_{24} или δ^*	П5	12 04,7 (Регул)		
$T_{гр}$	П6	6°54'41"		
h	П7	18°56,7'	0	
ИП	П8	40°		
0 или τ^*	П9	208°12,7'	$T_{гр.п} = 7^{\circ}02'$	
		Стоп:		
24	ПА	ИП _c = 41,1335		ИП _c = 41,1° $n = +5,9'$ (приведенный)
360	ПВ	$n = +4,4$		
	ПС	($\delta = 12,0783$)	$V = 18$ уз	
	ПД	($h_c = 18,8708$)	$ПУ = 90^\circ$	

Примечание. На табло после первого останова высветится $t_m^{\wedge} = 112,2533^\circ$ (для звездного глобуса).

Пример 23.6.1. 26 ноября 1976 г., находясь по счислению в точке $\varphi_c = 50^{\circ}05' S$; $\lambda_c = 56^{\circ}45' W$, в разрывах облаков наблюдали неопознанное светило по $ИП = 40^{\circ}$. В момент $T_{гр} = 6^{\circ}54'41''$ истинная высота светила $h = 18^{\circ}56,7'$, $ПУ = 90^{\circ}$, $V = 18$ уз. Вычислить элементы n , A_c *влп* и привести их к месту корабля в момент $T_{гр} = 7^{\circ}02''$.

Решение: 1. После первого останова ПМК имели $t_m^Y = 112,2^{\circ}$ и по звездному глобусу опознали светило: α Льва.

2. Итог — см. табл. 23.6.2.

Вычисление элементов *влп* по таблицам ВАС—58. Для вычисления служит стандартная схема журнала астрономических вычислений, выборки из которой даны в табл. 23.3.1 и 23.4.1 применительно к расчетам координат светил и их истинных высот с приведением к заданному месту наблюдений. В табл. 23.6.3 показано вычисление элементов *влп* наиболее экономичным путем — с использованием таблиц ВАС—58 по методу перемещения счислимого места:

— широту счислимого места φ_c округляют до ближайшего целого градуса и записывают в п. 4 схемы; ее называют перемещенной широтой φ_n ;

— долготу счислимого места λ_c (п. 17) изменяют до ближайшего ее значения λ_n , при котором часовой угол светила t_n получается в виде целого числа градусов: $t_n^W = t_{гр}^W \pm \lambda_n$. Величину λ_n называют перемещенной (специально подобранной) долготой. Если $t_n^W > 180^{\circ}$, то вычисляют $t_n^E = 360^{\circ} - t_n^W$ (см. п. 18, 19). Далее по пп. 23—27 табл. 23.6.3 с помощью таблиц ВАС—58 и табл. 23.6.4 вычисляют:

$$h_c = h_T + \Delta h_s \quad \text{и} \quad A_c = A_T + \Delta A_s, \quad (23.6.2)$$

Величину переноса n находят по пп. 38—40.

Прокладка найденных таким путем n и A_c выполняется от перемещенного счислимого места $П$ (φ_n , λ_n).

Если необходимо найти элементы *влп* непосредственно для счислимого места C (φ_c , λ_c), то h_c и A_c вычисляют по полной схеме, показанной в табл. 23.6.4 (примеры таких вычислений даны в описании ВАС—58). Аргументами для вычислений в таких случаях служат: счислимая широта φ_c , склонение светила δ , местный часовой угол $t_m = t_{гр} \pm \lambda_{с.в.}^E$ светила.

Вычисленная для действительного счислимого места (согласно навигационной прокладке) и построенная от него на карте одна *влп* (рис. 23.6.2) может быть использована для уточнения места корабля.

Пример 23.6.2. Вычислить высоту и азимут светила с наибольшей возможной точностью по ВАС—58, если $\varphi = 42^{\circ}30,2' N$; $\delta = 42^{\circ}29,9' N$; $t_m = 24^{\circ}29,7' E$.

Решение представлено в вычислительной схеме на стр. 547, внизу.

Рассмотренный пример вычислений по ВАС—58 указывает на одно из важных достоинств этого метода решения задачи: приближенные значения h_c и A_c получаются сразу и поэтому промахи в аргументах легко обнаруживаются. Кроме того, операции ведутся с малозначными числами, что упрощает вычислительный процесс.

При вычислениях по ВАС—58 признаком расположения центра Солнца ниже истинного горизонта является либо отсутствие табличного часового угла в основной таблице, либо расположение величины h_T , A_T , q ниже разделительной горизонтальной черты при одноименных φ и δ или выше ее при разноименных φ и δ . Для вычисления отрицательной высоты следует:

- изменить наименование широты на противоположное;
- вычислить дополнение часового угла: $t' = 180^{\circ} - t_m$;

Таблица 23.6.3

**Схема вычисления элементов высотной линии положения
методом перемещения счислимого места**

1. _____ (район плавания)					
№ п.п.	Аргументы, действия	Условн. обозн.	Вычисления для l и λ		
2	Счислимое место на момент T_c (см. п. 6)	φ_c			ol
3		λ_c			
4	Округлить φ_c до градусов	φ_n			$\Delta_l =$
(См. табл. 23.3.1)					
15	$= 12 + 13 + 14$	$t_{гр}$			
16	$t_{гр} \pm 360^\circ$, если это необходимо	—			
17	Подобрать λ по п. 3	$\lambda_n \frac{E+}{W-}$			
18	$= 15(16) + 17$	t_n		W	Контроль: $t_w + t_E = 360^\circ$
19	При $t^w > 180^\circ : 360^\circ - t^w$	t_n		E	
20	Из МАЕ по пп. 8, 11	δ_r			$\Delta =$
21	Из МАЕ по п. 11	$\Delta\delta$			Контроль знака $\Delta\delta$
22	$= 20 + 21$	δ			
23	Из основы табл. ВАС-58	$\delta_{табл.}$			Одноим. Разноим.
24	$= 22 - 23$	$\Delta\delta$		$q =$	
25	Из ВАС-58 по пп. 4, 23, 18 (19)	h		$A =$	
26	Из ВАС-58 табл. 1	Δh_δ		ΔA_δ	
27	$= 25 + 26$	h_c		A_c	
(См. табл. 23.4.1)					
38	$= 36 + 37$	h_n		γ	
39	$= 27$	h_c		l	
40	$= 38 - 39$	$n - h_n - h_c$		x	
41	Момент наблюдения T_c	11 ± 7		$ol =$	

Таблица 23.6.4

Схема вычисления высоты и азимута по таблицам ВАС—58

1. Последовательность вычислений и записи результатов

Аргумент	Заданный	Табличный	Заданный — табличный	h_T	5	A_T	5
φ	1	2	3	Δh_φ	8	ΔA_φ	8
δ	1	2	3	Δh_δ	9	ΔA_δ	6; 9
t	1	2	3	Δh_t	13	ΔA_t	7
q	5			Δh_θ	14	$\Sigma \Delta A$	10
φ и δ одно разно				$\Sigma \Delta h$	15	A_c	11
именные 4				h_c	16	$A_c - \frac{\Delta A_t}{2}$	12

2. Правила вычислений

Номер операции	Содержание операции	Правила выполнения
1	Записать в бланк заданные аргументы φ , δ , t_m	
2	Подобрать табличные аргументы φ_T , δ_T , t_T (ближайшие к заданным)	По основной таблице (ОТ) так, чтобы разность заданных и табличных аргументов не превышала 30'
3	Рассчитать разность заданных и табличных аргументов $\Delta\varphi$, $\Delta\delta$, Δt	Из заданных аргументов вычесть табличные, проставить знаки
4	Сравнить φ и δ по наименованию	Одноименные или разноименные, ненужное зачеркнуть
5	Выбрать из основных таблиц по аргументам φ_T (клапан), δ_T , t_T значения h_c , A_c и вспомогательного угла q	При φ и δ одноименных вход в ОТ сверху и слева; при φ и δ разноименных — снизу и справа
6	Определить по ОТ знак поправки ΔA_δ	По характеру изменения азимута A_c при перемене склонения от δ_T в сторону заданного δ
7	Выбрать из ОТ величину и знак поправки ΔA_t	Интерполировать A_c при перемене часового угла от t_T в сторону заданного t : $\Delta A_t = \Delta A_{T^{\circ}} \times \Delta t^{\circ}$
8	Выбрать из табл. 1 ВАС-58 поправки Δh_φ и ΔA_φ по аргументам h_T (клапан), $\Delta\varphi$ и A_T	При $(+\Delta\varphi)$ вход сверху и слева, при $(-\Delta\varphi)$ — снизу и справа. Величину Δh проинтерполировать по значениям A_T , а также за десятые доли минуты $\Delta\varphi$. Знак Δh_φ указан в таблице, знак ΔA_φ одинаков со знаком $\Delta\varphi$

Продолжение табл. 23.6.А

Номер операции	Содержание операции	Правила выполнения
9	Выбрать из табл. 1 (в том же диапазоне h_T) поправки Δh_δ и ΔA_δ по аргументам $\Delta \delta$ и q	При $(+\Delta \delta)$ вход сверху и слева, при $(-\Delta \delta)$ — снизу и справа. Величину Δh проинтерполировать за десятые доли $\Delta \delta$; ее знак указан в таблице. Знак ΔA_δ был получен в п. 6
10	Рассчитать алгебраическую сумму поправок к азимуту	$\Sigma \Delta A = \Delta A_\varphi + \Delta A_\delta + \Delta A_t$
11	Рассчитать счислимый азимут и дать ему наименование в полукруговом счете	$A_c = A_T + \Sigma \Delta A$ Наименование A_c : первая буква по наименованию широты, вторая — по наименованию часового угла
12	При $h_T > 60^\circ$ вычислить аргумент $A_c - \frac{1}{2} \Delta A_t$	Алгебраически, с учетом знака ΔA_t
13	Выбрать из табл. 2 поправку Δh_t по аргументам φ ; Δt , $A_c - \frac{1}{2} \Delta A_t$ (при $h_T < 60^\circ$ — по A_c)	Принтерполировать Δh по азимуту и за десятые доли Δt . Знак Δh_t противоположен знаку Δt
14	Выбрать из табл. 3 поправку Δh_δ по аргументам ΔA_δ , A_T , $\Delta \varphi$	При $(+\Delta A_\delta)$ вход сверху и слева, при $(-\Delta A_\delta)$ — снизу и справа. Знак поправки указан в таблице
15	Рассчитать алгебраическую сумму поправок к высоте	$\Sigma \Delta h = \Delta h_\varphi + \Delta h_\delta + \Delta h_t + \Delta h_\delta$
16	Рассчитать счислимую высоту	$h_c = h_T + \Sigma \Delta h$

3. Решение примера 23.6.2

Аргумент	Заданный	Табличный	Заданный — табличный	h_T	$72^\circ 20,2'$	A_T	$85,0^\circ$
φN	$42^\circ 30,2'$	43°	$-29,8'$	Δh_φ	$-3,0$	ΔA_φ	$-1,5$
δN	$42^\circ 29,9$	42°	$+29,9$	Δh_δ	$+5,4$	ΔA_δ	$-1,5$
$t E$	$24^\circ 29,7$	24°	$+29,7$	Δh_t	$-21,6$	ΔA_t	$-0,2$
q	79			Δh_δ	$-0,8$	$\Sigma \Delta A$	$-3,2$
φ и δ <small>одно разно</small> именные				$\Sigma \Delta h$	$-20,0$	$A_c N$	$81,8^\circ E$
				h_c	$72^\circ 00,2'$	$A_c - \frac{\Delta A_t}{2}$	$81,9$

— по измененной широте, заданному склонению и дополнению t' обычным путем вычислить высоту h'_c и азимут A'_c (пример 23.6.3).

Искомая высота имеет знак *минус*, искомый азимут $A_c = 180^\circ - A'_c$.

Пример 23.6.3. Вычислить h_c и A_c для счислимого места по аргументам: $\varphi_c = 43^\circ 22,0' N$; $\delta = 7^\circ 26,0' N$; $t_m = 97^\circ 37,0' E$.

Решение приведено в следующей ниже таблице:

Арг.	Задан.	Табл.	Задан.— табл.	h_T	$1^\circ 01,6'$	A_T	$100,6^\circ$
φN	$43^\circ 22'$	43°	$+22'$	Δh_φ	$-4,0$	ΔA_φ	$+0,1$
δN	$7\ 26$	7	$+26$	Δh_δ	$-18,1$	ΔA_δ	$+0,3$
t'	$82\ 23$	82	$+23$	Δh_t	$-16,5$	ΔA_t	$-0,3$
q	134			Δh_ϱ	$-0,1$	$\Sigma \Delta A$	$+0,1$
				$\Sigma \Delta h$	$-38,7$	A'_c	$100,7$
φ и δ	одно <i>разно</i>		именные	h_c	$0^\circ 22,9'$	$A'_c - \frac{\Delta A_t}{2}$	$100,8^\circ$

Результат: $h_c = -0^\circ 22,9'$; $A_c = N\ 79,3^\circ E$.

Вычисление высоты h_c , превышающей 73° , по таблицам ВАС—58. Метод перемещенных мест позволяет применять таблицы ВАС—58 при обработке наблюдений любых высот, что делает эти таблицы универсальными. Для практически реального диапазона больших высот (73 — 88°) предельная ошибка расчета h_c для перемещенного места не превышает $0,1'$; предельная ошибка расчета азимута не превышает $0,5'$ при $h_c < 86^\circ$ и $1,9'$ при $h_c = 88^\circ$. Вычисления h_c и A_c ведут по формулам (23.6.2).

Правила вычислений.

1. Используя табл. 23.6.3, выбрать по φ_c и λ_c перемещенное место, найти аргументы φ_n и t_n для выхода в основные таблицы ВАС—58.

2. Из основных таблиц выбрать h_T , A_T , q_T , поправки Δq_δ и ΔA_δ к табличным q_T и A_T за перемену склонения; эти поправки находят непосредственным интерполированием (так же, как при обычном расчете находят ΔA_t).

3. Рассчитать вспомогательный аргумент $q' = q_T + \frac{1}{2} \Delta q_\delta$ с учетом знака Δq_δ .

4. Из табл. 1 всегда в диапазоне $h_T = 0$ — 22° выбрать Δh_δ по аргументам $\Delta \delta$ и q' , производя в необходимых случаях интерполяцию по q' .

5. Вычислить результат: $h_c = h_T + \Delta h_\delta$ и $A_c = A_T + \Delta A_\delta$. Этот вариант расчета чаще всего может встретиться при наблюдениях Солнца в $\varphi < 41^\circ$. В последнем выпуске ВАС—58 имеется табл. 4, уточняющая расчет A_c при обработке больших высот.

Пример 23.6.4. Находясь по счислению в точке с координатами $\varphi_c = 40^\circ 27' N$ и $\lambda_c = 162^\circ 32' E$, наблюдали звезду Нат; истинная высота звезды получилась $h = 78^\circ 00,2'$. По МАЕ нашли $t_{ГР}^* = 199^\circ 28,7'$; $\delta = 28^\circ 34,5' N$.

Вычислить элементы λ и A_c высотной линии положения.

Решение:

1. Выбор перемещенного места:

$$\varphi_n = \varphi_T = 40^\circ N$$

$$t_{ГР}^* = 199^\circ 28,7'$$

$$+$$

$$\lambda_n = 163,3 E$$

$$t_n = 362\ 00,0 = 2^\circ W$$

2. Расчет h_c и A_c по ВАС—58, том III:

Арг.	Задан.	Табл.	Задан.— табл.	h_T	$78^\circ 52,7'$	A_T	$170,9^\circ$
φ N	40°	40°	—	Δh_φ	—	ΔA_φ	—
δ N	$28^\circ 34,5'$	29	—25,5	Δh_δ	—25,3	ΔA_δ	+0,3
t W	2°	2	—	Δh_t	—	ΔA_t	—
q'	8°	$+\frac{-0,4}{2} = 7,8$		Δh_q	—	$\Sigma \Delta A$	—
				$\Sigma \Delta h$	—	A_c N	$171,2^\circ$ W
φ и δ <i>одно</i> <i>разно</i> именные				h_c	$78^\circ 27,4'$	$A_c - \frac{\Delta A_c}{2}$	—

3. Расчет элементов высотной линии положения:

$$h = 78^\circ 00,2'$$

$$h_c = 78^\circ 27,4'$$

$$n = -27,2' \text{ и } A_c = N 171,2^\circ \text{ W}$$

Вычисление элементов *впл* по таблицам ТВА—57. Аргументами для вычислений служат числимая широта φ_c , склонение δ светила, местный часовой угол $t_m = t_{гр} \pm \lambda_{св}^E$ светила. Схема и правила вычислений показаны в табл. 23.6.5.

Пример 23.6.5. Используя ТВА—57, вычислить высоту h_c и азимут A_c светила по аргументам $\varphi_c = 37^\circ 00,0' \text{ N}$; $\delta = 16^\circ 25,3' \text{ N}$; $t_m = 47^\circ 37,6' \text{ W}$.

δ N	$16^\circ 25,3'$	$T(\delta)$	60 113				
t W	$47^\circ 37,6'$	$S(t)$	3 427	$T(t)$	71 522		
x N	$23^\circ 37,1'$	$T(x)$	63 540	$S(x)$	760		
φ_c N	$37^\circ 00,0'$			$T(p)$	70 762		
$90^\circ + (x \sim \varphi_c)$	$103^\circ 22,9'$			$S(y)$	12 711	$T(y)$	83 197
A_c	$77^\circ 01,3'$	S W		$T(A)$	83 473	$S(A)$	12 972
$h_c +$	$43^\circ 21,2'$					$T(h)$	70 225

Результат решения: $h_c = 43^\circ 21,2'$; $A_c = 77,0^\circ \text{ SW}$

Пример 23.6.6. Используя ТВА—57, вычислить высоту h_c и азимут A_c светила, расположенного под истинным горизонтом.

δ N	$7^\circ 26,0'$	$T(\delta)$	53 035				
t E	$97^\circ 37,0'$	$S(t)$	17 553	$T(t)$	88 201		
x N	$135^\circ 27,2'$	$T(x)$	70 588	$S(x)$	2 942		
φ_c N	$43^\circ 22,0'$			$T(p)$	85 259		
$90^\circ + (x \sim \varphi_c)$	$182^\circ 05,2'$	$(2^\circ 05,2')$		$S(y)$	6	$T(y)$	41 955
A_c	$79^\circ 22,8'$	NE		$T(A)$	85 265	$S(A)$	14 690
$h_c -$	$0^\circ 23,1'$					$T(h)$	27 265

Результат решения: $h_c = -0^\circ 23,1'$; $A_c = 79,4^\circ \text{ NE}$

Таблица 23.65

Схема вычисления высоты и азимута по таблицам ТВА—57

1. Последовательность вычислений и записи результатов

δ	1	$T(\delta)$	2				
		+					
t	1	$S(t)$	3	$T(t)$	4		
x	6	$T(x)$	5	$S(x)$	7		
		←					
φ_c	1			$T(p)$	8		
				+			
$90^\circ + (x \sim \varphi_c)$	9			$S(y)$	10	$T(y)$	11
A_c	13			$T(A)$	12	$S(A)$	14
		←					
h_c	16					$T(h)$	15

2. Правила вычислений

Номер операции	Выполняемая операция	Правила выполнения
1	Записать в бланк заданные аргументы δ , t , φ_c	
2	Выбрать из табл. 11 по δ величину $T(\delta)$	Вход сверху и слева
3	Выбрать по t величину $S(t)$	При $t < 90^\circ$ вход сверху и слева, при $t > 90^\circ$ вход снизу и справа
4	Выбрать по t величину $T(t)$	То же
5	Вычислить $T(x)$	$(2) + (3) = (5)$
6	Выбрать x по $T(x)$	Обратным входом. При $t < 90^\circ$ отсчитывать x сверху и слева, при $t > 90^\circ$ — снизу и справа. Наименование x одинаково с δ
7	Выбрать $S(x)$ по x	То же, что и в пп. 3 и 4 *
8	Вычислить $T(p)$	$(4) - (7) = (8)$
9	Вычислить $y = 90^\circ + (x \sim \varphi)$	При x и φ одноименных: из большего отнять меньшее и результат приписать к 90° . При x и φ разноименных $y = 90^\circ + x + \varphi$
10	Выбрать $S(y)$ по y	Вход снизу и справа. При $y > 180^\circ$ входить с $y' = 360^\circ - y$ или с $y'' = y - 180^\circ$

* Если x или A_c больше 75° , то при выборке $S(x)$ или $S(A)$ эти величины находят путем прибавления к их ближайшему табличному значению той же разности, на которую $T(x)$ или $T(A)$ отличаются от своего ближайшего табличного значения. Соблюдение этого правила важно для точного расчета h_c и A_c .

В двух частных случаях (задано $t = 90^\circ$ или получено $x = \varphi$), практически чрезвычайно редких, решение выполняется по схемам примеров 3 и 4 из описания ТВА—57.

Продолжение табл. 23.6.5

Номер операции	Выполняемая операция	Правила выполнения
11	Выбрать $T(y)$ по y	Вход снизу и справа. При $y > 180^\circ$ входить с $y' = 360^\circ - y$ или с $y' = y - 180^\circ$
12	Вычислить $T(A)$	(8) + (10) = (12)
13	Выбрать A_c по $T(A)$ Дать наименование азимуту в четвертом счете	Отсчитывать A_c сверху и слева. Первая буква наименования азимута одноименна с φ , если φ и δ одноименны и $x > \varphi$; в остальных случаях она разноименна с φ (правило действует только при $h > 0$). Вторая буква одноименна с t_m
14	Выбрать $S(A)$ по A_c	То же, что в п. 2
15	Вычислить $T(h)$	(11) - (14) = (15)
16	Выбрать h_c по $T(h)$	Обратным входом, отсчитывая сверху и слева. Высота отрицательна только при $y > 180^\circ$

Уточнение счислимого места по одной высотной линии положения.
Для уточнения места корабля по одной высотной линии положения (*влп*) используется информация об оценке точности счислимого места (§ 12.11) и об оценке точности высотной линии положения. Уточненное

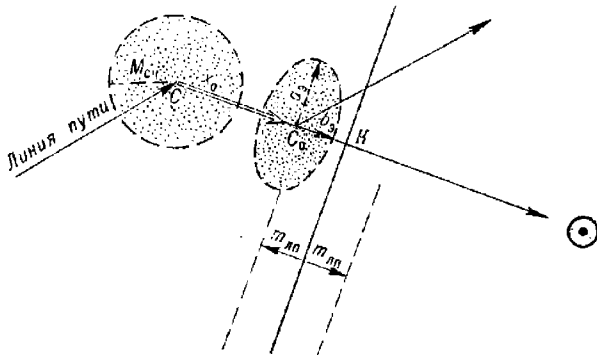


Рис. 23.6.2

место C_0 (рис. 23.6.2) лежит на линии азимута светила между счислимым местом C (φ_c, λ_c), координаты которого были введены в вычисление элементов *влп*, и определяющей точкой K линии положения; расстояние x_0 уточненного места C_0 от счислимого места C и координаты $\varphi_{ут}$, $\lambda_{ут}$ уточненного места вычисляют соответственно по формулам:

$$\left. \begin{aligned} x_0 &= \frac{n}{1 + \frac{m_{влп}^2}{(0,7M_{сч})^2}}; \\ \varphi_{ут} &= \varphi_c + x_0 \cos A_c; \\ \lambda_{ут} &= \lambda_c + x_0 \sin A_c \sec \varphi. \end{aligned} \right\} \quad (23.6.3)$$

где $m_{влп}$ — СКП высотной линии положения (табл. 22.1.1),
 $M_{сч}$ — СКП счислимого места (§ 12.11).

Точность полученного результата оценивается эллипсом погрешностей. Его большая полуось $a_3 = 0,7M_{сч}$ и направлена перпендикулярно линии азимута светила, малая полуось направлена по линии азимута и вычисляется по формуле

$$b_3 = \frac{m_{дп}}{\sqrt{m_{дп}^2 + (0,7M_{сч})^2}} M_{сч}.$$

При неавтоматизированных расчетах пользуются формулами:

$$\left. \begin{aligned} x_0 &= K_x n; \\ b_3 &= K_v M_{сч}, \end{aligned} \right\} \quad (23.6.4)$$

где K_x и K_v — коэффициенты, выбираемые из табл. 23.6.6 по отношению $M_{сч}/m_{дп}$.

Таблица 23.6.6

$\frac{0,7M_{сч}}{m_{дп}}$	0,5	1	2	3
K_x	0,2	0,5	0,8	0,9
K_v	0,9	0,7	0,4	0,3

Необходимо всегда помнить, что такое уточнение не равноценно наблюдению: место уточняется вдоль линии азимута, но оно остается неуточненным по направлению *влп* (это направление остается наиболее опасным). Оценка точности по вероятностно-статистическим данным об одной *влп* всегда сохраняет элемент риска и ни в коей мере не заменяет полноценную observation.

Для решения задачи на ПМК служит программа, приведенная в табл. 23.6.7. Организация и правила вычислений указаны в табл. 23.6.8. При вводе исходных данных северная широта и восточная долгота — положительны, южная широта и западная долгота — отрицательны; азимут светила вводится в форме истинного пеленга. Полуось a_3 вычисляется отдельно: $a_3 = 0,7M_{сч}$.

Пример 23.6.7. Для счислимого места $\varphi_c = 50^\circ 12' N$; $\lambda_c = 30^\circ 15' W$ вычислены элементы *влп* $n = +5,0'$; $A_c = 135^\circ$, а также СКП $M_{сч} = 2$ мили, $m_{дп} = 1,2$ мили. Вычислить координаты $\varphi_{ут}$, $\lambda_{ут}$ уточненного места и оценить его точность.

Решение согласно табл. 23.6.8 дает итог:

$$\varphi_{ут} = 50^\circ 09,9' N; \lambda_{ут} = 30^\circ 11,8' W;$$

$$a_3 = 0,7 \times 2 = 1,4 \text{ мили}; b_3 = 1,3 \text{ мили}.$$

При расчетах по табл. 23.6.6 получаем:

$$x_0 = 0,6 \times 5 = 3 \text{ мили};$$

$$a_3 = 0,7 \times 2 = 1,4 \text{ мили}; b_3 = 0,6 \times 2 = 1,2 \text{ мили}.$$

Если данные для оценки точности счислимого места отсутствуют, то высотная линия положения может быть использована для контроля счисления в следующих вариантах (рис. 23.6.3):

1. При наблюдениях светила по пеленгу 0° или 180° уточняется широта места корабля.

2. При наблюдениях светила по пеленгу 90° или 270° уточняется долгота места корабля.

Таблица 23.6.7

Программа уточнения счислимого места по одной высотной линии положения
и оценки точности результата

Адрес	Команда	Код	Адрес	Команда	Код	Адрес	Команда	Код
	В/О Ф ПРГ		18	×	12	37	П9	49
00	ИП2	62	19	6	06	38	ИПС	6С
01	Фх ²	22	20	0	00	39	↑	0Е
02	↑	0Е	21	:	13	40	ИП2	62
03	ИПВ	6L	22	ИП0	60	41	Фх ²	22
04	ИП3	63	23	+	10	42	:	13
05	×	12	24	П8	48	43	1	01
06	Фх ²	22	25	ИП5	65	44	+	10
07	ПС	4С	26	Ф sin	1С	45	Ф1/х	23
08	:	13	27	ИП7	67	46	ФV	21
09	1	01	28	×	12	47	↑	0Е
10	+	10	29	ИП8	68	48	ИП3	63
11	Ф1/х	23	30	Ф cos	1Г	49	×	12
12	ИП4	64	31	:	13	50	ПА	4—
13	×	12	32	6	06	51	С/П	50
14	П7	47	33	0	00		ФАВТ	
15	ИП5	65	34	:	13			
16	Ф cos	1Г	35	ИП1	61			
17	ПД	4Г	36	+	10			

Таблица 23.6.8

Аргументы, константы	Адрес	Информация (с решением примера)	
		исходная	итоговая
φ _с	П0	50°12' N	$x_0 = 2,9$ мили $50,1657^\circ = 50^\circ 09,9' N$ $-30,1965^\circ = 30^\circ 11,8' W$ $b = 1,3$ мили
λ _с	П1	30°15' W	
<i>m</i> _{ап}	П2	1,2'	
<i>M</i> _с	П3	2,0'	
<i>n</i>	П4	+5,0'	
<i>A</i> _с	П5	135°	
	П6		
<i>x</i> ₀	П7		
φ _{уг}	П8		
λ _{уг}	П9		
<i>b</i>	ПА		
0,707	ПВ		
	ПС		
	ПД		

Примечание. Величины *n*, *m*_{ап}, *M*_с вводятся в минутах дуги, остальные величины — в градусах и их долях.

3. При наблюдениях светила по курсу корабля или в противоположном направлении уточняется пройденное расстояние.

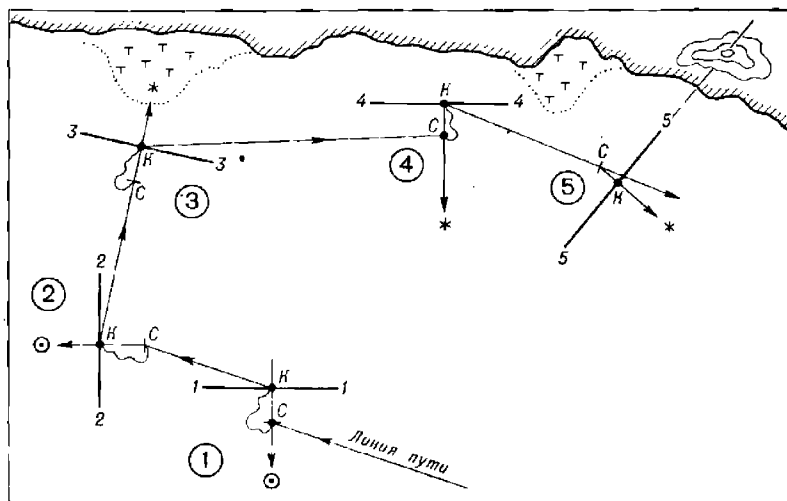


Рис. 23.6.3

4. При наблюдениях светила на правом или левом траверзе уточняется курс корабля.

5. При приближении к побережью высотная линия положения может быть использована для опознавания приметных мест и ориентиров.

§ 23.7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИНИИ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ВЫСОТЕ ПОЛЯРНОЙ ЗВЕЗДЫ И ПО НАИБОЛЬШЕЙ ВЫСОТЕ СВЕТИЛА

Линия положения по высоте Полярной. В северных широтах ($\varphi = 5 - 74^\circ \text{ N}$) по высоте Полярной звезды можно найти наблюдаемую широту места корабля с помощью таблиц «Широта по высоте Полярной», помещенных в МАЕ.

Измерение высоты Полярной и ее исправление поправками выполняются обычным порядком. Обработка наблюдений с помощью таблиц МАЕ производится с использованием схемы бланка, представленной в табл. 23.7.1. Эта обработка иллюстрируется решением примера 23.7.1.

Пример 23.7.1. Вычислить наблюдаемую широту и элементы высотной линии положения по высоте Полярной. Наблюдения выполнены 27 июля в Атлантическом океане.

$T_c = 22^{\circ}06'$; $N_c = 2 \text{ W}$; $T = 12^{\circ}10'16''$; $u = -3''$; $e = 10 \text{ м}$; $t_n^0 = +11^\circ \text{ C}$; $V = 24 \text{ уз}$; $B_0 = 762 \text{ мм}$; $oc = 64^{\circ}11,5'$; $i + s = -0,6'$; $ПУ = 332^\circ$; $\varphi_c = 64^{\circ}25' \text{ N}$, $\lambda_c = 30^{\circ}48' \text{ W}$.

Результат привести к месту корабля в момент $T_c = 22^{\circ}20'$.

Решение. Последовательность и результаты решения примера приведены в табл. 23.7.1.

Разность между наблюдаемой и числимой широтой места в момент наблюдения Полярной можно рассматривать в качестве переноса высотной линии положения $n_\varphi = \varphi_0 - \varphi_c$. Если из таблицы «Азимут

Таблица 23.7.1

Схема вычисления obserвированной широты и элементов высотной линии положения по высоте Полярной

	Полярная
	1 лн
Прибл. T_c	22°05 ^м
N_{W+}	2 W
Прибл. $T_{гр}$	00 05
Гринв. дата	28. VII
T	12°10'16 ^с
u	— 3
$T_{гр}$	00 10 13
t_T	305°00,5'
$\Delta_1 t$	2 33,7
$\Delta_2 t$	—
$t_{гр}$	307 34,2
λ_W	—30 48,0
t_m^{\wedge}	276 46,2

Отсчет	64°11,5'	
$i + s$	—0,6	
h'	64 10,9	
Δh_d	—5,6	
Вид. h	64 05,3	
Поправки	Δh_p	—0,5
Ист. h	64 04,9	
Δh_z	+3,4	
h_{π}	64 08,3	

Полярная			1 линия
I погр.	+21,8'	A круг.	2°
II погр.	+0,7	ПУ	—332
III погр.	—0,2	A — ПУ	330
Σ	+22,3	ω_{hz}	0,35
h_{π}	64°08,3'	τ_{Π}^M	+9,8
φ_0	64 30,6	Δh_z	+3,4'
φ_c	64 25,0		
$n_{\varphi} = \Delta\varphi_0 =$	$\div 5,6$	На $T_c = 22^{\circ}20^m$	

$A = 1,8^{\circ} NE$

Полярной» (также помещенной в МАЕ) выбрать азимут звезды, то по n_{φ} и A обычным путем можно построить высотную линию положения и использовать ее с другими линиями положения для определения места. При $\varphi < 50^{\circ}$ можно принимать азимут Полярной равным $ИП = 0^{\circ}$.

При использовании микрокалькуляторов по высоте Полярной вычисляется обычная линия положения; необходимые при этом δ и τ^* Полярной выбирают из приложения 5 к МАЕ.

Линия положения по наибольшей высоте светила. В ходе видимого суточного движения светило дважды проходит через меридиан места наблюдений. Если наблюдалась меридиональная высота H светила в момент верхней кульминации, то широта места наблюдений получается по формуле

$$\varphi_0 = (90 - H) \pm \delta, \quad (23.7.1)$$

в которой перед δ ставится знак *плюс*, если φ и δ одноименны, и знак *минус*, когда они разноименны.

Если наблюдалась меридиональная высота H' в момент нижней кульминации, то широта места наблюдений получается по формуле

$$\varphi_0 = (90 - \delta) + H'. \quad (23.7.2)$$

В данном способе для расчета φ_0 требуется выбирать из МАЕ только медленно изменяющееся склонение светила, поэтому момент наблюдений высоты можно регистрировать непосредственно по судовому времени. Прокладка наблюдаемой линии положения выполняется по переносу $n_0 = \varphi_0 - \varphi_c$, направление которого определяется знаком этой разности широт. Полученная наблюдаемая параллель в дальнейшем рассматривается как обычная высотная линия положения и используется для отыскания обследованного места корабля.

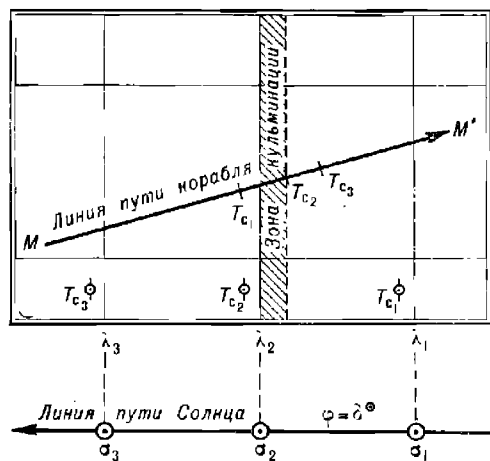


Рис. 23.7.1

По меридиональной высоте светила всегда можно получить высотную линию положения обычным путем (§ 23.6) и рассматривать ее в качестве обследованной параллели. Метод, изложенный в данном параграфе, представляет практический интерес только в силу присущей ему простоты табличной обработки наблюдений.

При подготовке к наблюдениям, применительно к счислимому месту корабля, производится вычисление ожидаемого судового времени верхней (или нижней) кульминации светила. Расчеты времени кульмина-

ции, наблюдаемой с движущегося корабля: если корабль движется (рис. 23.7.1) по линии пути MM' , а светило σ (его географическое место) в ходе суточного движения перемещается по параллели $\sigma_1\sigma_2\sigma_3$, то кульминация будет наблюдаться в тот момент, когда корабль M и светило σ окажутся на одном и том же меридиане. Момент наступления этого события предвычисляется в следующем порядке:

— вычисляется судовое время $T_{c_1}; T_{c_2}; T_{c_3}$ кульминации светила на географических меридианах $\lambda_1; \lambda_2; \lambda_3$, расположенных вблизи счислимго места корабля (по методике, показанной в табл. 22.2.3);

— на линии пути корабля наносятся счислимые точки, соответствующие вычисленным моментам $T_{c_1}; T_{c_2}; T_{c_3}$ кульминации;

— выбирается момент T_c , когда светило и корабль будут находиться на одном и том же географическом меридиане.

Поскольку моменты T_k кульминации в МАЕ даны с округлением до 1 мин, а счислимая долгота корабля известна с некоторой погрешностью, то результат решения является приближенным. Степень доверия к нему легко оценивается по сопоставлению текущего положения меридиана географического места светила и возможного распределения счислимых мест корабля.

Измерения высоты светила начинают за 5—10 мин до счислимго момента кульминации и прекращают после кульминации, явно установленной по характеру изменения отсчетов секстанга.

Если склонение светила изменяется с малой скоростью, которой можно пренебречь, и корабль неподвижен, то высота светила изменяется только вследствие вращения Земли; в этом (и только в этом!) случае наибольший отсчет секстанга oc'_1 в выполненной серии близмеридиональных наблюдений высот может быть принят в качестве меридионального ($oc'_1 = oc_H$).

При наблюдениях с движущегося корабля (особенно при курсах, близких к 0° или 180°), а также при наблюдениях Луны малая скорость суточного изменения высоты светила вблизи кульминации заметно искажается; в этих случаях наибольший отсчет секстанга не является меридиональным и полученную по нему широту φ'_0 (по формуле 23.7.1) необходимо будет исправить поправкой $\Delta\varphi$ из таблицы 19 МТ—75 для получения обсервованной широты места корабля

$$\varphi_0 = \varphi'_0 \pm \Delta\varphi = (90 - H) \pm \delta \pm \Delta\varphi.$$

Для выборки поправки $\Delta\varphi$ необходимо знать:

$\nu = \Delta$ — часовое изменение склонения, выбираемое из МАЕ, имеющее знак *плюс* при приближении светила к повышенному полюсу и знак *минус* при удалении светила от этого полюса;

ψ — часовое изменение широты места корабля, имеющее знак *плюс* при разности широт (*РШ*) одноименной с φ и знак *минус* при *РШ* разноименной с φ ; оно выбирается из табл. 24 МТ—75 по скорости и курсу корабля;

$\operatorname{tg} \varphi; \operatorname{tg} \delta$, выбираемые из табл. 6-а МТ—75 по φ и δ с округлением до второго знака после запятой.

Аргументами для входа в таблицу 19 служат разности $(\nu - \psi)$ и $(\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \delta)$, вычисляемые с учетом знаков ν, ψ и наименования φ, δ . Если $\delta > \varphi$ и они одноименны, то поправка $\Delta\varphi$ прибавляется к φ'_0 ; в прочих случаях — вычитается из нее.

Рассмотренный способ целесообразно применять при наблюдениях Солнца на широтах, меньших 40° , когда поправка $\Delta\varphi$ пренебрежимо

мала. При $\varphi > 40^\circ$ проще по близмеридиональным наблюдениям высот светила вычислить обычную высотную линию положения.

Пример 23.7.2. Вычислить observed широту по меридиональной высоте H Солнца. Наблюдения выполнены 26 июля, начиная с момента $T_c \approx 12^{\text{h}}00^{\text{m}}$ ($N_c = 11 W$). Наибольший $oc \dot{\phi} = 80^\circ 45,5'$ был в момент $T_c = 12^{\text{h}}05^{\text{m}}17^{\text{s}}$. $ПУ = 180^\circ$, $V = 18$ уз, $e = 12$ м, $u_c = +4^\circ$, $t_b^\circ = +22^\circ C$, $B = 757$ мм, $i + s + \Delta_L = +1,5'$. Счислимое место: $\varphi_c = 32^\circ 29' N$, $\lambda_c = 165^\circ 21' W$.

Решение. Последовательность и результаты решения примера приведены в табл. 23.7.2.

Таблица 23.7.2

Расчет $T_c \dot{\phi}$									
26.VII	$T_k = T_m = 12 03$								
	$\lambda = 11 01 W$								
26.VII...	$T_{гр} = 23 04$	Прибл.	T_c	$12^{\text{h}}00^{\text{m}}$	Отсчет	$80^\circ 45,5'$			
	$N = 11$	$N_W +$		$11 W$	$i + s$	$+1,5$			
26.VII...	$T_c = 12 04$	Прибл.	$T_{гр}$	$23^{\text{h}}00^{\text{m}}$	h'	$80^\circ 47,0'$			$v = \Delta = -0,1'$
		Дата		$26.VII$	Δh_d	$-6,1$			$\psi = -18,0$
		T_c		$12^{\text{h}}05^{\text{m}}17^{\text{s}}$	h_n	$80^\circ 40,9'$			$v - \psi = +17,9$
		u_c		$+4$	Поправки	Δh_{p+p}			$\text{tg } \varphi = 0,64$
		$T_{гр}$		$23^{\text{h}}05^{\text{m}}21^{\text{s}}$			R	$+15,8$	
		Δ		$-0,1$	h	$80^\circ 56,6'$			$\text{tg } \varphi - \text{tg } \delta = 0,21$
		δ, N		$23 21,7$	$Z = 90^\circ - H$	$9 03,4$			MT-75, табл. 19:
		$\Delta \delta$		0	δN	$23 21,7$			$\Delta \varphi = 0,1'$
		δN		$23^\circ 21,7'$	$\varphi'_0 N$	$32 25,1$			
				$T_c = 12^{\text{h}}05,5^{\text{m}}$	$\Delta \varphi$	$-0,1$			
					φ_0	$32 25,0$			
					φ_c	$32 29,0$			
					n_φ	$-4,0'$			(κS)

§ 23.8. СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА КОРАБЛЯ ПО ВЫСОТАМ СВЕТИЛ И ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПОЛУЧЕННОГО МЕСТА

Задача четырех высот. Наилучшую по точности и надежности астронавигационную обсервацию дают измерения высот четырех светил, наблюдаемых на примерно равных высотах и расположенных по азимутам в наивыгоднейших секторах (рис. 22.3.1); разности смежных азимутов желательнее иметь $80-110^\circ$.

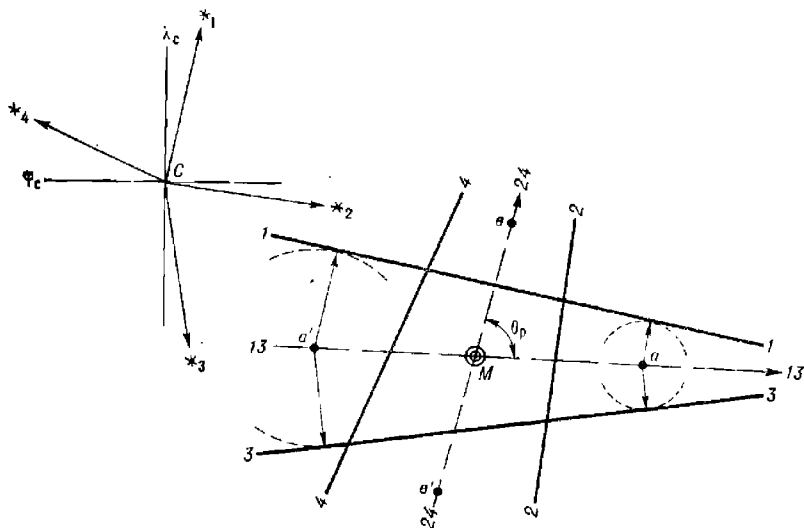


Рис. 23.8.1

При прокладке *влп* на карте или бланке Ш-8 (рис. 23.8.1) обсервованное место в фигуре погрешностей отыскивается графическим методом; аналитическое решение приведено в § 23.9.

Обсервованное место находится в точке *M*, где пересекаются разностно-высотные линии положения (*рвлп*) 13-13 и 24-24 («астрономические биссектрисы»). Для построения разностно-высотных линий положения объединяют *влп*, полученные по светилам, расположенным на противоположных азимутах, следующим образом:

— для построения *рвлп* 13-13 с помощью циркуля находят точки *a* и *a'*, равноудаленные от *влп* 1-1 и 3-3;

— для построения *рвлп* 24-24 находят точки *b* и *b'*, равноудаленные от *влп* 2-2 и 4-4.

Правильность построения *рвлп* проверяется по их направлению: оно должно быть одинаковым с направлением среднего азимута между светилами каждой данной пары. Если фигура погрешности близка к прямоугольнику, то допустимо находить точку *M* на пересечении линий, соединяющих середины противоположных сторон этой фигуры.

Задачу четырех высот при работе с навигационным секстансом и измерениях высот Солнца, превышающих $45-50^\circ$, рекомендуется решать, применяя способ измерения «через зенит». Для этого, измерив серию высот обычным порядком, следует сразу же измерить серию высот «через зенит». По полученным таким образом и приведенным к одному месту наблюдений высотам получают две *влп* и заменяют их одной *рвлп*; выждав необходимое время для изменения азимута

Солнца на оптимальный угол (согласно табл. 22.3.2), получают аналогичным образом вторую пару *влп* и заменяют их второй *рвлп*. Первую *рвлп* приводят к месту вторых наблюдений теми же методами, что и в задаче двух одновременных высот. Выгодно первые и вторые наблюдения Солнца расположить симметрично моменту кульминации.

Если сумма длин сторон изображенного на рис. 23.8.1 четырехугольника погрешностей превышает величину $4m_{\text{лп}}$, то можно предполагать наличие промахов в расчетах элементов какой-то линии положения; в этом случае необходимо тщательно проверить вычисления согласно правилам, изложенным в § 23.9.

Оценка точности обсервованного места для случая одновременного наблюдения высот выполняется по формуле

$$M_0 = \operatorname{cosec} \theta_p \sqrt{m_{13}^2 + m_{24}^2}, \quad (23.8.1)$$

где $m_{13} = 0,7 m_{\text{лпс}} \operatorname{cosec} \frac{\Delta A_{13}}{2}$;

$$m_{24} = 0,7 m_{\text{лпс}} \operatorname{cosec} \frac{\Delta A_{24}}{2};$$

$m_{\text{лпс}}$ — частная СКП высотной линии положения, определяемая согласно формуле 22.4.15 (см. также табл. 22.1.1);

ΔA_{13} и ΔA_{24} — разности азимутов светил;

θ_p — угол пересечения разностных линий положения.

Вычисление СКП разностных линий положения можно упростить, воспользовавшись табл. 23.8.1, которая позволяет по величине отношения l' СКП исходных *влп* (меньшей к большей) и разности азимутов светил ΔA получить коэффициент K_p ; после этого вычисляют СКП m_p определения *рвлп* по формуле $m_p = K_p m_{\text{лпс}}$ (здесь $m_{\text{лпс}}$ — меньшая из двух частных СКП).

При равноточных *влп* и оптимальном расположении светил по азимутам можно принимать

$$M_0 = m_{\text{лпс}}. \quad (23.8.2)$$

При обсервации по Солнцу СКП m'_{12} приведенной *рвлп* вычисляется с учетом погрешности счисления M_c в интервале времени между первыми и вторыми наблюдениями высот по формуле $m'_{12} = \sqrt{m_{12}^2 + 0,5M_c^2}$. СКП второй *рвлп*, вычисляемой с использованием данных табл. 23.8.1: $m_{24} = K_p m_{\text{лпс}}$.

СКП обсервованного места будет выражена формулой

$$M_0 = \operatorname{cosec} \Delta A^{\odot} \sqrt{(m'_{12})^2 + m_{24}^2}. \quad (23.8.3)$$

Пример 23.8.1. Вычислить СКП обсервации, полученной по высотам четырех светил (прокладка *влп* — на рис. 23.8.1), при $m_{\text{лпс}} = 0,6$ мили.

Решение. Из табл. 23.8.1, принимая *влп* равноточными, для $l' = 1$ при $\Delta A_{13} = 160^\circ$, $\Delta A_{24} = 166^\circ$ нашли:

$$m_{13} = 0,7 \times 0,6 = 0,42 \text{ мили},$$

$$m_{24} = 0,7 \times 0,6 = 0,42 \text{ мили}.$$

Согласно формуле (23.8.1) $M_0 = 0,42 \operatorname{cosec} 78^\circ \sqrt{2} = 0,6$ мили.

Согласно формуле (23.8.2) получаем тот же результат: $M_0 = 0,6$ мили.

Необходимо обратить внимание на то, что разностный метод исключает влияние повторяющихся погрешностей в *влп* на точность обсервации, поэтому при вычислениях СКП места принимается во внимание только частная СКП $m_{\text{лпс}}$ высотной линии положения, вычисляемая по формуле (22.4.15).

Таблица 23.8.1

Коэффициент K_p для оценки точности разностно-высотной линии положения

Отношение $l' = \frac{m_{\text{лпс}_2}}{m_{\text{лпс}_1}}$	Разность азимутов светил $\Delta A^\circ = A_2^\circ - A_1^\circ$								
	20	30	40	50	60	90	120	150	180
0,4	3,1	2,1	1,6	1,3	1,1	0,8	0,6	0,6	0,5
0,6	3,4	2,3	1,7	1,4	1,2	0,8	0,7	0,6	0,6
0,8	3,7	2,5	1,9	1,5	1,3	0,9	0,7	0,7	0,6
1,0	4,1	2,7	2,1	1,7	1,4	1,0	0,8	0,7	0,7

Таблица 23.8.2

Коэффициент μ для определения места в задаче трех высот обобщенным методом

Отношение $l = \frac{m_{\text{лпс}}}{m_0}$	Смежные разности азимутов между средним светилом и крайними светилami $\Delta A_{12} \approx \Delta A_{23}$				
	30	45	60	75	90
1	0	0,1	0,2	0,5	0,7
1/2	0,1	0,3	0,6	0,8	0,9
1/3	0,1	0,4	0,7	0,9	0,9

Таблица 23.8.3

Коэффициент K_M для оценки точности места в задаче трех высот (обобщенный метод)

Отношение $l' = \frac{m_{\text{лс}}}{m_0}$	Смежные разности азимутов между средним светилом и крайними светилami $\Delta A_{12} \approx \Delta A_{23}$				
	30	45	60	75	90
1	1,9	1,7	1,6	1,6	1,4
1/2	2,6	2,4	2,1	1,8	1,4
1/3	3,4	3,0	2,3	1,8	1,4

Задача трех высот. Три высотные линии положения, проложенные на карте или бланке Ш-8, образуют в большинстве случаев треугольник погрешностей; причиной его появления является совместное влияние повторяющихся и случайных погрешностей линий положения. На рис. 23.8.2 показан ряд треугольников погрешностей, образовавшихся под влиянием одной и той же повторяющейся погрешности Δ_n переносов *влл*. Как видно, размер треугольника сильно зависит от разности азимутов наблюдавшихся светил.

При $\Delta A_{12} = \Delta A_{23} = 10^\circ$ (вариант 1) треугольник будет очень мал, но он смещен от истинного места корабля M_1 к точке M_2 примерно на величину повторяющейся погрешности Δ_n . По направлению, перпендикулярному к линии азимута среднего светила \star_2 , место M_2 определяется совершенно ненадежно; отсутствие сведений о знаке погрешности

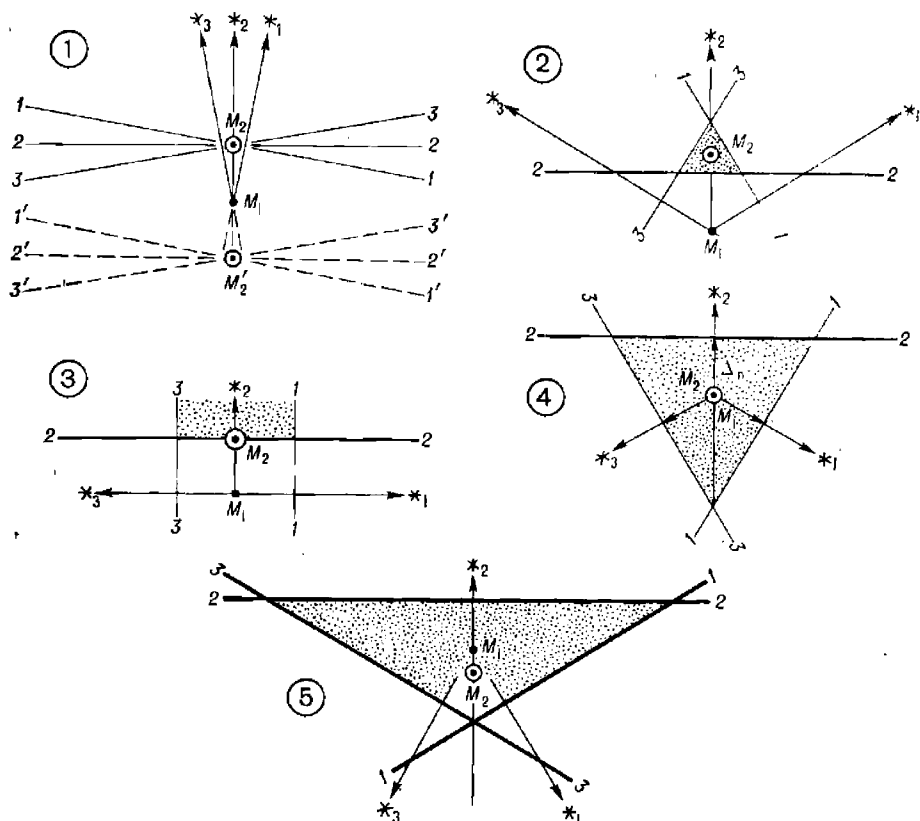


Рис. 23.8.2

Δ_n не позволяет судить о направлении выноса наблюдаемого места вдоль линии азимута среднего светила (в точку M_2 или в точку M_2).

По мере увеличения разности азимутов размеры треугольника погрешностей быстро возрастают; при наиболее выгодном расположении светил по азимутам ($\Delta A_{12} = \Delta A_{23} = 120^\circ$, вариант 4) площадь треугольника получается в 9 раз больше, чем при менее выгодном ($\Delta A_{12} = \Delta A_{23} = 60^\circ$, вариант 2), а длины сторон — в три раза больше. Рассмотренная картина может быть значительно искажена случайными погрешностями *влп* или промахом при получении одной из *влп*. Поэтому не рекомендуется принимать размеры треугольника в качестве критерия точности наблюдения или для оценки причин его появления, а также характера преобладавших погрешностей, без учета величин разности азимутов и возможных погрешностей *влп* (табл. 22.1.1).

При оптимальном выборе светил для наблюдений, когда разности смежных азимутов $\Delta A \approx 120^\circ$ (рис. 22.3.2), место P корабля в тре-

угольнике погрешностей отыскивается на пересечении разностно-высотных линий положения 12-12 и 23-23, как это показано на рис. 23.8.3.

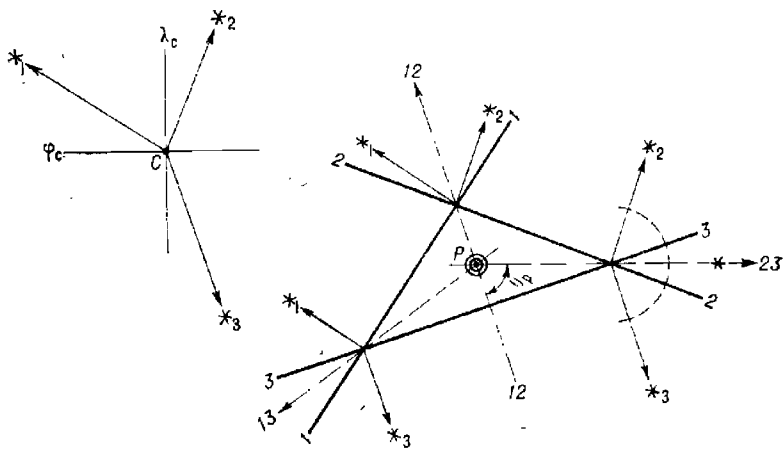


Рис. 23.8.3

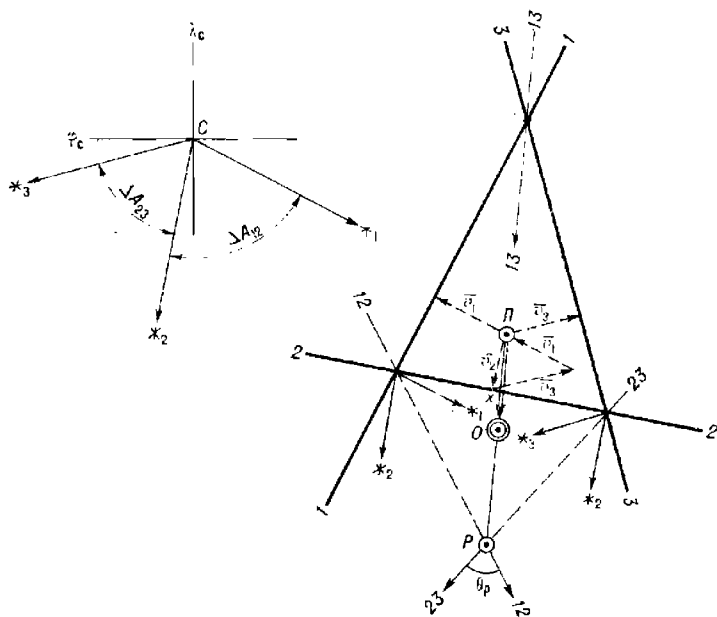


Рис. 23.8.4

Разностные линии положения являются биссектрисами углов, образованных линиями азимутов соответствующих светил в вершинах треугольников, и совпадают с направлениями средних азимутов.

В неоптимальном варианте, когда светила вынужденно наблюдают в пределах одной половины горизонта (рис. 23.8.4), обсервованное место находят следующим образом:

— построив разностно-высотные линии положения 12-12 и 23-23, получают точку P (она обязательно будет лежать на линии среднего азимута между крайними светилами, проведенной через вершину 13, что служит контролем правильности решения);

— наметив точку Π в центре тяжести треугольника, проверяют ее положение построением векторного полигона вероятных поправок v_i , представляющих собой кратчайшие расстояния от точки Π до линий положения (при правильном нанесении точки Π полигон поправок замкнется);

— из табл. 23.8.2 выбирают коэффициент μ по отношению l частной СКП высотной линии положения $m_{\text{лпс}}$ к среднему квадратическому значению повторяющихся погрешностей m_0 (их ориентировочные значения см. в табл. 22.1.1) и по величине смежных разностей азимутов $\Delta A_{12}^{\circ} \approx \Delta A_{23}^{\circ}$;

— умножив длину отрезка $P\Pi$ на коэффициент μ , получают расстояние x обсервованного места O от точки Π .

В первом приближении, при работе с навигационным секстаном в средних условиях, можно брать точку O посередине той стороны треугольника, которую пересекает *равн* 13-13, соответствующая направлению среднего азимута между крайними светилами.

Аналитическое решение задачи трех высот приведено в § 23.9.

СКП обсервованного места, полученного разностным методом, можно вычислить по формуле (23.8.1), подставляя в нее СКП разностно-высотных линий положения, пересекшихся под углом θ_p , наиболее близким к 90° (рис. 23.8.3). В оптимальных условиях при смежных разностях азимутов около 120° можно принимать

$$M_0 = 1,3m_{\text{лпс}}. \quad (23.8.4)$$

СКП обсервованного места, полученного в точке O обобщенным методом (рис. 23.8.4), определяют с помощью табл. 23.8.3: по отношению $l = m_{\text{лпс}}/m_0$ и по величине смежных ΔA выбирают коэффициент K_M и вычисляют $M_0 = K_M m_{\text{лпс}}$.

На рис. 23.8.5 показаны кривые, характеризующие зависимость коэффициента K_M от разности азимутов ΔA для разных методов определения места при $m_{\text{лпс}} = 1'$ и различных значениях отношения $l = m_{\text{лпс}}/m_0$. Эти графики позволяют оценить возможность применения того или иного метода определения места в задаче трех высот и быстро находить СКП обсервации умножением полученного по оси ординат коэффициента K_M на реальную величину $m_{\text{лпс}}$ в данной обсервации:

$$M_0 = K_M m_{\text{лпс}}. \quad (23.8.5)$$

В дневных условиях задача трех высот может быть решена по одновременным наблюдениям Солнца, Луны и Венеры; при этом разность азимутов $\Delta A_{\odot \ominus}$ и $\Delta A_{\ominus \oplus}$ должна быть не менее 30° , а высота Венеры не менее 15° . Такие условия могут складываться от двух до пяти месяцев в году и должны выясняться по звездному глобусу конкретно для места и времени наблюдений. В низких широтах возможна обсервация по одновременным или разновременным наблюдениям трех высот Солнца вблизи кульминации; вторые наблюдения производят непосредственно вблизи кульминации, первые и третьи наблюдения располагают симметрично моменту кульминации при наиболее выгодных

разностях азимутов ΔA_B (в данном случае ΔA_{12} и ΔA_{23}), оцениваемых по табл. 22.3.2 и рис. 23.8.5. Если наблюдения признали разновремен-

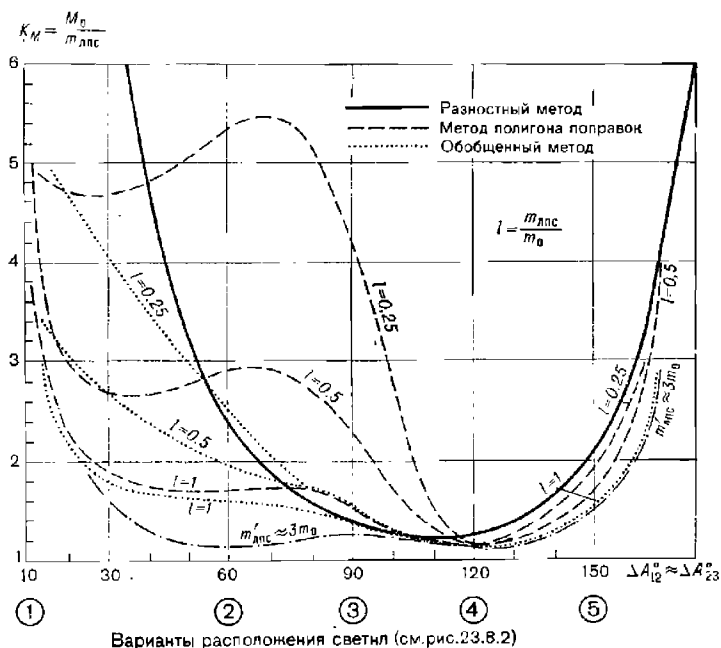


Рис. 23.8.5

ным (§ 23.3 и табл. 23.8.4), то для оценки точности наблюдения частная СКП $m'_{лпс}$ высотной $лп$ определяется по формуле

$$m'_{лпс} = \sqrt{m_{лпс}^2 + 0,5M_c^2},$$

где M_c — СКП счисления в интервале времени между первыми и вторыми, вторыми и третьими наблюдениями.

Интервалы времени ΔT между наблюдениями высот, в пределах которых при оценке точности линии положения можно пренебрегать погрешностями счисления, показаны в табл. 23.8.4.

Пример 23.8.2. Оценить точность наблюдения по высотам трех светил при $\Delta A_{12} = 80^\circ$, $\Delta A_{23} = 140^\circ$ и $m_{лпс} = 0,6$ мили; $\theta_p = 73^\circ$.

Решение. 1. По формуле (23.8.1) и табл. 23.8.1 имеем: $m_{12} = 1,1 \times 0,6 = 0,66$ мили; $m_{23} = 0,7 \times 0,6 = 0,42$ мили; $M_0 = 0,8$ мили.

2. По формуле (23.8.4) или рис. 23.8.5 получаем: $M_0 = 1,3 \times 0,6 = 0,8$ мили; или, принимая в среднем $\Delta A \approx 110^\circ$, по рисунку $K_M = 1,3$ и по формуле (23.8.5) также $M_0 = 0,8$ мили.

Пример 23.8.3. Оценить точность наблюдения по высотам трех светил при $\Delta A_{12} = 74^\circ$, $\Delta A_{23} = 64^\circ$ и $m_{лпс} = 0,6$ мили; $i = 0,5$.

Решение. По табл. 23.8.3 для $\Delta A \approx 70^\circ$ или по рис. 23.8.5 коэффициент $K_M = 1,9$ и $M_0 = 1,9 \times 0,6 = 1,1$ мили.

Пример 23.8.4. Оценить точность наблюдения, полученной по трем разновременно наблюдаемым высотам Солнца на момент T_2 . Интервал времени между первыми и вторыми, вторыми и третьими измерениями высот $\Delta T = 1,5^h$. Разности азимутов $\Delta A_{12} = \Delta A_{23} = 40^\circ$; $m_0 = 0,3'$; $m_{лпс} = 0,5$ мили; $K_c = 0,8$.

Решение.

СКП счисления $M_c = 0,7 K_c \Delta T = 0,84$ мили.

СКП приведенной *влп*

$$m'_{\text{лпс}} = \sqrt{m_{\text{лпс}}^2 + 0,5M_c^2} = 0,8 \text{ мили.}$$

Поскольку $m'_{\text{лпс}} \approx 3m_0$, то влиянием повторяющихся погрешностей m_0 можно пренебречь. Принимая далее в среднем величину СКП всех трех *влп* $m_{\text{лпс}} = 0,7$ мили, приближенно оцениваем СКП счислимо-обсервованного места (рис. 23.8.5): $M_{c_0} = K_{M_{\text{лпс}}} m_{\text{лпс}} \approx 1,3 \times 0,7 = 0,9$ мили.

Таблица 23.8.4

Интервалы времени приведения высот к одному месту наблюдений, в пределах которых погрешности счисления не оказывают существенного влияния на СКП линии положения, ч

Коэффициент точности счисления K_c	Полная СКП $m_{\text{лп}}$ высотной линии положения, мили					
	0,4	0,6	0,8	1,0	1,6	2,6
0,6	0,7	1,1	1,4	1,8	2,8	4,6
0,8	0,5	0,8	1,1	1,3	2,1	3,5
1,0	0,4	0,6	0,8	1,1	1,7	2,8
1,5	0,2	0,4	0,6	0,7	1,1	1,8

Задача двух высот. Обсервация по одновременным наблюдениям высот двух светил чаще всего применяется днем: совместно наблюдают Луну (при $h > 10^\circ$) и Солнце, Луну и Венеру (при $h > 15^\circ$), Солнце и Венеру. Наиболее выгодная разность азимутов приведена в табл. 22.3.1. Одновременность наблюдений обуславливается интервалами времени, показанными в табл. 22.3.3 и 23.8.4; во внимание принимается меньший ΔT из двух найденных по этим таблицам. При наблюдениях звезд и планет задачу двух высот решают только при невозможности наблюдать три-четыре светила. Аналитическое решение задачи двух высот приведено в § 23.5. Прокладка двух высотных линий положения показана на рис. 23.6.1; там же даны схемы вычислений обсервованных координат и момента обсервации по судовому времени.

СКП M_0 обсервованного места вычисляется с учетом полной СКП $m_{\text{лп}}$ линий положения и направленного действия повторяющихся погрешностей *влп*:

$$M_0 = \operatorname{cosec} \Delta A \sqrt{2(m_{\text{лп}}^2 - m_0^2 \cos \Delta A)}. \quad (23.8.6)$$

Закономерность изменения M_0 при изменении разности азимутов ΔA светил для случая, когда $m_{\text{лпс}} = 0,5m_0$, показана на рис. 23.8.6; при $m_{\text{лпс}} = 0,7'$ зона наиболее выгодных разностей азимутов лежит в пределах $\Delta A_n = 50^\circ - 80^\circ$ и крайне невыгодны наблюдения при $\Delta A > 120^\circ$. Оценка точности места погрешностью M_0 не позволяет видеть направленный характер действия повторяющихся погрешностей *влп*. При решении задачи двух высот обсервованные места имеют выраженное эллиптическое распределение, что необходимо учитывать в интересах навигационной безопасности. Для этого, вычислив полуоси a_3 и b_3 эллипса погрешностей по формулам

$$a_3 = 0,7m_{\text{лпс}} \operatorname{cosec} \frac{\theta}{2}; \quad b_3 = 0,7m_{\text{лпс}} \sec \frac{\theta}{2}, \quad (23.8.7)$$

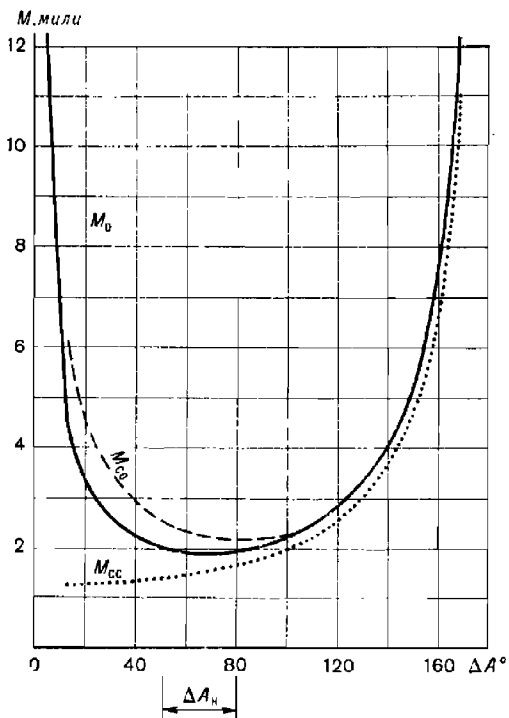


Рис. 23.8.6

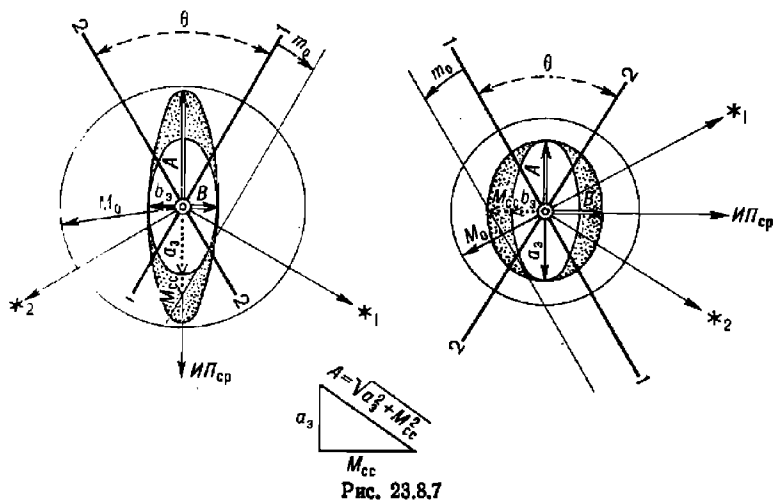


Рис. 23.8.7

строят эллипс при обсервованном месте (рис. 23.8.7). Удобно находить величины a_s и b_s с помощью приложения 5 к МТ—75. Полуось a_s всегда располагается внутри острого угла между линиями положения.

Для учета направленного действия повторяющихся погрешностей *впл* любую из *впл* смещают параллельно самой себе на ожидаемую величину m_0 (табл. 22.1.1). Эта перемещенная линия отсечет на линии среднего азимута $ИП_{ср}$ величину векториальной погрешности M_{cc} обсервации, вызываемой повторяющейся погрешностью *впл*. Далее остается найти полуоси A и B результирующего эллипса погрешностей и построить его при обсервованном месте (большой эллипс, показанный на рис. 23.8.7 точечной штриховкой). Для нахождения полуосей A и B используются формулы

$$\left. \begin{array}{l} \text{а) при } \Delta A > 90^\circ: \\ A = \sqrt{a_s^2 + M_{cc}^2}, \quad \theta = 180^\circ - \Delta A; \\ B = b_s; \end{array} \right\} \quad \begin{array}{l} \text{б) при } \Delta A < 90^\circ: \\ A = a_s, \quad \theta = \Delta A; \\ B = \sqrt{b_s^2 + M_{cc}^2}. \end{array} \quad (23.8.8)$$

Квадратическое суммирование под радикалами можно выполнять графическим приемом, показанным на рисунке. Вероятность нахождения корабля в эллипсе с полуосями $2,5A$ и $2,5B$ составляет 0,96.

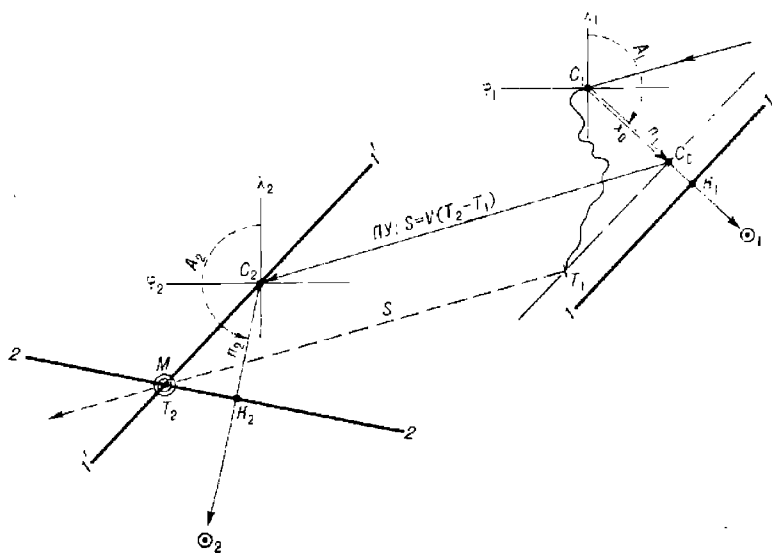


Рис. 23.8.8

Задача двух разновременных высот. Способ определения места по разновременным наблюдаемым высотам одного светила или по разновременным наблюдениям высот двух светил (при их неблагоприятной видимости в разрывах облаков) чаще всего применяется в дневное время. Типичными для этого способа определения места являются разновременные наблюдения Солнца. Выгодное изменение азимута Солнца определяется по табл. 22.3.2, как об этом сказано в § 22.3. Аналитическое решение задачи рассмотрено в § 23.9. Решение по методу линий

положения может быть выполнено на карте или на стандартном бланке (например, на бланке Ш-8) в различных вариантах.

Решение на карте с уточнением первого счислимого места (рис. 23.8.8). Определив на момент T_1 для счислимого места C_1 элементы n_1, A_1 высотной линии положения, используя формулы (23.6.3) или (23.6.4), уточняют первое счислимое место — точку C_0 . Дальнейшее счисление ведут от уточненной точки C_0 . Счислимое место C_2 на момент вторых наблюдений находят максимально точным счислением от точки C_0 и вычисляют для него элементы второй линии положения n_2, A_2 . Счислимо-обсервованное место находится на пересечении линии положения 2-2, полученной на момент T_2 , и первой линии положения $I'-I'$, приведенной к месту вторых наблюдений; для приведения в данном способе через точку C_2 проводится линия $I'-I'$, параллельная линии положения $I-I$. Пунктиром на рисунке показано фактическое движение корабля от момента T_1 до момента T_2 по направлению пути $ПУ$ на расстояние S .

Решение на карте при наличии навигационной обсервации в интервале времени между наблюдениями высот (рис. 23.8.9). Для вычисления элементов второй линии положения принимают точку C_2 , найденную максимально точным счислением (без учета навигационной обсервации — $M_{\text{РНС}}$) от первого счислимого места C_1 . Для приведения первой линии положения $I-I$ к месту

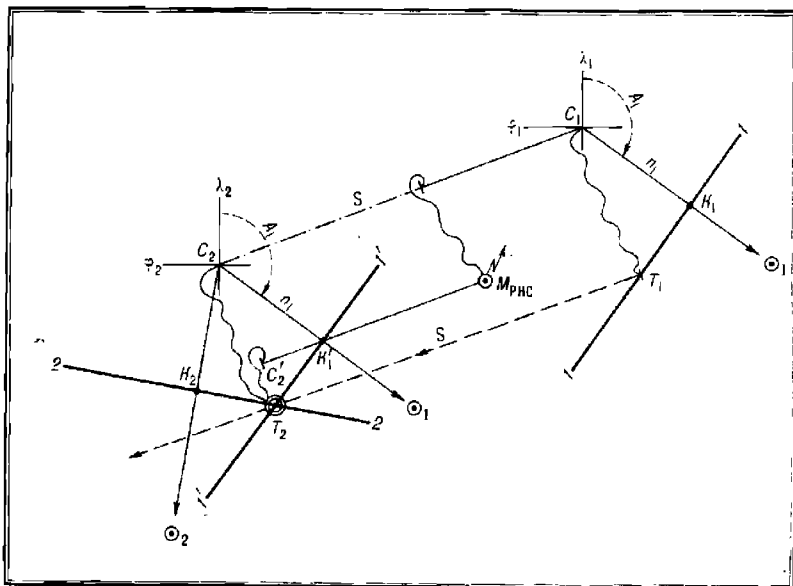


Рис. 23.8.9

вторых наблюдений в данном случае достаточно при точке C_2 по элементам n_1, A_1 первой линии положения построить линию положения $I'-I'$, которая на пересечении с $влп$ 2-2 определит обсервованное место на момент T_2 . Если потребуется узнать место корабля на момент T_1 , то достаточно будет проложить в обратном направлении расстояние S , пройденное кораблем по линии пути в интервале времени $T_2 - T_1$.

Решение на бланке Ш-8. Получив для точки C_1 (рис. 23.8.10) элементы первой линии положения n_1 , A_1 , максимально точным счислением находят поправки $\Delta\varphi_c$ и $\Delta\lambda_c = \Delta w_c \sec \varphi_c$, к первым счислимым координатам φ_1 , λ_1 и вычисляют координаты счислимого места C_2 на момент вторых наблюдений T_2 : $\varphi_2 = \varphi_1 \pm \Delta\varphi_c$ и $\lambda_2 = \lambda_1 \pm \Delta\lambda_c$.

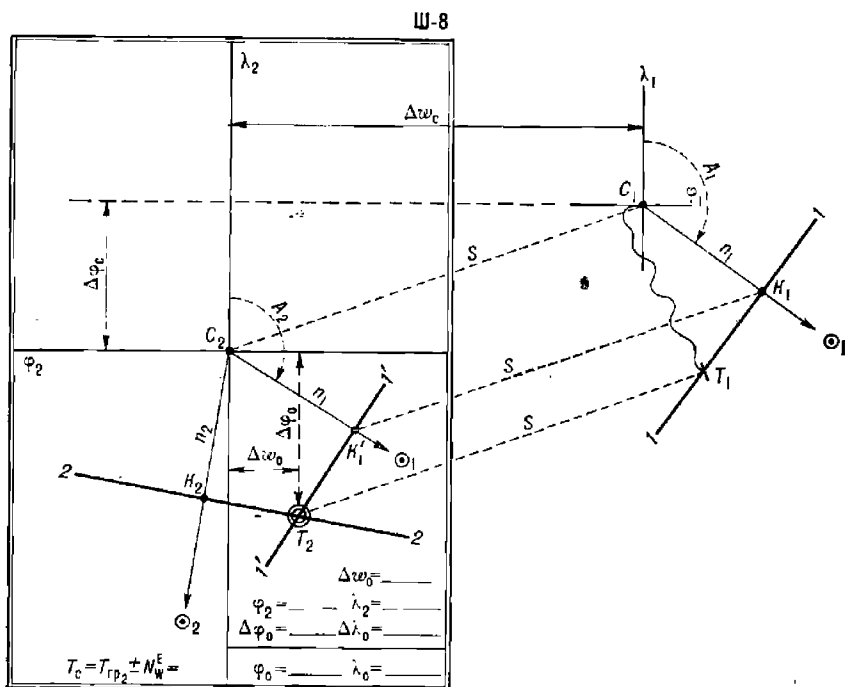


Рис. 23.8.10

Эта задача счисления может быть решена аналитически с помощью ПМК (гл. 12), на автопрокладчике, с помощью МТ—75 или непосредственно прокладкой на карте крупного масштаба.

Для точки C_2 вычисляют элементы второй линии положения n_2 , A_2 . После этого центр планшета (на оборотной стороне бланка Ш-8) принимают за точку C_2 и при ней строят обе линии положения. Как и в предыдущем варианте, приведение линии положения $l-l$ к месту вторых наблюдений в положение $l'-l'$ здесь достигается точным перемещением расчетной точки C_1 первой линии положения в точку C_2 по направлению пути $ПУ$ и на величину пройденного кораблем расстояния S в интервале времени $T_2 - T_1$. Координаты обсервованного места на момент T_2 находят далее тем же общим порядком, что и в задаче двух высот; судовое время обсервации равно $T_c = T_{гр1} \pm N_{св}^E$ (§ 23.6).

Важное предупреждение. При любом варианте решения задачи двух одновременных высот устраняется только погрешность первого счислимого места C_1 . Во всех случаях перемещение первой линии положения к месту вторых наблюдений непосредственным ее переносом по направлению пути $ПУ$ на величину пройденного между наблюдениями

расстояния S или приведением первой расчетной точки C_1 к месту C_2 должно выполняться со всей возможной тщательностью.

Решение на карте по методу перемещенных счисляемых мест при работе с таблицами ВАС—58. Если элементы первой и второй *влп* вычислялись по методу перемещенных мест (табл. 23.6.3), то первая линия положения приводится к месту вторых наблюдений графическим перемещением ее на карте по направлению путевого угла на величину пройденного расстояния в интервале времени между наблюдениями высот, как это показано на рис. 23.8.11. При необходимости учитываются поправки линий положения x_1 и x_2 за кривизну кругов равных высот.

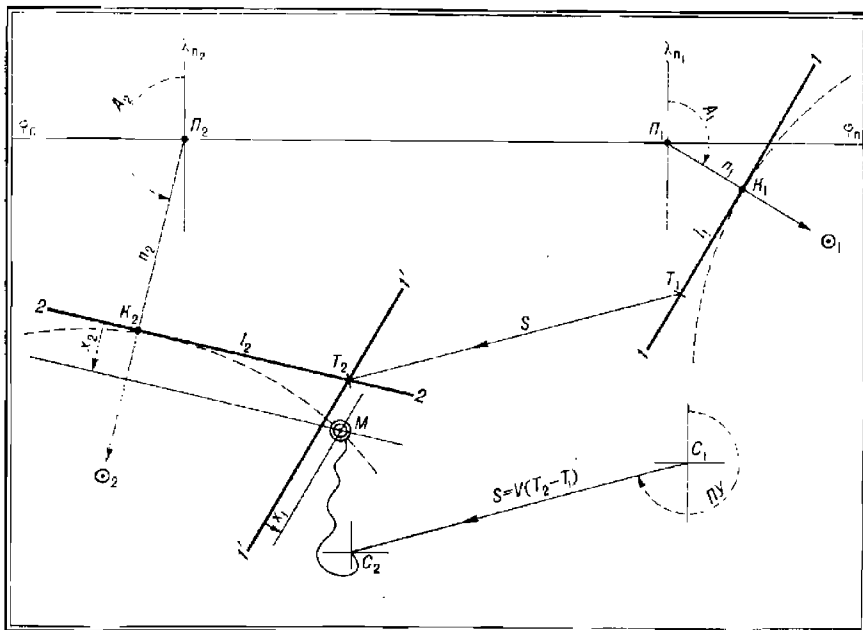


Рис. 23.8.11

Порядок решения:

— от перемещенных мест P_1 и P_2 построить *влп* 1-1 и 2-2 по их элементам;

— вставить между линиями положения пройденное расстояние S за интервал времени между моментами наблюдений высот; точка T_2 является счислимо-обсервованным местом корабля в момент вторых наблюдений, а точка T_1 — в момент первых наблюдений, если кривизной кругов равных высот можно пренебречь;

— при наблюдениях высот более 60° найти по карте расстояния l_1 и l_2 от определяющих точек линий положения до точек T_1 и T_2 ; входя в табл. 23.8.5 по l и высоте светила h , найти поправку x и сместить соответствующую линию положения к светилу на величину x . Уточненное место получится в точке M .

При использовании томов III и IV ВАС—58 может оказаться полезным введение поправки за схождение меридианов γ в величины A_1 и A_2 . Значение этой поправки выбирается из таблиц, помещенных на

вкладке в ВАС—58, или с помощью табл. 23-а МТ—75 (здесь $\gamma = 2\psi$); при полукруговом счете азимута знак γ положителен при $(+n)$ и отрицателен при $(-n)$.

Таблица 23.8.5

Поправка x за кривизну круга равных высот по высоте светила h° и кратчайшему расстоянию l от линии азимута до наблюдаемого места, мили

h°	Расстояние l , мили							
	5	10	15	20	25	30	35	40
30,0°	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1
40,0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,2	0,2
50,0	0	0	0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2
60,0	0	0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4
70,0	0	0	0,1	0,2	0,2	0,4	0,5	0,6
75,0	0	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,7	0,9
80,0	0	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	1,0	1,3
82,0	0	0,1	0,2	0,4	0,6	0,9	1,3	1,6
84,0	0	0,1	0,3	0,6	0,9	1,2	1,7	2,2
85,0	0	0,2	0,4	0,7	1,0	1,5	2,0	2,6
85,5	0	0,2	0,4	0,7	1,2	1,7	2,3	3,0
86,0	0	0,2	0,5	0,8	1,3	1,9	2,6	3,3
86,5	0,1	0,2	0,5	1,0	1,5	2,1	2,9	3,8
87,0	0,1	0,3	0,6	1,1	1,7	2,5	3,4	4,4
87,5	0,1	0,3	0,8	1,3	2,1	3,0	4,1	5,3
88,0	0,1	0,4	0,9	1,7	2,6	3,7	5,1	6,6

Примечание. При построении высотную линию положения переместить на величину x по направлению к светилу.

Точность решения задачи двух одновременных высот оценивается СКП M_{co} счислимо-наблюдаемого места, вычисляемой по формуле

$$M_{co} = \operatorname{cosec} \Delta A \sqrt{m_{\text{лп}}^2 + m_{\text{лп}_2}^2 + 0,5M_c^2}, \quad (23.8.9)$$

где при интервале времени $T_2 - T_1$ менее двух часов принимается $M_c = 0,7K_c (T_2 - T_1)^4$, а в прочих случаях $M_c = K_c \sqrt{T_2 - T_1}$. Полная СКП $m_{\text{лп}}$ линий положения вычисляется по формуле (22.1.1); при работе по методу перемещенных мест принимается $m_{\text{сл}} = 0,35'$. Зависимость M_{co} от разности азимутов ΔA светила при первых и вторых наблюдениях показана на рис. 23.8.6 для типичных в океанских условиях плавания значений: $K_c = 1$; $m_{\text{лп}} = 1$ мили и $r_{xy} = 0,3$ (из табл. 22.1.1).

При необходимости оценить направленное действие погрешностей наблюдения рекомендуется по величинам $m'_{\text{лп}_1} = \sqrt{m_{\text{лп}_1}^2 + 0,5M_c^2}$ и $m_{\text{лп}_2}$ построить „полосы положения“, затем в образованный пересечением этих полос параллелограмм от руки вписать эллипс погрешностей. Проще этот эллипс можно построить с помощью приложения 5 к МТ—75. Схема такой оценки точности счислимо-наблюдаемого места показана на рис. 23.8.12.

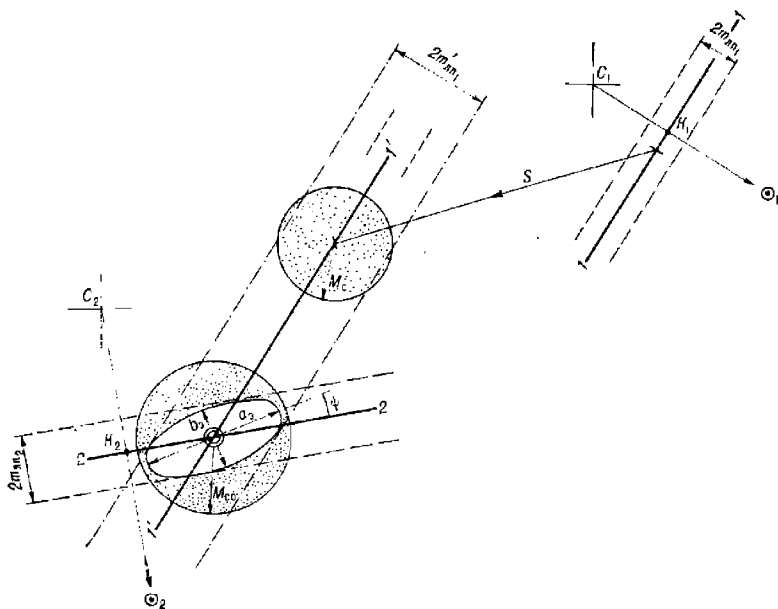


Рис. 23.8.12

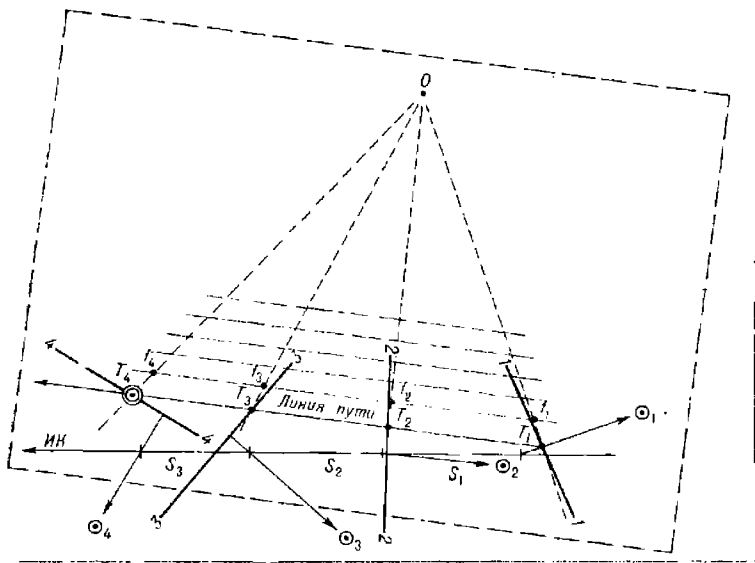


Рис. 23.8.13

Определение места корабля и элементов постоянного течения по серии разновременных высотных линий положения (метод М. М. Лескова). При длительном нахождении в районе с постоянным течением измеряют последовательно не менее четырех *влл* (рис. 23.8.13) в моменты T_1, T_2, T_3, T_4 . Если на корабль воздействовало постоянное течение, то для отыскания счислимо-обсервованного места корабля достаточно вметить между линиями положения отрезки его пути, пропорциональные интервалам времени между моментами наблюдений высот или расстояниям, измеренным лагом за эти же интервалы времени. Для этого вначале на карте прокладывают все линии положения; затем на кальке (построения, выполняемые на кальке, показаны на рисунке пунктиром) проводят произвольную прямую f_1f_4 и размечают на ней отрезки f_1f_2, f_2f_3, f_3f_4 , равные пройденным расстояниям в интервалах между измерениями высот. Затем намечают произвольную точку O и из нее проводят прямые к намеченным точкам f_i ; после этого строят сетку прямых, параллельных f_1f_4 .

Накладывают кальку на карту и добиваются наилучшего вметения отрезков одной из параллельных прямых между линиями положения. Эта прямая будет представлять собой линию действительного пути корабля, а точки ее пересечения с линиями положения — места корабля соответственно в моменты T_1, T_2, T_3 и T_4 . Путевая скорость выводится по фактическому плаванию между моментами измерения высот, а затем построением векторного треугольника обычным путем определяют направление K_T и скорость v_T течения.

Оценка навигационной безопасности плавания. Необходимо учитывать, что априорная оценка точности обсервации по вероятностно-статистической информации всегда сопровождается остаточным риском, степень которого зависит от достоверности принятых оценок точности линий положения в реальных условиях плавания. Поэтому в сомнительных случаях необходимо считать себя ближе к опасности, исходя из выполненной оценки точности обсервации. При обсервациях по двум линиям положения особенно необходим контроль наблюдений и вычислений на промахи; правила контроля на промахи изложены в § 23.2 и 23.6, правила обнаружения ошибок в обработке наблюдений — в § 23.9 (см. также § 28.3 и п. V приложения 3).

§ 23.9. ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ВЫПОЛНЕНИЯ АСТРОНАВИГАЦИОННОЙ ОБСЕРВАЦИИ

Точность и надежность астронавигационной обсервации повышается путем:

- выполнения ее несколькими операторами в составе астронавигационных расчетов при условии максимально возможной независимости наблюдений и вычислений каждого оператора от работы других операторов расчета;

- применения вычислительных машин для обработки наблюдений;

- тщательного планирования наблюдений высот трех-четырёх светил; не менее тщательной подготовки к обсервации астронавигационных средств и лично штурмана;

- выполнения максимально возможного объема вычислений до начала наблюдений (метод предвычислений) и их тщательной проверки.

А. Работа астронавигационного расчета корабля

Астронавигационный расчет назначается командиром корабля обычно в составе двух пар офицеров-операторов. Штурман корабля

является командиром астронавигационного расчета и отвечает за его подготовку; он же ставит задачу операторам на выполнение обсервации и обобщает результаты работы операторов. Организация и содержание работы расчета показаны ниже в типовых макетах, которые могут уточняться в зависимости от имеющихся на корабле астронавигационных средств и наличия подготовленных операторов, а также с учетом решаемых кораблем задач и конкретных условий плавания.

Типовой макет задания на обсервацию и организацию работы расчета по методу предвычислений при одновременных наблюдениях светил для расчета задач двух, трех, четырех высот. Задание должно содержать (в скобках даны ссылки на параграфы, в которых изложены содержание выполняемых операций и правила их выполнения):

1. Назначенное судовое время определения места $T_c = \dots$ (§ 22.1).
2. Координаты расчетной точки для предвычислений высот и азимутов, назначенных для наблюдений светил $\varphi_p = \dots$, $\lambda_p = \dots$.
3. Назначенный способ определения места (§ 22.1, 22.3, 23.8).
4. Начало наблюдений в момент времени $T_c = \dots$. Моменты предвычислений элементов l_i для каждого оператора $T_n = \dots$.
5. Целеуказание и очередность выполнения операторами наблюдений (§ 22.3).
6. Окончание вычислений до момента времени $T_c = \dots$. Сверка результатов предвычислений.
7. Контрольная сверка всемирного времени и подготовка к наблюдениям (§ 22.5). Выполнение наблюдений (§ 23.2).
8. Указания по методам оценки точности линий положения и методу отыскания обсервованного места (§ 22.1 и 23.8).
9. Указания по методу обработки наблюдений (§ 23.5, 23.6, 23.7, 23.9).
10. Время доклада операторов штурману о результатах обсервации.
11. Доклад вероятнейшего места командиру корабля. Разбор результатов работы астронавигационного расчета.

Назначенное время выполнения и способ обсервации, целеуказание на светила и очередность их наблюдений, координаты расчетной точки предвычислений φ_p и λ_p , момент предвычислений для каждого оператора T_n устанавливает штурман и сообщает операторам при постановке задания.

Каждый оператор расчета выполняет следующее:

1. Вычисляет всемирное время наблюдений $T_{gp} = T_n \mp N_{cW}^E$.
2. Уточняет моменты наблюдений каждого светила, располагая эти моменты около назначенного T_{gp} с интервалом 3—5 мин (в зависимости от натренированности в измерении высот светил).
3. Изучает по звездному глобусу астронавигационную обстановку.
4. Вычисляет поправку u своих рабочих часов и показания T_i этих часов в намеченные моменты наблюдений: $T_i = T_{gp_i} - u$.
5. Вычисляет для расчетной точки высоты и азимуты светил для моментов T_{gp_i} по аргументам: φ_p , $t_i = t_{gp_i} \pm \lambda_p$, δ_i .
6. Выбирает по высоте e глаза при наблюдениях и счислимой высоте h_c необходимые поправки для исправления высот.
7. По скорости корабля и курсовым углам на светила, широте φ_p и счислимым азимутам светил вычисляет скорости изменения их высот: $\omega_h = \omega_{hz} + \omega_{ht}$ (МТ—75, табл. 16 и 17).
8. Сверяет результаты выполненных предвычислений с результатами, полученными оператором другой пары, работающим синхронно.

При обнаружении расхождений докладывает штурману; обнаруженные ошибки устраняются.

В ходе наблюдений стремятся располагать серии измеряемых высот так, чтобы они перекрывали намеченные моменты наблюдений T_i (§ 22.4 и 23.2). После наблюдений определяют графическим методом вероятнейшие отсчеты секстана для каждого светила на предвычисленные моменты T_i и, используя предвычисленные величины, находят элементы высотных линий положения; далее по способу, указанному штурманом, находят координаты обсервованного места и оценивают его СКП.

В тех случаях, когда все высоты светила в серии измерялись полностью раньше или полностью позже предвычисленного момента T_i , на карте или бланке выполняется графическое приведение линий положения к одному моменту. Для этого по разности $\Delta T = T - T_i$ между средним арифметическим моментом T серии измерений и предвычисленным моментом T_i из основных интерполяционных таблиц МАЕ выбирается изменение часового угла Δt ; на эту величину в долготном масштабе $\Delta \lambda = \Delta t$ переносится определяющая точка K линии положения — к западу, если измеряли позже, или к востоку, если измеряли раньше момента T_i (рис. 23.9.1). Через перенесенные (приведенные) определяющие точки проводят линии положения, перпендикулярные азимутам соответствующих светил. При $\Delta T < 5$ мин приведение высот к моменту предвычислений можно выполнять аналитически, используя табл. 17 МТ—75 или ПМК (формула $\Delta h' = \Delta t' \cos \varphi \sin A$).

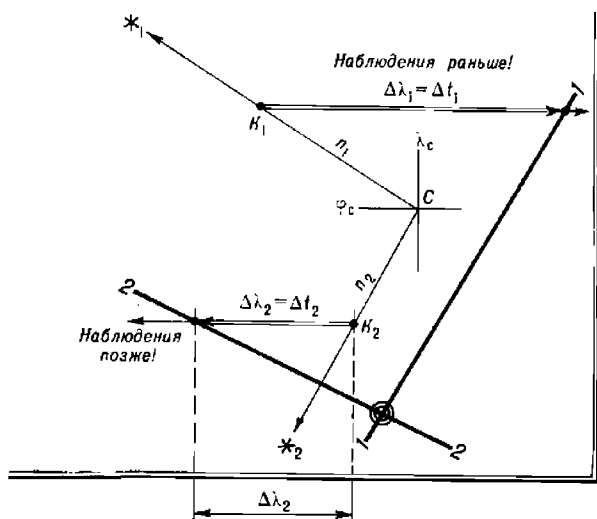


Рис. 23.9.1

Макет задания операторам на проведение обсервации по методу предвычислений при одновременных наблюдениях светила (задача двух одновременных высот). Задание должно содержать:

1. Назначенное судовое время определения места $T_{c_1} = \dots$ (§ 22.1, 22.3).

2. Указания для проведения первых наблюдений:

— первую линию положения получить на момент судового времени $T_{c_1} = \dots$;

— для предвычислений принять расчетную точку C_1 ($\varphi_1 = \dots$, $\lambda_1 = \dots$);

— установить очередность наблюдений и момент T_n предвычислений для каждого оператора расчета, а также момент T_c начала наблюдений;

— выполнить предвычисления элементов первой линии положения и сверку результатов предвычислений до $T_c = \dots$;

— произвести контрольную сверку всемирного времени в момент судового времени $T_c = \dots$;

— выполнить наблюдения, вычислить элементы первой линии положения и доложить их штурману до $T_c = \dots$;

— получить указания по оценке точности первой линии положения ичисления.

3. Указания для проведения вторых наблюдений:

— принять наиболее выгодную разность азимутов ΔA_v светила и момент начала вторых наблюдений $T_c = \dots$;

— вторую линию положения получить на момент $T_c = \dots$;

— для предвычисления второй линии положения принять расчетную точку C_2 ($\varphi_2 = \dots$, $\lambda_2 = \dots$). При работе без предвычислений каждый оператор находит координаты второй расчетной точки C_2 самостоятельно, исходя из принятых им координат первой расчетной точки C_1 , выполняя эти расчеты с максимально возможной точностью;

— установить очередность наблюдений и моменты предвычислений для каждого оператора;

— выполнить предвычисления для второй линии положения и сверку результатов до $T_c = \dots$;

— сделать контрольную сверку всемирного времени в $T_c = \dots$;

— выполнить вторые наблюдения, вычисление элементов второй линии положения и доложить их штурману для контроля до $T_c = \dots$;

— дать указания по оценке точности второй линии положения и обсервации в целом;

— доложить командиру расчета результаты обсервации.

4. Обработка результатов работы расчета и доклад командиру корабля вероятнейшего астронавигационного места.

Обработка результатов обсерваций, выполненных операторами астрономического расчета. Она может производиться двумя вариантами.

Вариант 1. Операторы сообщают штурману координаты полученных ими обсервованных мест, приведенных к общему для всех моменту судового времени, а также средние квадратические погрешности M_0 и веса этих обсерваций $P = 1 : M_0^2$.

Штурман наносит все обсервованные места на планшет блайка Ш-8 (рис. 23.9.2), затем анализирует их попарно на допустимость объединения по соблюдению условия:

$$\Delta \leq 2,1 \sqrt{M_{0_i}^2 + M_{0_{i+1}}^2}, \quad (23.9.1)$$

где Δ — допустимое расстояние между обсервованными местами; M_0 и $M_{0_{i+1}}$ — СКП анализируемых обсервованных мест.

Если обнаружится обсервация, не подчиняющаяся условию формулы (23.9.1), то она исключается из дальнейшей обработки как имеющая промах, причины которого должны быть выяснены со всей тщательностью и устранены в последующей работе.

Обсервованные места объединяются центрографическим методом с учетом весов обсерваций, в результате чего выводится вероятнейшее

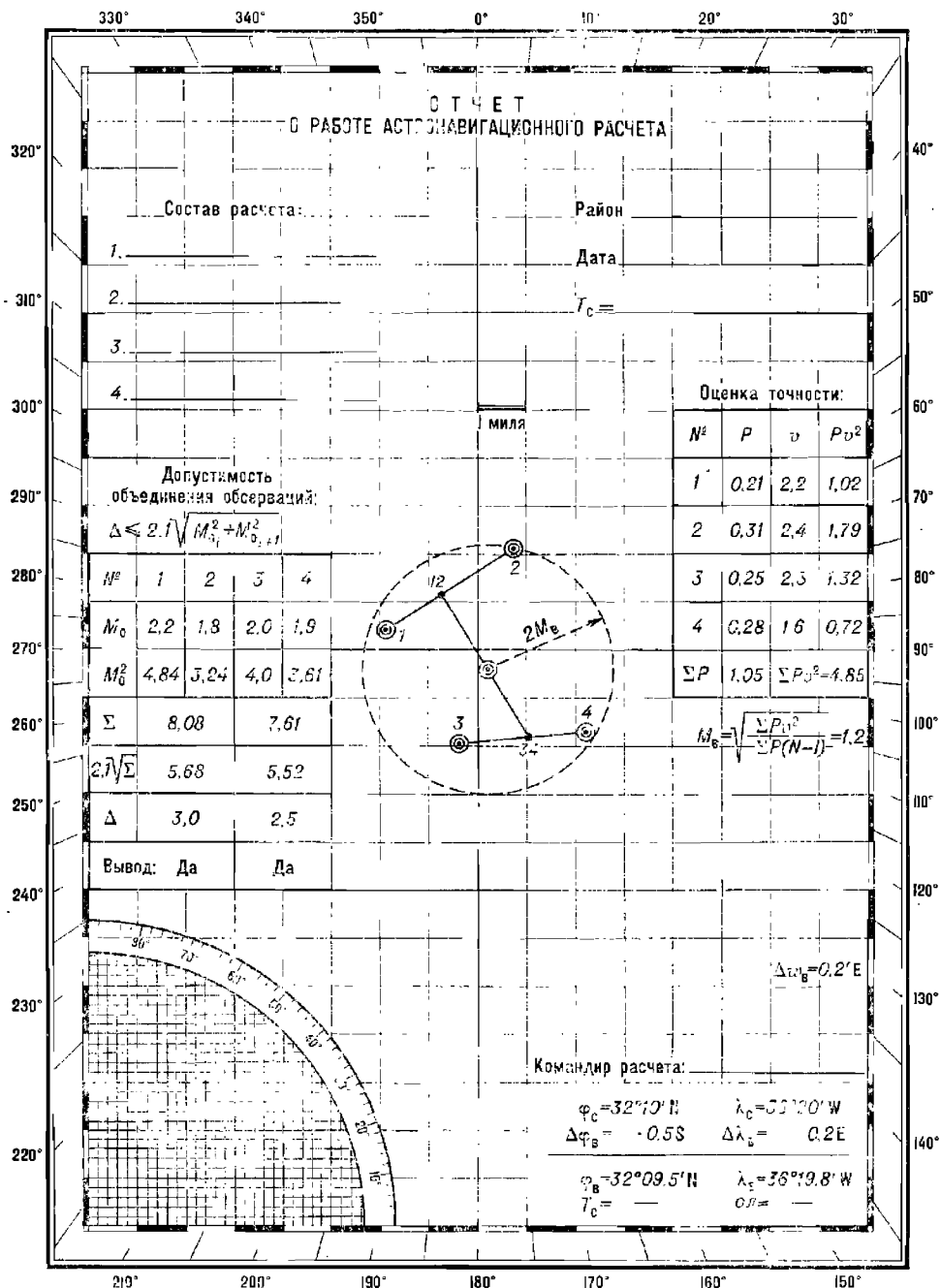


Рис. 23.9.2

место корабля по результатам работы расчета. Оценивается СКП M_B вероятнейшего места по формуле

$$M_B = \sqrt{\frac{\sum P_i v_i^2}{(N-1) \sum P_i}}, \quad (23.9.2)$$

где $P_i = 1 : M_{oi}^2$ — веса обсерваций операторов;

v_i — отклонения обсерваций от вероятнейшего места;

N — количество объединенных обсерваций.

СКП M_B вероятнейшего места можно получить также с помощью табл. 23.9.1 (в милях), последовательно входя в нее с СКП M_1 и M_2 двух объединяемых точек: например, 1 и 2 (рис. 23.9.2), затем 3 и 4, затем 12 и 34.

В качестве нормативных оценок при подготовке астронавигационного расчета можно принимать:

отлично	$v \leq 0,6 M_B$;
хорошо	$0,6 M_B < v \leq M_B$;
удовлетворительно	$M_B < v < 1,5 M_B$.

Таблица 23.9.1

M_2 , миля	M_1 , миля							
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
0,5	0,36	0,45	0,48	0,49	0,49	0,49	0,50	0,50
1,0	0,45	0,71	0,84	0,90	0,93	0,95	0,98	0,98
1,5	0,48	0,84	1,06	1,21	1,30	1,35	1,42	1,44
2,0	0,49	0,90	1,21	1,41	1,56	1,67	1,80	1,86
2,5	0,49	0,93	1,30	1,56	1,77	1,93	2,13	2,24
3,0	0,49	0,95	1,35	1,67	1,93	2,14	2,43	2,60
4,0	0,50	0,98	1,42	1,80	2,13	2,43	2,90	3,17
5,0	0,50	0,98	1,44	1,86	2,24	2,60	3,17	3,54

Примечание. Таблица рассчитана по формуле $M_B = (M_1 \times M_2) / \sqrt{M_1^2 + M_2^2}$.

Вариант 2. Операторы астронавигационного расчета сообщают штурману элементы полученных ими высотных линий положения, приведенные к одному общему для всех месту наблюдений, и веса этих линий положения $p = 1 : m_{ли}^2$. Высотные линии положения, полученные по наблюдениям одного и того же светила, объединяются: для каждого светила вычисляется средневзвешенный перенос n_B и средний арифметический численный азимут A_B соответственно по формулам:

$$n_B = \frac{\sum p_i n_i}{\sum p_i}, \quad A_B = \frac{\sum A_{ci}}{N}, \quad (23.9.3)$$

где p_i — веса линий положения (переносов n_i),

N — число объединенных *для* данного светила.

Прокладка средневзвешенных линий положения дает возможность сразу же найти вероятнейшее место корабля; в случае решения задач трех высот и четырех высот фигура погрешности, образованная средневзвешенными линиями положения, исключается обычными методами

(§ 23.8 и гл. 28). Точность вероятнейшего места корабля в этом варианте оценивается обычным порядком, но с учетом СКП m_{n_b} средне-взвешенных линий положения:

$$m_{n_b} = 1/\sqrt{\sum p_i}, \quad (23.9.4)$$

где p_i — веса *влп*, объединенных при расчете данного средневзвешенного переноса.

После расчета средневзвешенного переноса n_b из дальнейшей обработки исключаются промахи-переносы n_i , отвечающие условию

$$n_i - n_b > 3m_{n_b}. \quad (23.9.5)$$

Причины промаха должны быть выявлены и устранены. Второй вариант может применяться только при высоком уровне подготовленности астронавигационного расчета.

Б. Методы применения микрокалькуляторов при астронавигационных наблюдениях *

Основным эффектом от применения микрокалькуляторов при обработке астронавигационных наблюдений является не столько быстрота решения задачи, сколько повышение его точности и надежности. Применение микрокалькуляторов, в особенности программируемых, позволяет использовать наиболее эффективные методы решения, обычно недоступные при табличных вычислениях. Ввод программы в ПМК и решение тестового примера производят заблаговременно, после чего следует исключить доступ к ПМК посторонних лиц. Наиболее ответственным этапом решения, выполняемым лично штурманом, является подготовка и ввод исходных данных. Тщательный контроль ввода исходных данных обязателен; он выполняется путем проверки наличия исходных данных по всем адресам и их соответствия условию задачи. Рекомендуется проверять правильность перевода моментов времени в доли часа и углов — в доли градусов, выполняя для этого обратные действия на пульте. Для полной уверенности в надежности решения вычисления obserвованных координат рекомендуется выполнять дважды. Быстродействие ПМК делает эту работу необременительной.

При возникновении сомнений в качестве обсервации быстрое получение ее результата позволяет повторить астронавигационные наблюдения и решить задачу заново (что, как правило, невозможно при применении таблиц и графических вычислительных средств).

Решение задачи трех высот и задачи четырех высот на основе применения прямого итерационного метода. Если обсервация по высотам трех или четырех светил выполнена в оптимальных условиях (§ 23.8), то вероятнейшее место корабля может быть найдено посредством вычисления координат вершин фигуры погрешностей по алгоритму прямого итерационного метода решения задачи двух высот (§ 23.5).

В задаче трех высот (рис. 23.9.3, а) при смежных разностях азимутов $\Delta A_{12} \approx \Delta A_{23} \approx 120^\circ$ (это требование не является жестким) необходимо вычислить координаты:

вершины 12, образуемой при решении по методу линий положения *влп* 1-1 и 2-2;

вершины 23, образуемой *влп* 2-2 и 3-3.

* Применение ЭКВМ «Спика» см. в § 27.5.

На карту достаточно нанести по вычисленным с помощью ПК координатам точки 12 и 23, а затем провести через соответствующие точки линии средних азимутов $ИП_{12}$ и $ИП_{23}$, рассчитываемых по формулам:

$$ИП_{12} = \frac{1}{2} (ИП_1 + ИП_2); \quad ИП_{23} = \frac{1}{2} (ИП_2 + ИП_3).$$

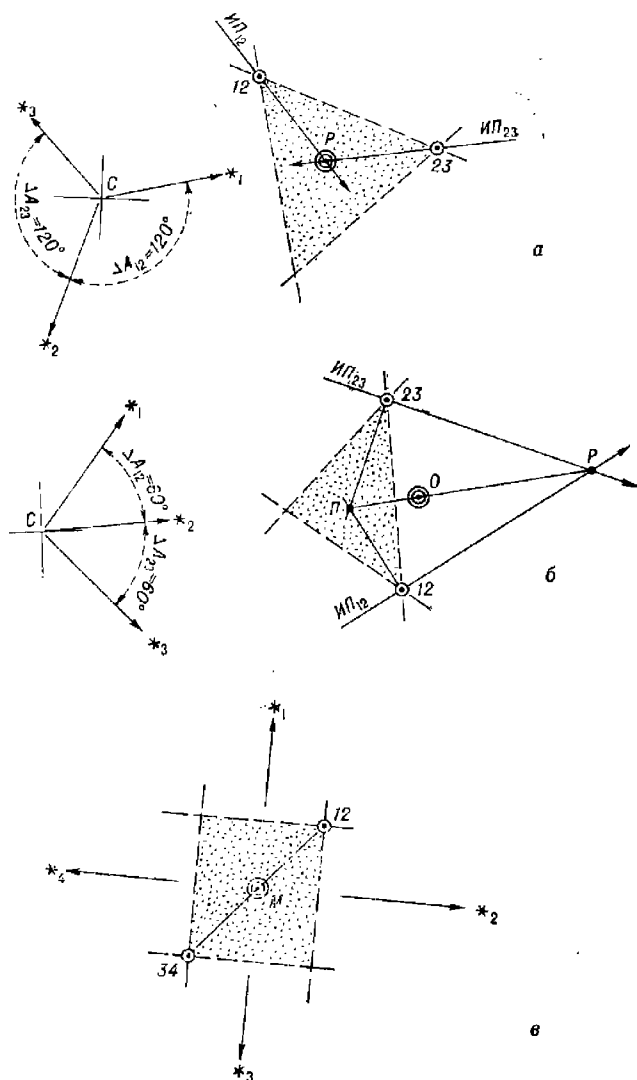


Рис. 23.9.3

Значения истинных пеленгов светил находят посредством измерений их компасных пеленгов в ходе наблюдений высот. Обсервованное место P получается в точке пересечения линий средних пеленгов; оно

соответствует решению задачи разностным методом и соответственно этому оценивается точность обсервации.

При смежных разностях азимутов $\Delta A_{12} \approx \Delta A_{23} \approx 60^\circ$ (рис. 23.9.3, б) вычисляют координаты:

вершины 12 — по высотам среднего и левого светила,

вершины 23 — по высотам среднего и правого светила.

Через нанесенные на карту точки 12 и 23 проводят линии средних азимутов $ИП_{12}$ и $ИП_{23}$: на их пересечении получается точка P , соответствующая решению задачи разностным методом. Далее в точках 12 и 23 строят перпендикуляры к линиям средних азимутов: на пересечении получается точка $П$, близкая к точке, получаемой в результате решения задачи путем построения полигона поправок (рис. 23.8.4). Решение обобщенным методом, определяющее вероятнейшее место O , получают с помощью табл. 23.8.2. В первом приближении точка O может быть принята посередине между точками 12 и 23.

В задаче четырех высот (рис. 23.9.3, в) при оптимальном расположении светил решение достигается объединением центрографическим методом двух противлежащих вершин (например, точки 12 и точки 34). При равноточных наблюдениях и смежных $\Delta A \approx 90^\circ$ обсервованное место можно принимать посередине между точками 12 и 34.

Универсальный метод вычисления обсервованных координат при любом числе высотных линий положения (алгоритм В. Т. Кондрашина). Высотные линии положения взаимно зависимы, что объясняется наличием у их элементов общих погрешностей случайного характера. Степень этой зависимости характеризуется коэффициентом корреляции r_{xy} или корреляционным фактором k (табл. 22.1.1), которые выводятся на основании накопленных данных по формулам:

$$\left. \begin{aligned} r_{xy} &= \frac{m_0^2}{m_0^2 + m_{\text{лнс}}^2}; \\ k &= \frac{m_{\text{лнс}}^2}{m_0^2}. \end{aligned} \right\} \quad (23.9.6)$$

Минимизация влияния погрешностей линий положения, основанная на принципе наибольшего правдоподобия, приводит к решению задачи по методу наименьшей квадратичной формы. Вычисления сводятся к решению системы двух нормальных уравнений:

$$A_1 \Delta \varphi_0 + B_1 \Delta \omega_0 + L_1 = 0;$$

$$A_2 \Delta \varphi_0 + B_2 \Delta \omega_0 + L_2 = 0,$$

где коэффициенты имеют значения:

$$A_1 = (N + k) \sum a_i^2 - (\sum a_i)^2;$$

$$A_2 = B_1 = (N + k) \sum a_i b_i - (\sum a_i) (\sum b_i);$$

$$B_2 = (N + k) \sum b_i^2 - (\sum b_i)^2;$$

$$L_1 = (N + k) \sum a_i n_i - (\sum a_i) (\sum n_i);$$

$$L_2 = (N + k) \sum b_i n_i - (\sum b_i) (\sum n_i);$$

$$a_i = \cos A_i, \quad b_i = \sin A_i.$$

Решение этой системы уравнений выполняется по формулам:

$$\left. \begin{aligned} D &= A_1 B_2 - A_2^2; \\ \Delta\varphi_0 &= \frac{1}{D} (B_2 L_1 - B_1 L_2); \\ \Delta\lambda_0 &= \frac{1}{D \cos \varphi} (A_1 L_2 - A_2 L_1), \end{aligned} \right\} \quad (23.9.7)$$

после чего определяются

$$\varphi_0 = \varphi_c + \Delta\varphi_0; \quad \lambda_0 = \lambda_c + \Delta\lambda_0$$

и средняя квадратическая погрешность обсервации

$$M_0 = m_{\text{плс}} \sqrt{(N+k) \frac{A_1^2 + B_2^2}{D}}. \quad (23.9.8)$$

Этот алгоритм универсален: при $k=0$ результат решения тождествен результату решения разностным методом (практически — при $m_0 \geq 3m_{\text{плс}}$). При $k > 9$ (практически — при $m_0 < 3m_{\text{плс}}$) результат решения тождествен результату решения, получаемому путем построения полигона вероятных поправок на основе метода наименьших квадратов. При любом $k \neq 0$ по этому же алгоритму решается задача двух высот, а также задача разновременных высот (если высоты приведены к одному месту наблюдений с учетом формулы 23.4.1).

При работе с ПМК штурман имеет возможность быстро получать результаты при различных предположениях о величинах k и выбирать наилучшее решение по минимуму рассеяния обсерваций, выполненных в составе астронавигационного расчета.

Исходными данными для решения являются элементы высотных линий положения, вычисленные согласно изложенному в § 23.6: переносы n_i *влп*, приведенные к одному месту наблюдений и вычисленные для одной и той же расчетной точки C (φ_c ; λ_c); считаемые азимуты A_{c_i} светил, а также количество N используемых линий положения и корреляционный фактор k (табл. 22.1.1).

Программа вычислений дана в табл. 23.9.2; порядок и организация вычислений приведены в табл. 23.9.3, здесь же показано решение примера 23.9.1.

При вводе исходных данных следует:

- вычислить величину $(N+k) = \left(N + \frac{m_{\text{плс}}^2}{m_0^2} \right)$ и ввести ее по адресу ПД;
- вычислить алгебраическую сумму всех переполюсов Σn_i и ввести ее по адресу ПС;
- ввести 0 по адресам П0—П8.

Далее перенос n_i первой *влп* ввести по адресу П9. Вычислить на ПМК величину $\cos A_{c_i}$ и ввести ее по адресу ПА; вычислить величину $\sin A_{c_i}$ и ввести ее по адресу ПВ. Нажать клавиши В/О С/П. После останова счета аналогично ввести данные для второй *влп* и т. д.

После ввода элементов последней *влп* и останова ПМК ввести широту φ_c расчетной точки по адресу П5. Если необходима оценка точности обсервации, то по адресу П6 ввести частную СКП $m_{\text{плс}}$ линии положения. Для окончания решения нажать клавишу С/П.

По окончании счета на табло и по адресу ИП2 находится поправка $\Delta\varphi_0$ к широте φ_c расчетной точки, а по адресу ИП3 — поправка $\Delta\lambda_0$ к долготе λ_c расчетной точки C . Знак *плюс* соответствует северной

Программа для вычисления обсервованного места по методу
наименьшей квадратичной формы

Адрес	Команда	Код	Адрес	Команда	Код	Адрес	Команда	Код
	В/О F ПРТ		33	ИПД	6Г	66	ПВ	4L
00	ИПА	6—	34	×	12	67	С/П	50
01	Fx ²	22	35	ИПВ	6L	68	ИПВ	6L
02	ИПО	60	36	ИП4	64	69	ИП8	68
03	+	10	37	+	10	70	×	12
04	ПО	40	38	П4	44	71	ИПА	6—
05	ИПД	6Г	39	ИПС	6С	72	Fx ²	22
06	×	12	40	×	12	73	—	11
07	ИПА	6—	41	—	11	74	П4	44
08	ИП1	61	42	П9	49	75	ИП8	68
09	+	10	43	ИПА	6—	76	ИП9	69
10	П1	41	44	ИПВ	6L	77	×	12
11	Fx ²	22	45	×	12	78	ИПА	6—
12	—	11	46	ИП3	63	79	ИП7	67
13	П8	48	47	+	10	80	×	12
14	ИПА	6—	48	П3	43	81	—	11
15	ИП9	69	49	ИПД	6Г	82	ИП4	64
16	×	12	50	×	12	83	:	13
17	ИП2	62	51	ИП1	61	84	ИП5	65
18	+	10	52	ИП4	64	85	:	13
19	П2	42	53	×	12	86	П3	43
20	ИПД	6Г	54	—	11	87	ИПВ	6L
21	×	12	55	ПА	4—	88	ИП7	67
22	ИП1	61	56	ИПВ	6L	89	×	12
23	ИПС	6С	57	Fx ²	22	90	ИПА	6—
24	×	12	58	ИП6	66	91	ИП9	69
25	—	11	59	+	10	92	×	12
26	П7	47	60	П6	46	93	—	11
27	ИПВ	6L	61	ИПД	6Г	94	ИП4	64
28	ИП9	69	62	×	12	95	:	13
29	×	12	63	ИП4	64	96	П2	42
30	ИП5	65	64	Fx ²	22	97	С/П	50
31	+	10	65	—	11			
32	П5	45					F АВТ	

широте и восточной долготе. Величины коэффициентов, которые могут понадобиться при проверке решения тестовой задачи, находятся по адресам, указанным в табл. 23.9.3.

Для вычисления СКП обсервованного места необходимо на пульте ПМК последовательно нажать клавиши: ИП8 ИПВ + ИП4 : ИПД × FУ ИП6 × и прочитать на табло значение M_0 в милях.

Таблица 23.9.3

Аргументы, константы	Адрес	Информация (с решением примера)		
		исходная	промежуточная	итоговая
	П0			
	П1			
	П2			$\Delta \varphi_0 = -3,5'$
	П3			$\Delta \lambda_0 = -6,3'$
	П4			
	П5			$\cos \varphi_c = 0,6794$
	П6			$m_{\text{лнс}} = 0,8'$
	П7		$L_1 = -28,199$	
	П8		$A_1 = 11,336$	
n_i	П9		$L_2 = -17,378$	
$\cos A_{c_i}$	ПА		$A_2 = B_1 = -2,651$	
$\sin A_{c_i}$	ПВ		$B_2 = 6,204$	
Σn_i	ПС	+12,9		
$N + k$	ПД	4,53		

Пример 23.9.1. Вычислить координаты обсервованного места в задаче четырех высот при следующих исходных данных:

Координаты расчетной точки	Номер светила	Перенос n_i	Азимут A_i
$\varphi_c = 47^\circ 12,5' \text{ N}$	1	+2,0'	139,5°
	2	+6,2	186,2
$\lambda_c = 13^\circ 05,5' \text{ E}$	3	+5,8	278,0
	4	-1,1	0,0

Оценка погрешностей: $m_{\text{лнс}} = 0,8'$; $m_0 = 1,1'$.

Результат: $\varphi_0 = \varphi_c + \Delta \varphi_0 = 47^\circ 09,0' \text{ N}$; $\lambda_0 = \lambda_c + \Delta \lambda_0 = 12^\circ 59,2' \text{ E}$. На втором этапе на табло высвечивается $M_0 = 0,9'$.

Эта же программа может быть использована штурманом для вычисления координат вероятнейшего места корабля по результатам работы астронавигационного расчета.

Методы вычисления обсервованных координат по элементам *влп* на непрограммируемых микрокалькуляторах. Элементы *влп* вычисляют обычным порядком (§ 23.6), после чего расчеты ведут на МК в зависимости от способа обсервации.

Задача двух высот сводится к решению системы уравнений двух высотных линий положения:

$$\left. \begin{aligned} \cos A_{c_1} \Delta \varphi_0 + \sin A_{c_1} \Delta \varpi_0 &= n_1; \\ \cos A_{c_2} \Delta \varphi_0 + \sin A_{c_2} \Delta \varpi_0 &= n_2, \end{aligned} \right\} \quad (23.9.9)$$

которое имеет следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} \Delta \varphi_0 &= \frac{n_1 \sin A_{c_2} - n_2 \sin A_{c_1}}{\sin (A_{c_2} - A_{c_1})}; \\ \Delta \lambda_0 &= \frac{n_2 \cos A_{c_1} - n_1 \cos A_{c_2}}{\sin (A_{c_2} - A_{c_1}) \cos \varphi}, \end{aligned} \right\} \quad (23.9.10)$$

после чего вычисляют $\varphi_0 = \varphi_c + \Delta \varphi_0$ и $\lambda_0 = \lambda_c + \Delta \lambda_0$.

Используемые в этих формулах азимуты должны быть взяты в круговом счете (как *ИП* светил) и первым должно именоваться то светило, *ИП* которого меньше; при выполнении этих условий найденная положительная $\Delta\varphi_0$ будет северной, а положительная $\Delta\lambda_0$ — восточной.

В задаче двух разновременных высот следует вычислить элементы первой линии положения для счислимого места C_1 (φ_1 , λ_1) в момент первых наблюдений, а элементы второй линии положения вычислить для счислимого места C_2 (φ_2 , λ_2) на момент вторых наблюдений при обязательном условии: второе счислимое место должно быть получено от координат первого максимально точным счислением. Вычисленные по полученным таким путем элементам поправки $\Delta\varphi_0$ и $\Delta\lambda_0$ придадут к координатам второго счислимого места и получают обсервованные координаты на момент вторых наблюдений. Такое решение заменяет приведение первой высоты к месту вторых наблюдений введением поправки Δh_2 .

При решении задачи трех высот и четырех высот в оптимальных условиях (рис. 23.9.3, а и 23.9.3, в) разностным методом система уравнений трех или четырех высотных линий положения заменяется системой уравнений двух разностно-высотных линий положения, которым при графическом исключении фигуры погрешностей соответствуют «астрономические биссектрисы»:

$$\cos \tau_1 \Delta\varphi_0 + \sin \tau_1 \Delta\omega_0 = n_{\Delta h_1};$$

$$\cos \tau_2 \Delta\varphi_0 + \sin \tau_2 \Delta\omega_0 = n_{\Delta h_2}.$$

Входящими в эти формулы элементами разностно-высотных линий положения являются переносы $n_{\Delta h}$ и направления τ их градиентов, определяемые по приводимым ниже формулам:

а) в задаче трех высот:

$$n_{\Delta h_1} = \frac{n_2 - n_1}{2 \sin \frac{\Delta A_{12}}{2}}; \quad n_{\Delta h_2} = \frac{n_1 - n_3}{2 \sin \frac{\Delta A_{23}}{2}};$$

$$\tau_1 = 90 + 0,5 (A_1 + A_2); \quad \tau_2 = 90 + 0,5 (A_2 + A_3);$$

б) в задаче четырех высот:

$$n_{\Delta h_1} = \frac{n_3 - n_1}{2 \sin \frac{\Delta A_{13}}{2}}; \quad n_{\Delta h_2} = \frac{n_1 - n_2}{2 \sin \frac{\Delta A_{24}}{2}};$$

$$\tau_1 = 90 + 0,5 (A_1 + A_3); \quad \tau_2 = 90 + 0,5 (A_2 + A_4).$$

В этих формулах первым именуется то светило, у которого круговой азимут меньше, а остальные светила нумеруются по мере возрастания их кругового азимута; символом ΔA обозначены разности азимутов.

Обозначая средние азимуты символом A_m , для вычисления координат вероятнейшего места получают:

$$\Delta\varphi_0 = \frac{n_{\Delta h_1} \cos A_{m_2} - n_{\Delta h_2} \cos A_{m_1}}{\sin (A_{m_2} - A_{m_1})};$$

$$\Delta\lambda_0 = \frac{n_{\Delta h_1} \sin A_{m_2} - n_{\Delta h_2} \sin A_{m_1}}{\sin (A_{m_2} - A_{m_1}) \cos \varphi};$$

$$\varphi_0 = \varphi_c + \Delta\varphi_0; \quad \lambda_0 = \lambda_c + \Delta\lambda_0.$$

Аналогичный результат можно получить, используя элементы исходных высотных линий положения, если показанным в формуле (23.9.10) алгебраическим путем решать систему уравнений

$$(\cos A_{c_3} - \cos A_{c_1}) \Delta\varphi_0 + (\sin A_{c_3} - \sin A_{c_1}) \Delta\omega_0 = n_3 - n_1;$$

$$(\cos A_{c_4} - \cos A_{c_2}) \Delta\varphi_0 + (\sin A_{c_4} - \sin A_{c_2}) \Delta\omega_0 = n_4 - n_2$$

(эта система уравнений записана применительно к задаче четырех высот).

Задачи трех и четырех высот можно также решить путем определения координат вершин фигуры погрешностей по формулам (23.9.10) и выполнения построений на карте, показанных на рис. 23.9.3 и поясненных выше применительно к использованию прямого итерационного метода.

Решение астронавигационных задач на ШВК «Электроника — МК-52 — Астро» и других навигационных микрокалькуляторах излагается в их технических описаниях.

В. Оптимальный метод табличного решения астронавигационных задач

По мере внедрения в штурманскую практику универсальных и специализированных навигационных ЭВМ и ПМК табличные методы решения навигационных задач становятся резервными. Резервный метод решения астронавигационных задач должен быть в максимальной степени простым и предполагать наличие у штурмана лишь элементарных вычислительных навыков. Этим условиям удовлетворяет метод обработки наблюдений по МАЕ и таблицам ВАС—58 с перемещением счислимого места (§ 23.6).

Построение высотных линий положения от перемещенных мест (применительно к задаче двух одновременных высот) на путевой карте или на карте-сетке показано на рис. 23.8.11. При решении задач по одновременным наблюдениям высот светил построения *впл* можно выполнять на маневренном планшете, издания ГУНиО МО, в крупном масштабе. Применительно к примеру 23.9.2 эта прокладка показана на рис. 23.9.4. В центре планшета принимается точка, соответствующая перемещенной широте φ_n и счислимой долготы λ_c . Далее по разностям долготы λ_c счислимого места и долгот подобранных перемещенных мест λ_{n_i} находят отшествия w перемещенных точек P_i от центра планшета:

$$w_1 = (\lambda_{n_1} - \lambda_c) \cos \varphi_n; \quad w_2 = (\lambda_{n_2} - \lambda_c) \cos \varphi_n \text{ и т. д.}$$

Перевод $\Delta\lambda$ в отшествия w можно выполнить с помощью углового масштаба, построенного при центре планшета.

Наносят на параллели φ_n перемещенные места, а от них строят высотные линии положения и находят observed место, координаты которого определяют по формулам:

$$\varphi_0 = \varphi_n + \Delta\varphi_0; \quad \lambda_0 = \lambda_c + \Delta\omega_0 \sec \varphi_m,$$

где φ_m — средняя широта (§ 23.6).

При необходимости с помощью табл. 23.8.5 вводят поправки за кривизну высотных изолиний и получают уточненное observed место.

Пример 23.9.2. В Индийском океане 4 февраля выполнены околополуденные наблюдения высот Солнца. Скорость корабля $V=18$ уз; интервалы времени между наблюдениями высот $\Delta T=25$ мин; согласно табл. 22.3.3 и 23.8.4 (при $K_c=0,8$ и $m_{\text{пл}}=-0,85$ мили) наблюдения классифицированы как одновременные.

Запись результатов наблюдений и вычислений поправок инструментов, результатов измерений высот и условий наблюдений по форме записной книжки штурмана

Таблица 23.9.4

ЗАПИСИ ДЛЯ АСТРОНАВИГАЦИОННОЙ ОБСЕРВАЦИИ В ЗКШ

Задача №	10		море и район	Индийский океан	
Дата 4 февр.	КК =	61,5°	V =	18 уз	t = +16°С
Час. пояс ЗЕ	ΔК =	+0,5°	Δλ =	+1 ‰	B = 755 м.м
Наблюдения для I лп			Наблюдения для II лп		
Что наблюдали ☉			Что наблюдали ☉ Δλ = 0,0		
T _c = 11 50 ол = 13,6			T _c = 12 23 ол = 21,0		
φ = e = 12,5			φ = 4° 16' S e = 13,5		
λ = d = -6,5'			λ = 42° 54' E d = -6,5'		
№	Моменты по часам	Отсчеты секстанга	№	Моменты по часам	Отсчеты секстанга
1	9 ^ч 03 ^м 36 ^с	76° 16,0'	1	9 ^ч 28 ^м 34 ^с	77° 45,7'
2	03 49	17,7	2	28 50	46,4
3	04 04	19,8	3	29 10	46,2
4	04 15	20,4	4	29 29	45,8
5	04 41	23,4	5	29 48	46,0
ср.	9 ^ч 04 ^м 05 ^с	76° 19,5'	ср.	9 ^ч 29 ^м 10 ^с	77° 46,0'
КП = 156° s = -0,1'			КП = 181° s = -0,1'		
Наблюдения для III лп			Наблюдения для IV лп		
Что наблюдали ☉ T _c = 12 ^ч 48 ^м			Что наблюдали ☉		
№	Моменты по часам	Отсчеты секстанга	№	Моменты по часам	Отсчеты секстанга
1	9 ^ч 53 ^м 45 ^с	76° 15,8'	1		
2	53 59	14,5	2		
3	54 15	12,6	3		
4	54 33	10,8	4		
5	54 54	9,8	5		
ср.	9 ^ч 54 ^м 17 ^с	76° 12,7'	ср.		
КП = 206° s = -0,1'			КП = s =		
Определить T _c , ол, φ ₀ , λ ₀ , C, M ₀ на момент вторых наблюдений					

Наблюдал:

Записывал:

Продолжение табл. 23.9.4

Подбор светил для наблюдений						
T_T		T_c		Светила	ИП	h
ΔT_φ		N_c		1		
T_M		$T_{гр}$		2		
λ		Дата		3		
$T_{гр}$		t_T^{\wedge}		4		
N_c		Δt		5		
T_c		$t_{гр}$		6		
ΔT_T		λ		7		
ΔT_φ		t_M^{\wedge}		8		
T_c		φ		9		
Экстраполяция поправки хронометра № 1						
$\omega_{хр}$		$-0,5^c$	$u'_{хр}$	$+21,0^c$		
T'	3 февр.	$T_{гр} = 9^h$	$\omega \cdot \Delta T^{\partial}$	$-0,5$		
ΔT^{∂}	1 сутки	0,02	$u_{хр}$	$+20,5^c$		
Определение поправки часов № 3					Для секундомера	
для I лп			для II лп			
$T_{хр}$	$03^h 50^m 00,0^c$		$03^h 51^m 00,0^c$		Нач. $T'_{хр}$	
$T_{ч}$	08 57 30,5		09 58 30,5		Кон. $T''_{хр}$	
$c.2$	$-7 30,5$		$-7 30,5$		$\Delta T_{хр}$	
$u_{хр}$	$+20,5$		$+20,5$		$\tau_{сек}$	
u	$-7^m 10^c$		$-7^m 10^c$		Погр.	
Определение поправки индекса секстана № 2046						
для I лп по \odot			для II лп по \odot			
α_1	$360^\circ 34,4'$	$-34,4$	$360^\circ 34,5'$	$-34,5$	$4R_{MAE}^{\odot}$	
α_2	359 29,6	$+30,4$	359 29,4	$+30,6$	64,8'	
$\alpha_1 - \alpha_2$	$4R_H^{\odot} = 64,8$	$2i = -4,0$	65,1	$2i = -3,9$	$4R_{набл}^{\odot}$	
$4R^{\odot}$	64,8	$i = -2,0$		$i = -2,0$	65,1'	
$\Delta =$	0,0			$\Delta =$	0,3'	

Таблица 23.95
СХЕМА ВЫЧИСЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ВЫСОТНЫХ ЛИНИЙ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ТАБЛИЦАМ ВАС—58
 Карта № _____
 1. Индийский океан

№ п.п.	Аргументы, действия	Условн. обозн.	Вычислительные операции и их результаты			
			Для I лн	Для II лн	Для III лн	Для IV лн
2	Среднее место на момент T_c (см. п. 6)	$\varphi_s S$	$0 \Delta_1$	$0 \Delta_2$	V	Полярная
3		$\lambda_c E$		$? 1,0$	18	I погр.
4	Округлить φ_s до градусов	φ_n	$\Delta_1 =$	$+ 1,0$		II погр.
5	Наблюдели светило	Год:	\odot	\odot	\odot	III погр.
6	Суточное время наблюдений	Дата, T_c	Месца H	Δ	$12^{\text{h}} 48^{\text{m}}$	Σ
7	Принятый на корабле часовой пояс	$N_{CV} +$	$3 E$	$3 E$	$3 E$	Прив. h
8	$= 6 \pm 7$ Гринв. долг.	Пробл. $T_{гр}$	II	Δ	$9^{\text{h}} 48^{\text{m}}$	φ_0
9	Момент по работам часам	T	$9^{\text{h}} 04^{\text{m}} 05^{\text{s}}$		$9^{\text{h}} 54^{\text{m}} 17^{\text{s}}$	ч м с
10	Поправка рабочих час. сов	u	$- 7 \ 10$		$- 7 \ 10$	
11	$= 9 \pm 10$	$T_{пр}$	$8^{\text{h}} 56^{\text{m}} 55^{\text{s}}$	$9^{\text{h}} 22^{\text{m}} 00^{\text{s}}$	$9^{\text{h}} 47^{\text{m}} 07^{\text{s}}$	ч м с Контроль по пробл. $T_{гр}$
12	Из МАЕ по пп. 8, 11	t_1	$266^{\circ} 31,7'$	$\Delta_{\Sigma} = + 0,9'$	$311^{\circ} 31,6'$	$\Delta = + 0,9'$

Продолжение табл. 23.9.5

№ п.п.	Аргументы, действия	Условн. обозн.	Вычислительные операции и их результаты									
			для I лл		для II лл		для III лл		для IV лл			
28	Наблюдения высот	ос	76° 19,5'	+16	77° 46,0'		76° 12,7'					
29	Поправка сикстана	Δ_c	-2,1	755	-2,1		-2,1					
30	Измерен. высота	h'	76 17,4	$P_{\text{МАВ}}$	77 43,9		76 10,6					
31	Наклономер или таб-лицы	Δh_d	-6,5	13,5	-6,5		-6,5	13,5				
32	= 30 + 31 Видимая высота	h_B	76 10,9	V	77 34,4		76 04,1	18				
33	Δh_{p+p}^{\odot} или Δh_p^*	$p+p$	-0,2	ИП	-0,2	ИП	-0,2	ИП	205		ИП	
34	$\Delta h_p; R_{\odot}; O(\Delta)$	R	+16,3	ПУ	+16,3	ПУ	+16,3	ПУ	-62			
35	$\Delta h_t + \Delta h_B$			КУ	93	КУ		КУ	143			
36	По необходимости: = 32 + 33 + 34 + 35	ист. h	76 27,0	ω_{hz}	77 53,5	ω_{hz}	76 20,2	ω_{hz}	-0,24			
37	Приведение к одному месту	$\omega_{hz}; \tau_{\text{н}}$	-0,5	$\tau_{\text{н}}$	+35	$\tau_{\text{н}}$	+6,0	$\tau_{\text{н}}$	-25			
38	= 36 + 37	$h_{\text{п}}$	76 26,5	γ	0	γ	76 26,2	γ	0		γ	
39	= 27	h_c	76 14,5	1	23'	1	76 15,0	1	24'		1	
40	= 38 - 39	$h - h_c$	+12,0	x	+19,1	x	+11,2	x	+0,3		x	
41	Момент обсервации T_c	11 ± 7	12 22	ол = 20,7								
42	Оценка точности: $M_0 = 1,9 \cdot 0,6' = 1,1$ мили											
										С карты: $\varphi_0 = 4^{\circ} 19,8' S$		$\lambda_0 = 42^{\circ} 59,3' E$

(ЗКШ) показана в табл. 23.9.4. Решение задачи приведено в табл. 23.9.5 и на рис. 23.9.4. Необходимые пояснения по вычислительной схеме сделаны в § 23.2—23.8. Обсервованное место найдено обобщенным методом при $l=1$, $m_{\text{табл}}=0,6'$ (табл. 23.8.2). Для оценки точности обсервации из табл. 23.8.3 выбрали по $\Delta\lambda=30'$ и $l=1$ величину $K_M=1,9$, поэтому $M_0=1,9 \times 0,6=1,1$ мили.

Высоты были приведены к месту корабля в момент вторых наблюдений, поэтому обсервация получена на момент судового времени $T_c = T_{\text{гр.}} \pm N_{\text{св}}^E = 09^{\text{ч}}22^{\text{м}}00^{\text{с}} + 3^{\text{с}} = 12^{\text{ч}}22,0^{\text{м}}$.

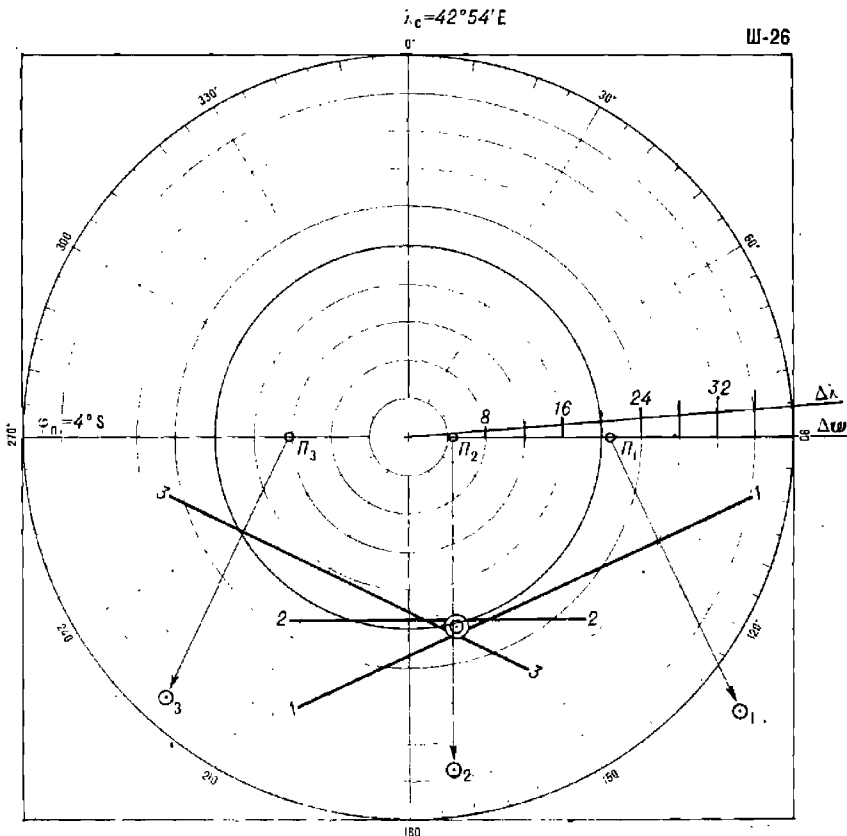


Рис. 23.9.4

Г. Правила поиска ошибок при решении астронавигационных задач по таблицам

Ошибки в решении задачи отыскиваются и исправляются по следующим правилам.

1. Признак ошибки: *вычисленный местный часовой угол превышает величину табличного часового угла в ВАС—58 (признак расположения вычисленного места светила ниже горизонта).*

В этом случае необходимо:

— проверить календарную дату по судовому времени (п. 6), гринвичскую дату (п. 8), номер часового пояса (п. 7), совпадение прибли-

женного и точного всемирного времени (пп. 8 и 11), учет знака долготы (п. 17), переход от западного часового угла к восточному (пп. 18 и 19), выборку гринвичского часового угла из МАЕ (п. 12), выборку звездного угла τ^{\times} (п. 14);

— найти арифметические ошибки, допущенные в действиях по пп. 6—19; приемы контроля показаны в схеме.

2. Признак ошибки: *выбранная из основных таблиц ВАС—58 табличная высота отличается на несколько градусов от отсчета секстана или от истинной высоты светила.*

В этом случае необходимо:

— проверить величину и наименование склонения (п. 20), оценку широты и склонения по признаку «одноименно — разноименно» (п. 23), выбор перемещенной широты и вход в ВАС—58 по широте (пп. 4 и 25), подбор долготы при вычислении часового угла (п. 17);

— найти арифметические ошибки, допущенные в расчетах часового угла и склонения, выполняя обратные арифметические действия.

3. Признак ошибки: *разность истинной приведенной высоты светила и его числимой высоты получилась более 60' (перенос $n \approx 1^{\circ} \div 2^{\circ}$).*

В этом случае необходимо:

— проверить выбор долготы при расчете часового угла (п. 17), гринвичскую дату (п. 8), запись момента наблюдений и поправку часов (пп. 9, 10), гринвичское время (п. 11), знак поправки за полудиамер Солнца или учет общей поправки высоты Луны по ее соответствию фактически наблюдавшемуся краю светила (п. 34), знаки поправки Δh_s в п. 26 (при полном решении — знаки Δh_p , Δh_i), записи табличной высоты и поправок к ней из ВАС—58;

— найти арифметические ошибки, допущенные в расчетах часового угла, склонения и числимой высоты.

4. Признак ошибки: *после прокладки влп обнаружена несогласованность линий положения в задачах трех или четырех высот: форма и размеры фигуры погрешностей не могут быть объяснены стандартными оценками ошибок линий положения (табл. 22.1.1); в задаче четырех высот получился слишком вытянутый четырехугольник; при вводе во все переносы однозначной и равновеликой ошибки Δn разнонаправленное смещение пар линий положения (внутрь или вне фигуры погрешностей). В задаче двух высот обсервованное место значительно рассогласуется со числимым местом и эта невязка не может быть объяснена возможной в конкретных условиях плавания погрешностью счисления. При наличии этих признаков:*

а) проверить:

— прокладку линий азимутов светил и переносов линий положения от перемещенных мест Π_i в соответствии с нумерацией последних;

— расчеты числимого места с учетом течения и дрейфа;

— расчеты поправки часов и гринвичского времени (особенно если имеется вынос обсервации по долготе);

— расчеты судового времени обсервации (п. 41);

— расчеты приведения высот к одному месту наблюдений, перевода полукруговых азимутов в истинные пеленги (ИП), величин курсовых углов, знаков поправок (пп. 33—38);

— нанесение перемещенных мест;

— знаки переносов, прокладку переносов от соответствующих им перемещенных мест;

— величины и знаки поправок к высоте светила, выбираемых из ВАС—58;

— исправление высот светил (пп. 28—38) и определение поправки секстанса;

б) найти арифметические ошибки, допущенные в пп. 28—38 и пп. 25—27.

Никогда не следует подгонять истинные высоты светил к численным, каким бы верным ни казалось счисление, а также исправлять записи наблюдений по догадке. *Результаты наблюдения могут быть опровергнуты только новой наблюдением.* Найдите и устраните промахи в наблюдениях или вычислениях. В сомнительных случаях следует считать место корабля ближе к опасности.

Д. Определение места по высотным и радионавигационным линиям положения

Высотная линия положения может быть использована в сочетании с радиопеленгом или с другими изолиниями, полученными по РНС. Расчет элементов и построение радионавигационных линий положения пояснены в гл. 18—20. Проще всего задача решается на радионавигационных картах с сетками изолиний РНС, которые перед выполнением наблюдения используются для выбора светила: линия азимута светила должна совпадать с направлением радионавигационных изолиний в районе счислимого места или же быть близкой к этому направлению.

Очередность измерений высоты светила и радионавигационного параметра может быть любой. Элементы высотной линии положения вычисляются для счислимого места на момент измерения высоты; после построения высотной линии положения 2-2 на карте рядом с ней надписывается момент соответствующего ей T_c (например, T_{c_1} на рис. 23.9.5).

Далее прокладывается радионавигационная линия положения 1-1 и отмечается момент T_c измерения РНП, после чего производится графическое приведение линий положения к одному месту наблюдений. На рис. 23.9.5 показано приведение радионавигационной линии положения к месту наблюдений высоты светила. При желании приведение высотной линии положения к месту измерения РНП можно выполнить введением поправки Δh_2 к истинной высоте светила. Оценка точности обсервованного места выполняется по формуле (23.8.9), если наблюдения высоты и радионавигационного параметра были разновременными. Комбинирование астронавигационных и радионавигационных линий положения значительно повышает точность и надежность обсервации.

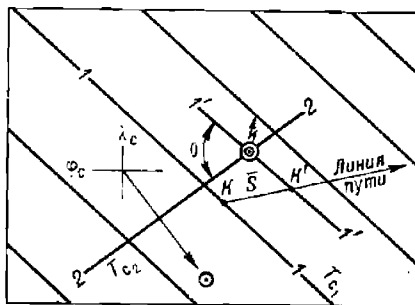


Рис. 23.9.5

Е. Астронавигационные наблюдения в низких широтах

Определение места по звездам и планетам. Наблюдения с секстантом типа СНО-Т возможны в течение получаса около 6 и 18 ч по среднему времени меридиана места. При подготовке к наблюдениям в период коротких тропических сумерек следует принять меры к уменьшению «сумеречного эффекта», заключающегося в выносе обсервации по

звездам в сторону, противоположную направлению на Солнце (достигающем в среднем 1 мили). Для уменьшения этого эффекта следует планировать наблюдения на возможно более светлый период сумерек и при наиболее равномерной освещенности горизонта, соблюдая принцип «звезды лучше всего наблюдать тогда, когда они не видны (невооруженным глазом)», а также рекомендации по оптимальным очередности наблюдений светил и их расположению по секторам горизонта (§ 22.3).

Дневные астронавигационные наблюдения. При равенстве одноименных широты места корабля и склонения светила наблюдается его прохождение через зенит (у Солнца — дважды в году). При движении Солнца в районе первого вертикала (вблизи румбов E и W) его азимут меняется очень медленно; вблизи кульминации скорость изменения азимута очень велика. Поэтому оптимальные условия для солнечных наблюдений (по двум, трем *влп* и даже более) складываются только вблизи полудня и при очень больших значениях высот Солнца.

Дискретность наблюдений с навигационным секстаном составляет около 6 ч (утро — полдень — вечер). Путем дополнительных измерений через зенит (по Солнцу, Луне) рекомендуется получать четыре одновременные или разновременные линии положения; следует широко практиковать одновременные наблюдения Солнца, Луны, Венеры. Возможно сочетание наблюдений звезд и планет по азимутам N или S с наблюдениями Солнца сразу после его восхода или перед заходом. В тропическом поясе вследствие значительной повторяемости небольшой облачности в утренние часы обычно вероятность утренних наблюдений звезд и Солнца выше, чем послеполуденных и вечерних.

Если наблюдаемые высоты Солнца не превышают $87,5^\circ$, то элементы высотных линий положения вычисляют обычным порядком (§ 23.6). Время наблюдений Солнца устанавливают симметрично моменту полудня и вблизи него, планируя его с помощью звездного глобуса или таблиц ВАС—58 так, чтобы получить выгодные разности азимутов в кратчайший срок. Если погрешность счислимого места менее 10 миль и $h < 87,5^\circ$, то при вычислениях элементов *влп* от счислимых мест методическими погрешностями *влп* можно пренебрегать. При работе с ВАС—58 при $h > 73^\circ$ необходимо применять метод перемещенных мест и учитывать методические погрешности *влп* (см. § 23.8).

При высотах Солнца более $87,5^\circ$ (условие: $\varphi - \delta \leq 2,5^\circ$; широта и склонение одноименны) применяется особый порядок наблюдений и их обработки:

1. При планировании наблюдений вычисляют момент кульминации Солнца на счислимом меридиане (рис. 23.7.1), например, $T_c^{\text{б}} = 12 \text{ ч } 16 \text{ мин}$ (рис. 23.9.6, а), и размечают географические места Солнца с интервалом в 1 мин = 15' по долготе, записывая в ЗКШ пеленги на Солнце и его счислимые высоты $h_c = 90 - z_c$.

2. При наблюдениях ориентируют трубу секстана по счислимым пеленгам и, удерживая его вертикально, вращением отсчетного барабана измеряют три или пять (что лучше) высот Солнца.

3. При обработке наблюдений на каждый момент вычисляют δ^{\odot} и $t_{\text{рв}}^{\odot}$; исправляют высоты по схемам табл. 23.9.5 и вычисляют $z_i = 90 - h_i$.

4. На карту наносят наблюдаемые географические места Солнца (рис. 23.9.6, б); графически приводят полученные точки к одному месту наблюдений (например, к последнему), перемещая их по линии пути

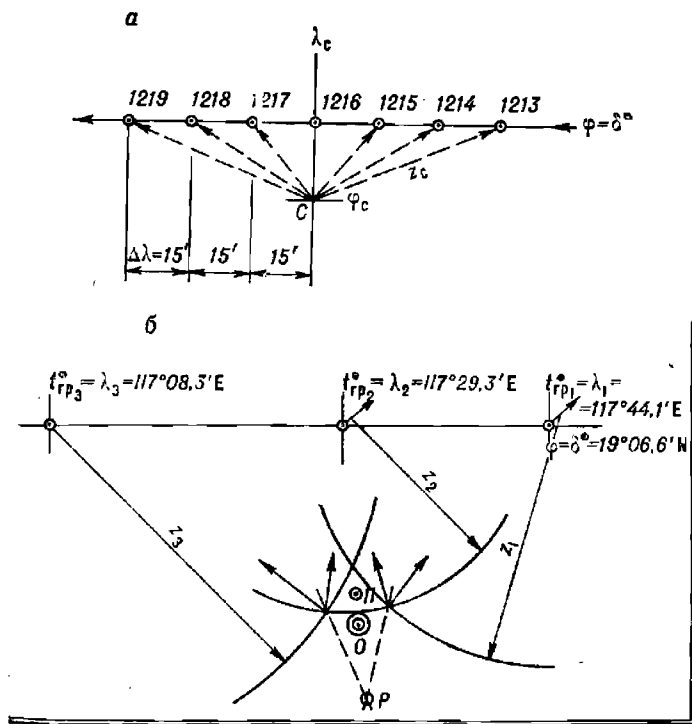


Рис. 23.9.6

Таблица 23.9.6

Поправка к широте географического места Солнца
(одноименна со склонением δ Солнца)

Зенитное расстояние z	Склонение δ Солнца					
	4°	8°	12°	16°	20°	24°
1,0°	1,0'	0,1'	0,1'	0,2'	0,2'	0,3'
1,7	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
2,0	0,1	0,3	0,4	0,6	0,8	0,9
2,5	0,2	0,4	0,7	0,9	1,2	1,5

Таблица 23.9.7

Поправка зенитного расстояния Солнца (всегда отрицательна)

Зенитное расстояние z	Азимут полукруговой A_n			
	0°	30°	60°	90°
0,7°	0,3'	0,2'	0,1'	0,0'
1,3	0,5	0,4	0,2	0,0
2,0	0,8	0,7	0,4	0,0
2,7	1,0	0,9	0,5	0,0

корабля на расстояние S , пройденное за интервал времени между моментами последнего и приводимого измерений.

5. При необходимости вводят поправки к широте географического места Солнца из табл. 23.9.6 и к его зенитным расстояниям из табл. 23.9.7, учитывая тем самым кривизну изолиний высот при прокладке их на карте.

6. Радиусами z_i описывают из соответствующих им приведенных географических мест Солнца отрезки кругов равных высот, сообразуясь при этом с фактически наблюдавшимся направлением с корабля на Солнце.

7. При трех наблюдаемых высотах обсервованное место отыскивается обобщенным методом и оценивается по табл. 23.8.3. При большем числе высот рекомендуется находить обсервованное место построением полигона вероятных поправок.

Ж. Астронавигационные обсервации в Арктике

Условия наблюдений светил. В приполюсном районе Арктики над горизонтом располагаются светила, имеющие северное склонение. Выбор звезд для наблюдений ограничен: из 160 навигационных звезд, помещенных в МАЕ, лишь 26 имеют северное склонение и блеск ярче $m=2,5$. Только 8 из этих звезд имеют блеск ярче $m=1$, и лишь 5 из последних наблюдаются на средних высотах. Вблизи полярного круга на малых высотах могут также наблюдаться светила, имеющие склонение менее $23,5^\circ$ S.

Светила с изменяющимся склонением наблюдаются преимущественно в те полупериоды звездного обращения, когда их склонения имеют северное наименование. В приполюсном районе Солнце непрерывно располагается над горизонтом примерно около полугода, Луна — две недели, Венера — 4 месяца, Марс — 1 год, Юпитер — 6 лет, Сатурн — 15 лет (табл. 21.3.1). После полупериода видимости наступает такой же по длительности полупериод невидимости светила в данном районе. Видимость планет и Луны зависит также от их конфигурации (табл. 21.3.3 и 21.3.4).

По условиям освещенности в течение полярного дня (§ 22.2) могут наблюдаться Солнце, Луна, а с помощью оптических приборов — яркие планеты и звезды. В течение сумеречных дней и сумеречных ночей можно наблюдать Луну, яркие планеты и звезды. Наблюдения ярких планет и звезд в течение полярного дня и гражданских сумерек возможны только с помощью оптических инструментов, имеющих большое увеличение (например, таких, как теодолит с увеличением трубы $30\times$ и $40\times$).

Полярная ночь не является абсолютно темной; освещенность в этот период года обуславливается лунным светом, светом звезд и планет, полярными сияниями (их свет иногда превосходит свет Луны в полнолуние), а снежный покров является отличной отражающей поверхностью. В период полярной ночи можно наблюдать звезды, планеты и Луну.

Дискретность солнечных обсерваций в условиях полярного дня может быть около 3—4 ч. Наилучшие обсервации в Арктике получают по высотам 3—4 звезд.

Климатические условия Арктики ограничивают видимость светил и затрудняют измерения их высот с помощью секстанов.

В короткий и прохладный летний период астронавигационные наблюдения особенно осложняются облачностью, туманами и снежными зарядами. Горизонт часто бывает закрыт дымкой, наблюдается также арктическая мгла: затянутое слоистыми облаками небо сливается с заснеженным ледовым покровом и горизонт исчезает в сплошной белой пелене.

Появление «ложных» горизонтов является обычным; часто наблюдаются миражи.

В период полярной ночи условия для астронавигационных наблюдений более благоприятны, но низкие температуры приводят к обмерзанию оптических инструментов в ходе наблюдений, затрудняют работу наблюдателей.

При нахождении Солнца непосредственно вблизи горизонта оптическая труба секстана засвечивается его прямоидущими лучами и наблюдения осложняются.

Навигационный секстан в Арктике может быть использован для измерений высот светил над чистой водой (над видимым морским горизонтом), над линией горизонта, образованной ледяным покровом (если не препятствуют торосы) или кромкой льда. Точность исправления высот светил в Арктике понижается из-за частых аномалий астрономической и земной рефракции.

Секстаны с искусственным горизонтом при спокойных наблюдениях во льдах могут давать более точные результаты измерений, чем навигационный секстан. Наиболее точные наблюдения светил получаются с помощью теодолита, который выносят на лед или устанавливают на недвижущемся корабле. Теодолиты позволяют измерять зенитные расстояния, направления на светила и разности азимутов светил со средней погрешностью около 0,2—0,5'.

Поле зрения теодолитов малó (1—1,5°), поэтому они должны перед измерением устанавливаться по предвычисленному для счислимого места корабля горизонтальным координатам звезд и планет. При наблюдениях звезд, планет (а иногда и Луны) в период полярного дня и гражданских сумерек такое же предварительное наведение необходимо и при работе с секстанами.

Особенности обработки астронавигационных наблюдений, проводимых в Арктике (для широт более 70°). В высоких широтах карты в меркаторской проекции становятся неудобными в работе из-за больших искажений; заметно сказывается схождение географических меридианов и отклонения локсодромии от ортодромии; становятся большими методические поправки x и γ к *влп* (§ 23.8). Расчеты элементов линий положения производят обычным порядком (в географических координатах) с применением ПМК (или таблиц ТВА—57); при прокладке *влп* на карте учитывают методические поправки, либо построение линий положения производят на плане. В последнем случае методика получения обсервационных координат изменяется и в зависимости от широты района плавания сводится к следующему:

1. Построение линий положения на плане в прямоугольных координатах и переход к географическим координатам места корабля в широтах более 70°. Планом является изображение участка Земли на плоскости, при котором искажения не выходят за пределы графической точности построений. При выбранном масштабе 1 см = 1 миле (1') бланк Журнала астрономических вычислений формы Ш-8 можно считать планом местности,

расположенной на расстоянии до 30 миль от счислимой точки C (φ_c , λ_c), взятой в центре бланка и принятой для вычислений элементов n_1 , A_1 и n_2 , A_2 высотных линий положения (рис. 23.9.7). Приняв направление оси X совпадающим с направлением географического меридиана в точке C и направление оси Y совпадающим с дугой большого круга,

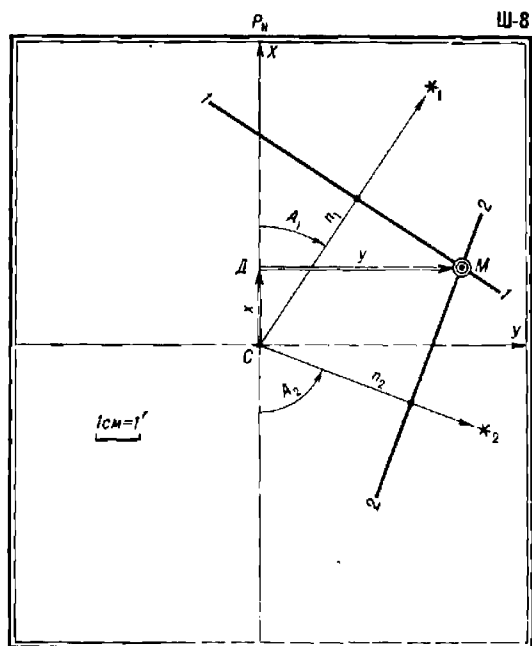


Рис. 23.9.7

перпендикулярной к меридиану в точке C , строят линии положения и получают наблюдаемое место M , положение которого на плане без каких-либо искажений определяется прямоугольными координатами x , y . Переход к географическим координатам осуществляется на ПМК по формулам:

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} \Delta \lambda_0 &= \operatorname{tg} y \sec (\varphi_c + x), \\ \lambda_0 &= \lambda_c + \Delta \lambda_0, \\ \operatorname{tg} \varphi_0 &= \operatorname{tg} (\varphi_c + x) \cos \Delta \lambda_0. \end{aligned} \right\} \quad (23.9.11)$$

В варианте вычислений по ТВА—57:

$$T(\Delta \lambda_0) = T(y) + S(\varphi_c + x),$$

$$\lambda_0 = \lambda_c + \Delta \lambda_0,$$

$$T(\varphi_0) = T(\varphi_c + x) - S(\Delta \lambda_0).$$

В широтах $70-80^\circ$ при переисах $n < 15$ миль вычисления можно выполнять по формулам:

$$\varphi_0 = \varphi_c + x; \quad \lambda_0 = \lambda_c + y \sec \varphi_0.$$

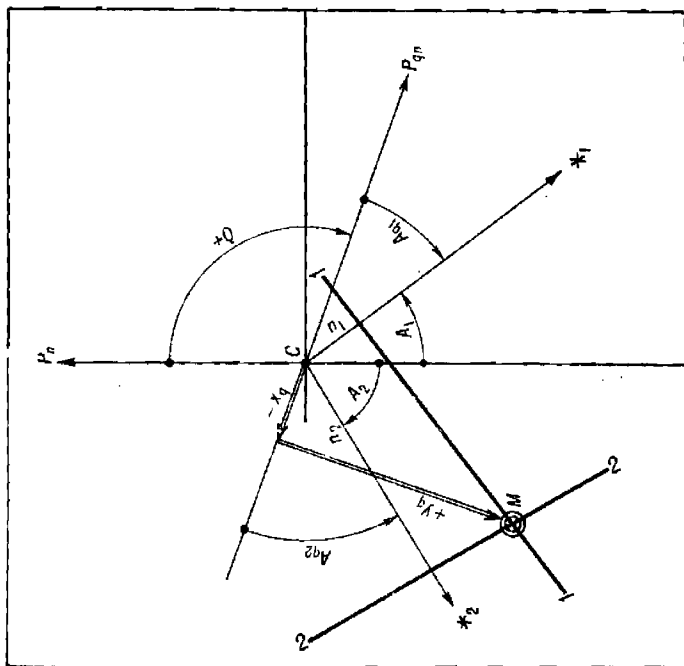
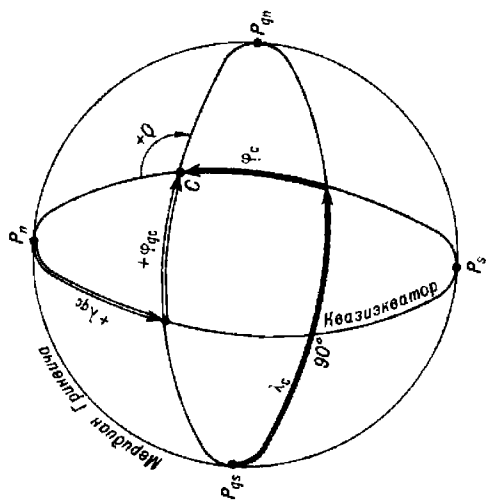


Рис. 23.9.8



2. Построение линий положения на плане в прямоугольных координатах с переходом к квазигеографическим координатам места корабля в широтах $\varphi > 80^\circ$ или в квазиширотах $\varphi_q < 10^\circ$. Направленне вертикальной оси бланка принимают за направление географического меридиана CP_n (рис. 23.9.8). Вычисляют угол Q перехода от географических направлений к квазинаправлениям по формуле

$$\operatorname{ctg} Q = \sin \varphi_c \operatorname{ctg} \lambda_c = -\sin \varphi_{qc} \operatorname{ctg} \lambda_{qc}$$

и наносят положение местного квазимеридиана на плане CP_{qn} . Если элементы линий положения были вычислены в географических координатах, то строят линии положения от меридиана CP_n по азимутам A_i

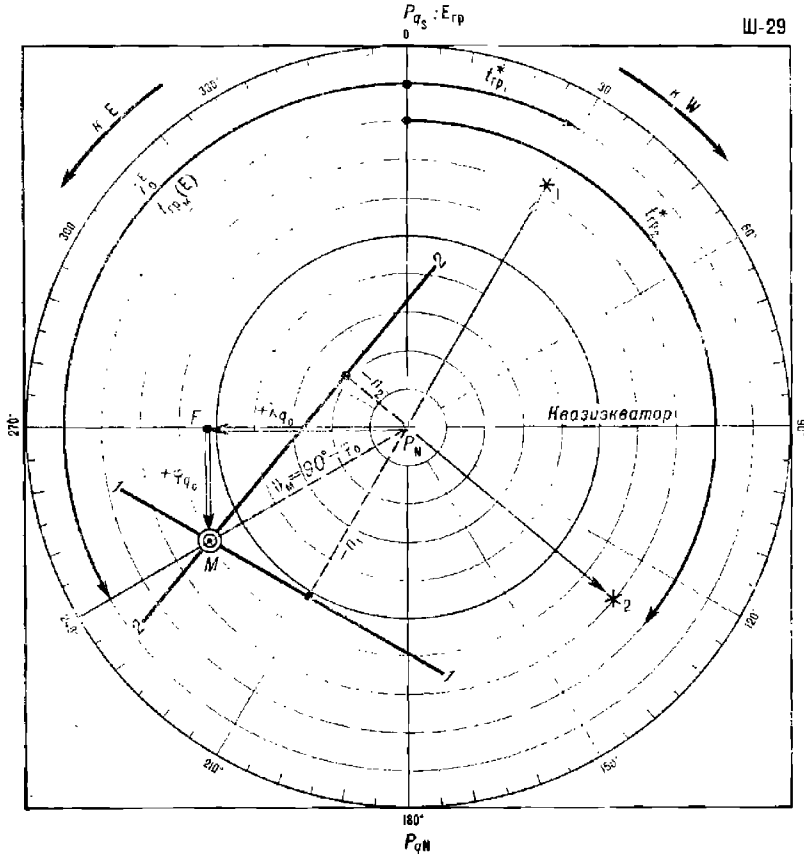


Рис. 23.9.9

и переносам l_i ; если же элементы линий положения вычислялись в квазикоординатах, то строят линии положения от квазимеридиана CP_{qn} по квазиазимутам A_{qi} и тем же переносам l_i . Получив наблюдаемое место M , находят его прямоугольные координаты x_q , y_q и квазикоординаты

$$\varphi_{q0} = \varphi_{qc} + x_q$$

$$\lambda_{q_0} = \lambda_{q_0} + y_q \sec \varphi_{q_0}$$

(по малости φ_{q_0} принято $x_q = \Delta\varphi_q$ и $y_q = \Delta\omega_q$).

При необходимости квазикоординаты φ_{q_0} , λ_{q_0} можно пересчитать в географические координаты:

$$\sin \varphi_0 = \cos \varphi_{q_0} \cos \lambda_{q_0};$$

$$\operatorname{tg} \lambda_0 = -\operatorname{ctg} \varphi_{q_0} \sin \lambda_{q_0}.$$

3. Построение линий положения на плане и полученные обсервованные координаты в непосредственной близости от Северного полюса (в широтах $\varphi > 89,5^\circ \text{ N}$). При плавании в непосредственной близости у полюса расчет элементов высотных линий положения выполняется упрощенно; построение удобно делать на маневренном планшете (рис. 23.9.9) в следующей последовательности:

а) в качестве расчетной точки принимают полюс P_N ;

б) вычисляют гринвичские часовые углы светил, которые в данном случае определяют направления на светила, отсчитанные от нулевого (гринвичского) меридиана $E_{\text{гр}}P_N$;

в) вычисляют склонения светил, которые теперь равны счислимым высотам светил; далее находят переносы $n = h - \delta$ и выполняют построение линий положения от меридиана $E_{\text{гр}}P_N$, принятого за гринвичский, и от точки полюса по элементам $t_{\text{гр}}^W$ и n_i ;

г) обсервованные координаты снимают непосредственно с планшета в географической системе координат

$$\varphi_0 = 90 - \delta_M, \quad \lambda_0 = t_{\text{гр}}^M,$$

в квазигеографической системе координат

$$\varphi_{q_0} = FM, \quad \lambda_{q_0} = P_N F,$$

так как расчетная точка P_N лежит на квазиэкваторе, а обсервованное место удалено от квазиэкватора не более чем на $30'$.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА КОРАБЛЯ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ ВЫСОТ И АЗИМУТОВ НЕБЕСНЫХ СВЕТИЛ

Измерения азимутов светил могут быть использованы для определения места корабля как в сочетании с измерениями высот светил, так и самостоятельно, при условии, что измерения азимутов выполняются примерно с такой же точностью, как и измерения высот секстаном. По измеренным азимутам можно вычислить обсервованные координаты корабля либо методом линий положения, либо прямыми аналитическими методами.

§ 24.1. АЗИМУТАЛЬНАЯ И РАЗНОСТНО-АЗИМУТАЛЬНАЯ ЛИНИИ ПОЛОЖЕНИЯ

Измеренному азимуту A соответствует на земном шаре изолиния $P_n M \sigma$, называемая изоазимутой (рис. 24.1.1, а). Текущие координаты места корабля M (φ ; λ), координаты географического места светила σ (δ ; t_p) и азимут A связывает уравнение изоазимуты:

$$\operatorname{ctg} A = \cos \varphi \operatorname{tg} \delta \operatorname{cosec} t_m - \sin \varphi \operatorname{ctg} t_m.$$

Малый отрезок изоазимуты в районе счислимого места C (рис. 24.1.1, б), совпадающий с прямой линией $I-I$, является азимутальной линией положения (алл), уравнение которой имеет вид:

$$\cos \tau_A \Delta \varphi + \sin \tau_A \Delta \psi = \frac{A - A_c}{g_A}, \quad (24.1.1)$$

где τ_A — угол, определяющий направление градиента азимута в счислимом месте;

A_c — счислимый азимут;

g_A — модуль градиента азимута, выражающийся формулой:

$$g_A = \sqrt{\operatorname{tg}^2 \varphi_c + \operatorname{tg}^2 h_c - 2 \operatorname{tg} \varphi_c \operatorname{tg} h_c \cos A_c}. \quad (24.1.2)$$

Последняя формула имеет простое геометрическое представление: для отыскания g_A достаточно от счислимого места C по направлению на повышенный полюс (при полукруговом счете азимута) отложить в произвольном масштабе натуральную величину $\operatorname{tg} \varphi_c = CD$, взятую из табл. 6 МТ—75, и по направлению линии счислимого азимута A_c отложить натуральную величину $\operatorname{tg} h_c$, выраженную отрезком CB . Величина модуля градиента азимута равна отрезку DB в принятом масштабе построения. Направление градиента g_A совпадает с направлением перпендикуляра, опущенного из счислимого места C на отрезок DB ; оно определяется углом $\tau_A = A_c + \gamma - 90^\circ$.

Угол γ между линией азимута светила $С\sigma$ и направлением *алл* представляет собой схождение меридианов точек $С$ и σ ; он может быть вычислен по формуле $\gamma = \text{arctg}(\sin \varphi \text{tg } t_M)$. При полукруговом счете азимута угол γ имеет всегда знак *плюс*. При круговом счете азимута в северных широтах $+\gamma$ соответствует восточному местному часовому углу, а $(-\gamma)$ — западному местному часовому углу полукругового счета, в южных широтах — наоборот.

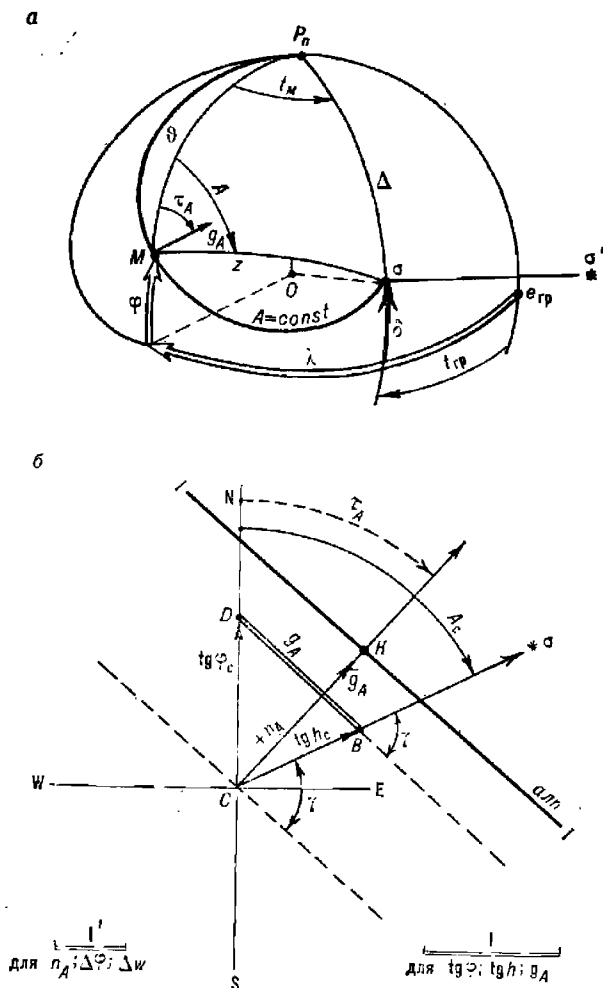


Рис. 24.1.1

Представление о величинах градиента g_A азимута дает табл. 24.1.1, из которой можно заключить, что точность *алл* повышается по мере увеличения высоты светила и приближения азимута (в полукруговом счете) к 180° , а также по мере увеличения широты места (см. формулы 24.1.2 и 24.1.4).

Таблица 24.1.1

Модуль градиента g_A азимута A (при входе по A_c, φ_c, h_c) и модуль градиента g_θ разности азимутов — сферического угла θ (при входе по θ вместо A_c , по h_c и по h_c , вместо φ_c)

A_c	φ_c	h_c						
		10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°
60°	10°	0,18	0,31	0,52	0,77	1,12	1,66	2,66
90		0,24	0,40	0,60	0,86	1,20	1,74	2,76
120		0,30	0,48	0,68	0,96	1,30	1,84	2,86
60	20	0,31	0,36	0,51	0,73	1,07	1,59	2,59
90		0,40	0,50	0,68	0,92	1,24	1,78	2,78
120		0,48	0,62	0,82	1,07	1,40	1,94	2,96
60	30	0,52	0,51	0,58	0,75	1,04	1,54	2,52
90		0,60	0,68	0,82	1,02	1,32	1,84	2,80
120		0,68	0,82	1,00	1,24	1,58	2,10	3,10
60	40	0,77	0,73	0,75	0,84	1,07	1,51	2,45
90		0,86	0,92	1,02	1,20	1,46	1,94	2,88
120		0,96	1,07	1,24	1,46	1,78	2,28	3,26
60	50	1,12	1,07	1,04	1,07	1,20	1,55	2,39
90		1,20	1,24	1,32	1,45	1,70	2,12	3,00
120		1,30	1,40	1,58	1,78	2,08	2,56	3,52
60	60	1,66	1,59	1,54	1,51	1,55	1,74	2,41
90		1,74	1,78	1,84	1,94	2,12	2,46	3,26
120		1,84	1,94	2,10	2,28	2,56	3,02	3,94
60	70	2,66	2,59	2,52	2,45	2,39	2,41	2,76
90		2,76	2,78	2,80	2,88	3,00	3,26	3,89
120		2,86	2,96	3,10	3,26	3,52	3,94	4,80

Для получения элементов *алп* необходимо выполнить следующие действия:

1. Измерить азимут светила и исправить его поправкой системы курсоуказания ΔK и инструментальной поправкой визирующего устройства s . Кроме того, при пеленговании края Солнца ввести поправку за его видимый полудиаметр R^\odot (из МАЕ), а при пеленговании края Луны — поправку $\Delta A^{\text{л}}$ за ее видимый полудиаметр (из табл. 15 МТ—75). Суммируя измеренный азимут OA с указанными поправками, найти истинный пеленг

$$ИП = OA + \Delta K + s \pm \Delta A^{\text{л}} \text{ (или } R^\odot \sec h \text{)}.$$

Если это необходимо, то привести азимут к месту корабля на заданный момент времени. Приведение выполняется путем ввода поправки ΔA_z за движение корабля по общей схеме табл. 23.4.1 (пп. 32—38) с использованием аргументов: V , $ИП = \tau_A$, $ПУ$, $\tau_{\text{н}}^m$ в строку п. 36 вместо $\omega_{\text{нз}}$ вписывают значение произведения $\Delta h_{\text{в}} g_A = \omega_{A_z}$ ($\Delta h_{\text{в}}$ выбирают из табл. 16 МТ—75 по V и $KУ = \tau_A - ПУ$). Величины g_A и τ_A находят

построением по правилам, изложенным выше, применительно к рис. 24.1.1, б. Искомая поправка ΔA_z находится по формуле $\Delta A_z = \Delta h_V g_A \tau_n$, где τ_n в минутах.

2. Вычисляют A_c и h_c на ПМК или по ТВА—57 (точность вычисления азимута по ВАС—58 недостаточна) согласно изложенному в § 23.6.

3. Вычисляют элементы n_A и τ_A азимутальной линии положения по формулам:

$$n_A = \frac{A - A_c}{g_A} \quad \text{и} \quad \tau_A = A_c \pm \gamma \pm 90. \quad (24.1.3)$$

При графическом решении задачи значение угла τ_A находится непосредственно при построении. При круговом счете A_c знак слагаемого 90° обратен знаку γ .

4. Строят *алл*, прокладывая от точки C перенос $(+n_A)$ по направлению τ_A или перенос $(-n_A)$ в противоположном направлении. На рис. 24.1.1, б показан $(+n_A) = CK$; *алл* перпендикулярна направлению градиента g_A в определяющей точке K .

Точность *алл* характеризуется ее СКП $m_{алл}$, определяемой по формуле

$$m_{алл} = \frac{\sqrt{m_A^2 + m_{A_c}^2}}{g_A}, \quad (24.1.4)$$

где m_A — СКП истинного азимута, обусловленная случайными и повторяющимися погрешностями измерений и их исправления необходимыми поправками;

m_{A_c} — СКП счислимго азимута.

Разность азимутов двух светил может быть измерена непосредственно или найдена косвенным путем посредством измерения в один и тот же момент времени пеленгов или курсовых углов этих светил. При неодновременных измерениях пеленгов или КУ потребуется их приведение не только к одному месту, но и к одному моменту измерений, что может значительно осложнить решение.

Разность азимутов $\Delta \Pi = \theta$, являясь астронавигационным параметром, обладает важным достоинством: в ней исключается погрешность поправки системы курсоуказания или погрешность установки измерительного устройства в диаметральной плоскости корабля $ОД$ (рис. 24.1.2, а), а также другие повторяющиеся погрешности измерений и исправления азимутов. Разность азимутов θ вычисляется по формуле

$$\theta = A_2 - A_1 = ИП_2 - ИП_1 \quad \text{или} \quad \theta = КУ_2 - КУ_1. \quad (24.1.5)$$

Разность азимутов θ является углом на сфере между вертикалами светил, которому соответствует сферическая изогона — изолиния, аналогичная изоазимуте (рис. 24.1.1, а), если принять одно из светил находящимся над точкой P_n . Разности-азимутальная линия положения (*ралл*) является малым отрезком сферической изогоны в районе счислимого места C , принимаемым совпадающим с прямой линией (рис. 24.1.2, б). Элементы *ралл* n_θ и τ_θ вычисляют по формулам:

$$n_\theta = \frac{\theta - \theta_c}{g_\theta}; \quad \tau_\theta = A_{c_1} + \arccos \frac{\sin \theta_c \operatorname{tg} h_{c_2}}{g_\theta}, \quad (24.1.6)$$

где θ_c — счислимая разность азимутов; $\theta_c' = A_{c_2} - A_{c_1}$ в момент измерения азимутов (курсовых углов);

g_θ — модуль градиента разности азимутов, определяемый графически (рис. 24.1.2, б) или по формуле

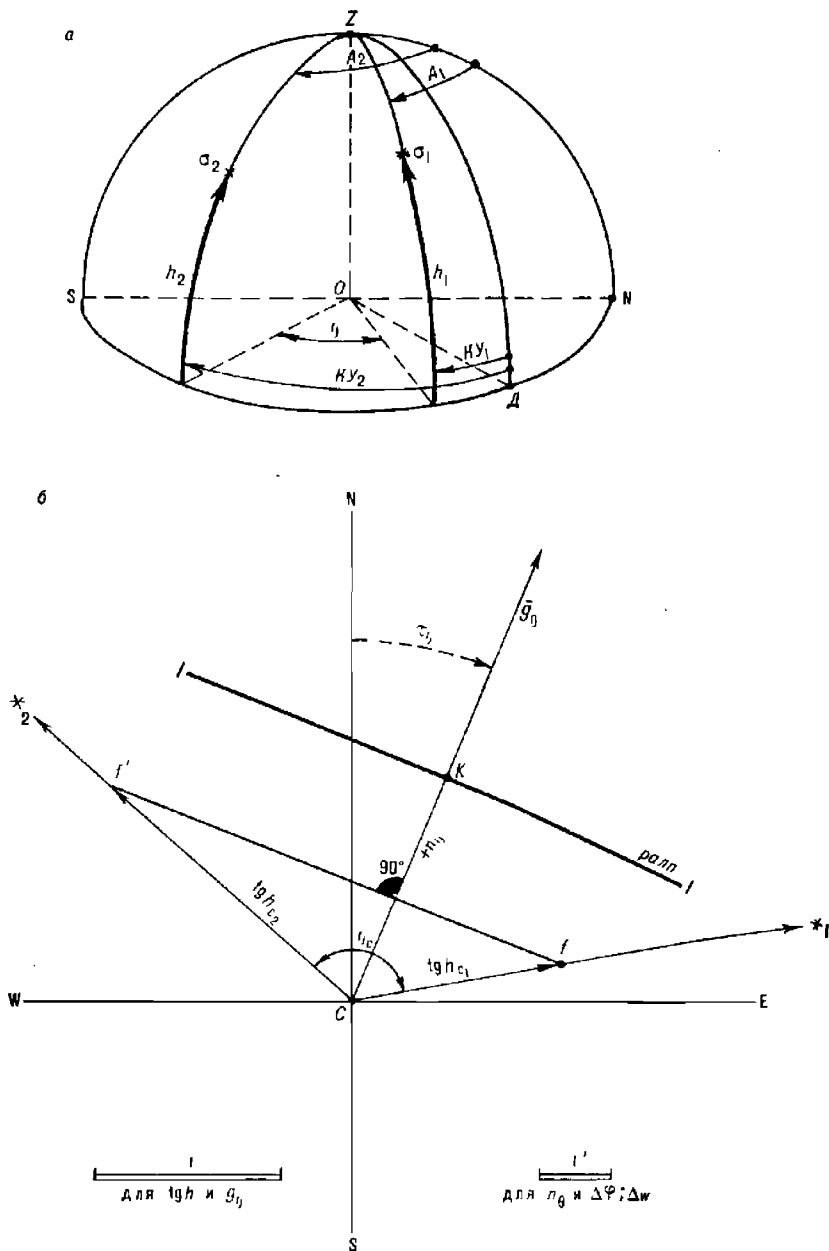


Рис. 24.1.2

$$g_0 = \sqrt{\operatorname{tg}^2 h_{c_1} + \operatorname{tg}^2 h_{c_2} - 2 \operatorname{tg} h_{c_1} \operatorname{tg} h_{c_2} \cos \theta},$$

где h_{c_2} — счислимая высота второго светила;

τ_0 — угол, определяющий направление градиента разности азимутов светил.

Величины g_0 и τ_0 следует находить по счислимым данным, выполняя в ходе подготовки к наблюдениям предвычисления величин h_{c_1} , A_{c_1} , h_{c_2} , A_{c_2} для счислимого места на назначенный момент наблюдений. Для графического отыскания g_0 и τ_0 по линии азимута A_{c_1} прокладывают величину $\operatorname{tg} h_{c_1}$ в произвольном масштабе, по линии азимута A_{c_2} прокладывают величину $\operatorname{tg} h_{c_2}$; модуль g_0 равен длине отрезка $f_1 f_2$ в принятом масштабе. Градиент \bar{g}_0 перпендикулярен отрезку $f_1 f_2$ и его направление определяется углом τ_0 . При построении *ралл* перенос $(+n_0)$ откладывают по направлению угла τ_0 , перенос $(-n_0)$ — в противоположном направлении. На рис. 24.1.2, б показан перенос $(+n_0) = CK$.

Уравнение *ралл* записывается в виде:

$$\cos \tau_0 \Delta \varphi + \sin \tau_0 \Delta \lambda = \frac{\theta - \theta_c}{g_0}. \quad (24.1.7)$$

Разностно-азимутальная линия положения при необходимости может быть приведена к заданному месту корабля либо графическим ее перемещением на карте (по направлению *ПУ* на величину пройденного между наблюдениями θ и другого астронавигационного параметра — расстояния S), либо введением поправки $\Delta \theta_z = \Delta h_V g_0 \tau_0''$. Величина Δh_V выбирается из табл. 16 МТ—75 по скорости движения корабля и величине τ_0 — *ПУ*. Схема вычислений $\Delta \theta_z$ дана в табл. 23.4.1, где вместо ω_{hZ} записывают $\omega_{\theta Z} = \Delta h_V g_0$.

Точность *ралл* характеризует ее СКП $m_{\text{лп}\theta}$, которая определяется по формулам:

— при прямом измерении разности азимутов

$$m_{\text{лп}\theta} = \frac{\sqrt{m_\theta^2 + 2m_{A_c}^2}}{g_0}; \quad (24.1.8)$$

— при измерении азимутов и косвенном вычислении по ним θ

$$m_{\text{лп}\theta} = \frac{\sqrt{2(m_A^2 + m_{A_c}^2)}}{g_0}. \quad (24.1.9)$$

В формулах (24.1.8) и (24.1.9) обозначения прежние. В обоих случаях при оценке m_θ повторяющиеся погрешности измерения и исправления азимутов опускаются как исключенные при вычислении θ .

§ 24.2. ВЫСОТНО-АЗИМУТАЛЬНЫЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА КОРАБЛЯ

Определение места корабля по одновременно измеренным высоте и азимуту светила привлекательно тем, что, наблюдая одно светило, можно сразу же получить обсервованное место M (рис. 24.2.1), которое получается на пересечении круга равных высот $I-I$ и изоазимуты $II-II$. Решение задачи можно получить как по методу линий положения, так и прямым аналитическим методом. При подготовке к наблюдениям необходимо для счислимого места на назначенный момент

обсервации предвычислить на ПМК или по ТВА—57 (§ 23.6) h_c и A_c светила, затем графическим методом (рис. 24.2.2) оценить величину g_A и угол пересечения $влп$ и $алп$ θ_{hA} ; для ориентировочных расчетов при этом можно пользоваться данными целеуказания по звездному глобусу. Далее нужно оценить точность обсервации по формуле

$$M_o = \operatorname{cosec} \theta_{hA} \sqrt{m_{влп}^2 + m_{алп}^2}, \quad (24.2.1)$$

где обозначения прежние.

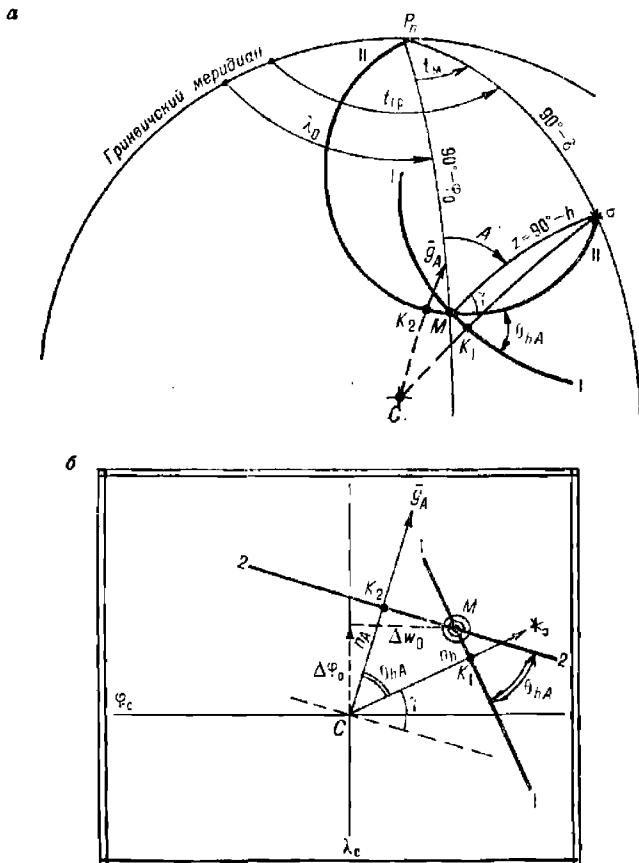


Рис. 24.2.1

Входящая в формулу (24.2.1) величина СКП $m_{влп}$ высотной линии положения вычисляется по формуле (22.1.1). Необходимо иметь в виду, что оптимальный для обсервации по двум разнородным линиям положения угол их пересечения $\theta_{hA} = 90^\circ$ может существовать только при расположении корабля на экваторе или при расположении светила в плоскости меридиана наблюдателя ($t_m = 0$). При $t_m = 90^\circ$ обсервация высотно-азимутальным методом вообще невозможна, так как $\theta_{hA} = 0$.

По измеренным h и A согласно § 23.6 и табл. 23.9.5 вычисляют элементы $влп$ и $алп$ соответственно по формулам:

$$n_h = h - h_c, \quad A_c; \quad n_A = \frac{A - A_c}{g_A}, \quad \tau_A.$$

Построение линий положения (рис. 24.2.1 и 24.2.2) и вычисление координат obserвованного места производятся обычным порядком:

$$\varphi_0 = \varphi_c + \Delta\varphi_0; \quad \lambda_0 = \lambda_c + \Delta\lambda_0 \sec \varphi.$$

Если h и A были измерены одновременно, то вычисления n_h и n_A выполняются на моменты T_1 и T_2 соответственно; приведение линий положения к одному месту наблюдений выполняется либо введением поправки Δh_z (или ΔA_z), либо графически переносом линии положения на карте.

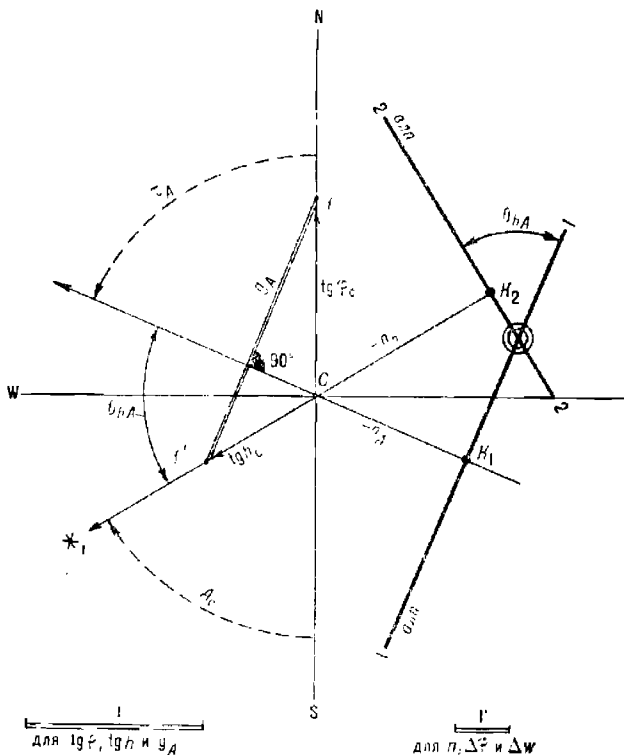


Рис. 24.2.2

Рассматриваемая задача имеет простое аналитическое решение, удобное при работе с ПК. Программа вычислений приведена в табл. 24.2.1, организация и порядок вычислений — в табл. 24.2.2. При вычислениях реализуется система формул:

$$\left. \begin{aligned} \psi &= \arctg \left(\frac{\cos HII}{\operatorname{tg} h} \right); \quad \delta = \delta_{00} + \frac{\delta_{24} - \delta_{00}}{24} T_{\text{ГР}}; \\ \varphi_0 + \psi &= \arcsin \left(\frac{\sin \delta \cos \psi}{\sin h} \right); \quad \varphi_0 = (\varphi_0 + \psi) - \psi; \\ t_m &= \arccos \left(\frac{\sin h}{\cos \varphi \cos \delta} - \operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta \right); \\ t_{\text{ГР}} &= t_{00} + \frac{t_{24} - t_{00} + 360}{24} T_{\text{ГР}}; \quad \lambda_0 = t_m - t_{\text{ГР}}. \end{aligned} \right\} \quad (24.2.2)$$

В формулах приняты те же обозначения и правила счета, что и в § 23.5.

Таблица 24.2.1

Программа для вычисления координат обсервованного места корабля по одновременно наблюдаемым высоте и азимуту светила

Адрес	Команда	Код	Адрес	Команда	Код	Адрес	Команда	Код
	В/О F ПРГ		30	ИПВ	6L	61	—	11
00	ИП6	66	31	+	10	62	ПА	4—
01	ИП4	64	32	ПВ	4L			
02	—	11				63	ИП1	61
03	ИПС	6C	33	ИП2	62	64	Fsin	1C
04	:	13	34	Fcos	1Г	65	ИПА	6—
05	ИПО	60	35	ИП1	61	66	Fcos	1Г
06	×	12	36	Ftg	1E	67	:	13
07	ИП4	64	37	:	13	68	ИП7	67
08	+	10	38	Farctg	1L	69	Fcos	1Г
09	П7	47	39	П9	49	70	:	13
			40	Fcos	1Г	71	ИПА	6—
10	ИП5	65	41	ИП7	67	72	Ftg	1E
11	ИП3	63	42	Fsin	1C	73	ИП7	67
12	—	11	43	×	12	74	Ftg	1E
13	ИПД	6Г	44	ИП1	61	75	×	12
14	+	10	45	Fsin	1C	76	—	11
15	ИПС	6C	46	:	13	77	Farccos	1—
16	:	13	47	Farsin	19	78	П9	49
17	ИПО	60	48	ПА	4—	79	ИП2	62
18	×	12				80	Fsin	1C
19	ИП3	63	49	ИПВ	6L	81	Fx>0	59
20	+	10	50	Fcos	1Г	82	87	87
21	ИП9	69	51	Fx<0	5C	83	ИПД	6Г
22	+	10	52	59	59	84	ИП9	69
23	ИПД	6Г	53	ИПД	6Г	85	—	11
24	—	11	54	2	02	86	П9	49
25	Fx<0	5C	55	:	13			
26	23	23	56	ИПА	6—	87	ИП9	69
27	ИПД	6Г	57	—	11	88	ИП8	68
28	+	10	58	ПА	4—	89	—	11
29	П8	48				90	ПВ	4L
			59	ИПА	6—			
			60	ИП9	69	91	ИПА	6—
						92	С/П	50
							F АВТ	

При работе с непрограммируемым МК обсервованные поправки к считанным координатам можно получить по формулам вида (23.9.10), переписав их применительно к уравнению *влл* вида (23.9.9) и к уравнению *алл* вида (24.1.1).

Таблица 24.2.2

Аргументы, константы	Адрес	Информация (с решением примера)		
		исходная	промежуточная	итоговая
T_{cp}	П0	14,164167		
h	П1	37,201667		
$ИП$	П2	331,10667		
$t_{00}; t_{00}^{\wedge}$	П3	180,69167		
$\delta_{00}; \delta^*$	П4	14,743333		
$t_{24}; t_{24}^{\wedge}$	П5	180,72333		
$\delta_{24}; \delta^*$	П6	15,048333		
	П7	0	$\delta = 14,923336$	
	П8	0	$t_{cp} = 33,17285$	
τ^*	П9	0	$\psi = 49,074315$	
	ПА	0		$\varphi_0 = -32,872733$
λ_c	ПВ	-9,66667		$\lambda_0 = -9,701327$
24	ПС	24		
360	ПД	360		

Примечания: 1. Северная широта, северное склонение, восточная долгота — положительны. Южная широта, южное склонение, западная долгота — отрицательны.
2. При $\theta_{\text{вл}} < 40^\circ$ применение способа не рекомендуется (рис. 24.2.2). Оценка точности места выполняется по формуле (24.2.1).

Пример 24.2.1. 30 апреля $T_c = 13^\circ 10'$ ($N_c = 1$ W). Счислимое место: $\varphi_c = 32^\circ 50' S$; $\lambda_c = 9^\circ 40' W$. После измерения и исправления результатов получены: $T_{cp} = 14^\circ 09' 51''$; $h^{\odot} = 37^\circ 12,1'$; $ИП^{\odot} = 331^\circ 06,4'$.

Вычислить observed координаты места корабля.

Решение. Порядок решения приведен в табл. 24.2.2. Полученные значения observed координат места корабля: $\varphi_0 = 32^\circ 52,4' S$; $\lambda_0 = 9^\circ 42,1' W$.

§ 24.3. ВЫСОТНО-РАЗНОСТНО-АЗИМУТАЛЬНЫЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА КОРАБЛЯ

Если в один и тот же момент времени были получены (рис. 24.1.2, а):
для светила σ_1 высота h_1 и азимут A_1 (или KV_1),
для светила σ_2 высота h_2 и азимут A_2 (или KV_2),
то задача определения observed координат корабля в принципе сводится к отысканию точки пересечения сферической гиперболы I-I, отвечающей параметру $h_2 - h_1 = \Delta h$, и сферической изогоны II-II, отвечающей параметру $\theta = A_2 - A_1$ (рис. 24.3.1). Практически решение выполняется одним из следующих методов:

1. Отыскивается точка пересечения M разностно-высотной линии положения (*рвлн*) I-I и разностно-азимутальной линии положения (*ралп*) 2-2, как это показано на рис. 24.3.1, б. Элементами линий положения соответственно являются:

$$n_{\Delta h} = \frac{\Delta h - (h_{c_2} - h_{c_1})}{2 \sin \frac{A_2 - A_1}{2}}, \quad \tau_{\Delta h} = \frac{A_1 + A_2}{2} + 90;$$

$$n_{\theta} = \frac{\theta - \theta_c}{\xi_{\theta}}, \quad \tau_{\theta};$$

порядок их определения приведен в § 23.6 и 24.1.

2. Отыскиваются obserвованные места высотно-азимутальным методом (см. § 24.2) по h_1, A_1 и по h_2, A_2 . Затем оценивается их точность и вычисляются веса obserвованных мест; с учетом весов находится вероятнейшее место, лежащее на прямой между исходными obserвованными точками.

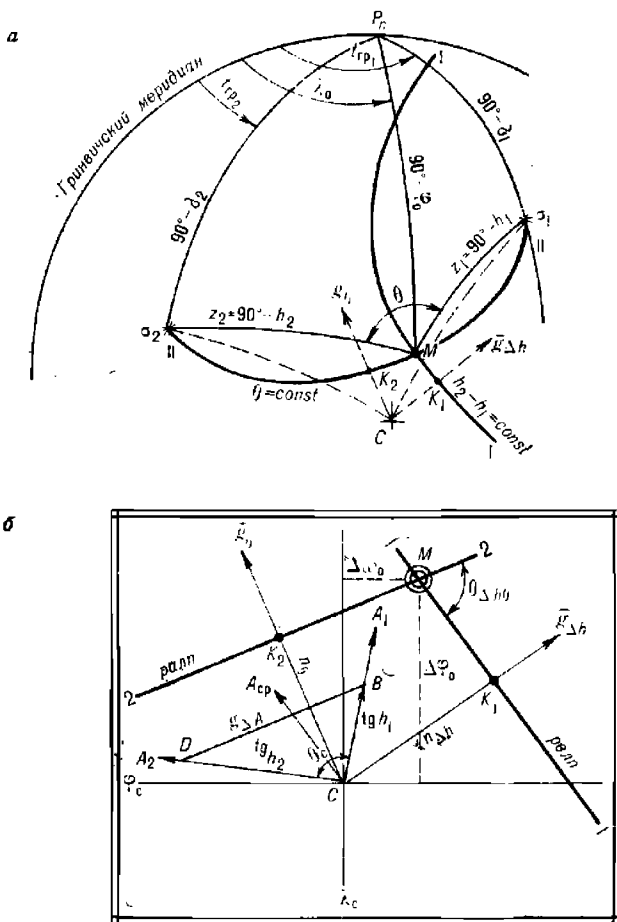


Рис. 24.3.1

3. Отыскивается вероятнейшее место в треугольнике погрешностей, образованном *ралп* 1-1 и двумя высотными линиями положения 2-2 и 3-3 (рис. 24.3.2). Для этого вычисляют веса линий положения

$$P_1 = P_{\text{ралп}} = \frac{g_0^2}{m_0^2}; \quad P_2 = P_3 = \frac{1}{m_{\text{в.лп}}^2}$$

и показанным на рисунке построением полигона весовых поправок $p_1 u_1, p_2 u_2, p_3 u_3$ последовательными приближениями находят obserвованное место M (в котором указанный полигон оказывается замкнутым). Этот вариант можно свести к первому, заменив обычным построением две *влп* на «биссектрису» $23-23$ и получив место в точке M' .

Для оценки точности наблюдения по *рвлп* и *ралп* используют формулу

$$M_{\Delta h}^2 = \operatorname{cosec} \theta_{\Delta h} \sqrt{m_{\text{рвлп}}^2 + m_{\text{ралп}}^2} \quad (24.3.1)$$

где $\theta_{\Delta h}$ — угол пересечения разностно-высотной и разностно-азимутальной линий положения.

Входящая в эту формулу СКП разностно-высотной линии положения находится с помощью табл. 23.8.1, а СКП *ралп* — по формуле (24.1.8) или (24.1.9); угол $\theta_{\Delta h}$ оценивается по результатам построения (рис. 24.3.1, б).

При решении задачи вторым методом можно воспользоваться табл. 23.6.6 (входя в нее по отношению СКП исходных наблюдаемых точек), а для оценки точности результата — табл. 23.9.1.

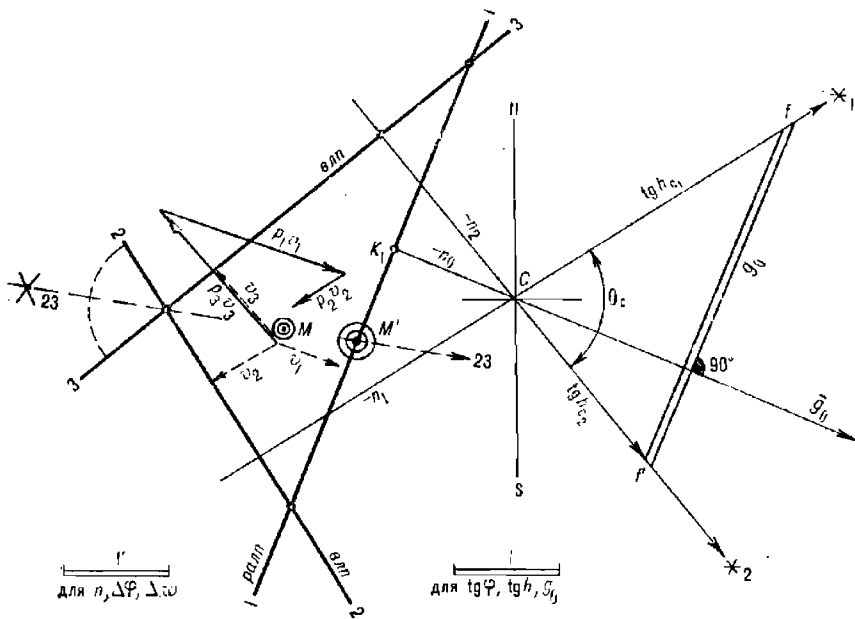


Рис. 24.3.2

В случае решения задачи первым методом на ПМК наблюдаемые поправки $\Delta\varphi_0$ и $\Delta\lambda_0$ к числимым координатам можно получить по формулам вида (23.9.10), записав их для решения системы уравнений *рвлп* и *ралп* в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} \cos \tau_{\Delta h} \Delta\varphi_0 + \sin \tau_{\Delta h} \Delta\omega_0 &= n_{\Delta h}, \\ \cos \tau_{\theta} \Delta\varphi_0 + \sin \tau_{\theta} \Delta\omega_0 &= n_{\theta}. \end{aligned} \right\} \quad (24.3.2)$$

При подготовке к наблюдению необходимо выполнить предвычисления высот и азимутов для числимого места на запланированный момент наблюдений и графическим методом (рис. 24.3.1 и 24.3.2) оценить геометрические условия наблюдения, а затем ее ожидаемую СКП. Если высоты и азимуты были измерены одновременно, то их необходимо будет привести к одному моменту и к одному месту наблюдений с использованием табл. 16, 17, 18 МТ—75 или ПМК.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА КОРАБЛЯ ПО СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

§ 25.1. НАЗНАЧЕНИЕ И ПРИНЦИП РАБОТЫ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Спутниковая (космическая) навигационная система (СНС) предназначена для высокоточного определения места корабля в любом районе Мирового океана, в любое время суток, при любых гидрометеорологических условиях с дискретностью, обеспечивающей навигационную безопасность мореплавания. Частые и точные наблюдения по СНС позволяют определять путь корабля, а также находить элементы течения в районе плавания. Специализированная вычислительная машина (СЦВМ), входящая в состав размещаемой на корабле спутниковой навигационной аппаратуры (СНА), ведет счисление пути корабля и контролирует его наблюдениями по СНС; с ее помощью решается ряд других навигационных задач. В СНС сочетаются достоинства астронавигационных способов (глобальность, независимость точности наблюдения от времени суток и от расстояния корабля до берега, помехоустойчивость) и радионавигационных способов (всепогодность, высокая точность измерений навигационных параметров, высокий уровень автоматизации решения задачи определения места). Эта система является наиболее точным и универсальным комплексным средством современной навигации, имеющим к тому же хорошую перспективу дальнейшего развития.

Спутниковая навигационная система (рис. 25.1.1) включает в себя:

— не менее трех-четырех искусственных спутников Земли (ИСЗ), оснащенных высокоточной радионавигационной аппаратурой и обращающихся по выгодно расположенным в пространстве орбитам;

— командно-измерительный комплекс (КИК), размещенный на берегу и обеспечивающий работу ИСЗ, а также функционирование СНС в целом. В состав КИК входят: несколько наземных измерительных пунктов (НИП), командно-измерительный пункт (КИП), вычислительный центр и пункт управления (ПУ);

— спутниковую навигационную аппаратуру (СНА), размещаемую на корабле. Она состоит из приемной антенны, радиоприемника, СЦВМ (или приемовычислителя), пульта управления, регистрирующего прибора и прибора питания. К СНА могут быть подключены печатающее устройство для документирования и видеопрокладчик.

При пролете спутника в зоне видимости НИП и КИП (виток 1) производятся траекторные измерения, на основании которых вырабатывается эфемеридная информация (ЭИ) об элементах движения ИСЗ. Эфемеридная информация и информация о точном времени от ПУ через КИП передаются на борт ИСЗ, где записываются запоминающим устройством, а далее передаются в форме специальных радиосигналов на корабль.

При пролете ИСЗ в зоне видимости корабля (например, на витке 2) СНА принимает от ИСЗ навигационный сигнал f_0 , позволяющий изменить навигационные параметры, эфемеридную информацию и информацию о времени. Далее в СЦВМ СНА на основе измеренных навигационных параметров, информации о движении ИСЗ, поступившей от него, считанных координат корабля, курса и скорости корабля, высоты

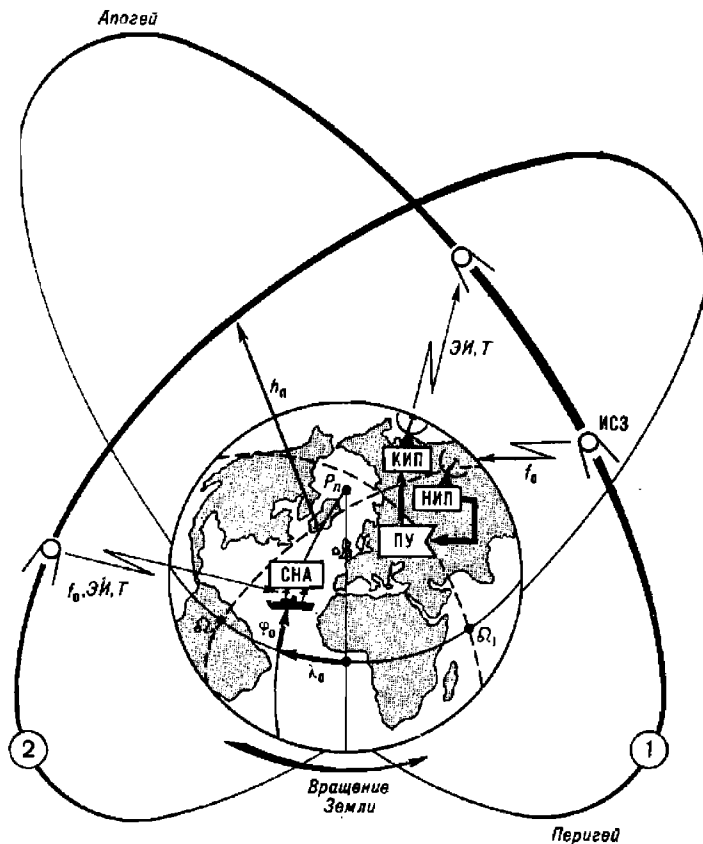


Рис. 25.1.1

антенны СНА вычисляются наблюдаемые координаты места корабля. В результате вычислений индицируются момент наблюдения, наблюдаемые широта и долгота, элементы сноса; по запросу могут быть показаны характеристики качества наблюдения и ряд других сведений.

В настоящее время действуют СНС «Цикада» (СССР) и СНС «Транзит» (США); перспективными являются СНС ГЛОНАСС (СССР) и СНС НАВСТАР (США).

§ 25.2. ОРБИТЫ ИСКУССТВЕННЫХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ НА ОРБИТЕ

При наблюдении по СНС место корабля определяется относительно местоположения ИСЗ на орбите в моменты измерений навигационных

параметров, которое вычисляется в СЦМ на основе поступившей эфемеридной информации.

Движение ИСЗ происходит в поле тяготения и в общих чертах подчиняется тем же законам Кеплера, что и движение планет:

— орбитой ИСЗ в общем случае является эллипс, в одном из фокусов которого находится Земля; если возмущения в поле тяготения отсутствуют, то плоскость орбиты неподвижна в пространстве, она проходит через центр массы Земли;

— движение ИСЗ по орбите происходит неравномерно; в апогее скорость его меньше, а в перигее — больше во столько раз, во сколько перигейное расстояние меньше апогейного;

— период обращения ИСЗ по орбите увеличивается по мере увеличения высоты его полета h_n над поверхностью Земли (высоты орбиты).

Таблица 25.2.1

Элементы орбит основных типов спутников,
запущенных в народнохозяйственных целях

Тип	Назначение	Элементы орбиты			
		Накло- ние	Период	Высота полета, км	
				в перигее	в апогее
«Космос-1000»	Навигация	83°	105,0 мин	978	1 024
«Космос-1447»	Поиск и спасение	83	104,9 мин	975	1 025
«Молния»	Связь, телевидение	63	12,30 ч	464	40 801
«Радуга»	Связь, телевидение	0,4	23,95 ч	36 590	36 590
«Горизонт»	Связь, телевидение	0,8	24,55 ч	36 515	36 515
«Экран»	Телевидение	0,4	23,23 ч	35 636	35 636
«Метеор-2»	Метеорология	81,2	102,5 мин	868	904
«Космос-1413—1415»	Навигация	65	11 ч 16 мин	19 100	

Орбита спутника выбирается в зависимости от его целевого назначения (табл. 25.2.1). Для навигационных и спасательных целей в настоящее время ИСЗ запускают на низкие, почти круговые орбиты при высоте полета около 1000 км, что обеспечивает оптимальные условия для радиоизмерений и приемлемую дискретность обсерваций во всех районах Земли при вполне достаточном времени существования спутника и точном вычислении его координат. Спутники перспективных СНС выводятся группами на орбиты, имеющие высоту 19 000—20 000 км.

Зависимости скорости ИСЗ V_o на орбите, периода обращения T_o , количества совершаемых в течение суток оборотов по орбите N_o , угла поворота Земли за период обращения ИСЗ $\Delta\lambda_\Omega$ (смещение вдоль экватора восходящего узла Ω орбиты), от высоты полета h_n показаны на рис. 25.2.1. Для ИСЗ типа „Космос-1000“ получается $V_o = 7,3$ км/с, $T_o = 105$ мин, $N_o = 13,7$, $\Delta\lambda_\Omega = 26,2^\circ$, если ввиду малой разницы высоты его полета в перигее и апогее принять орбиту круговой с $h_n = 1000$ км.

При высоте полета $h_n = 35 900$ км период обращения спутника становится равным периоду вращения Земли (звездным суткам) $T_o = 23^h 56^m 04,1^s$; такой спутник называют суточным. Если суточный

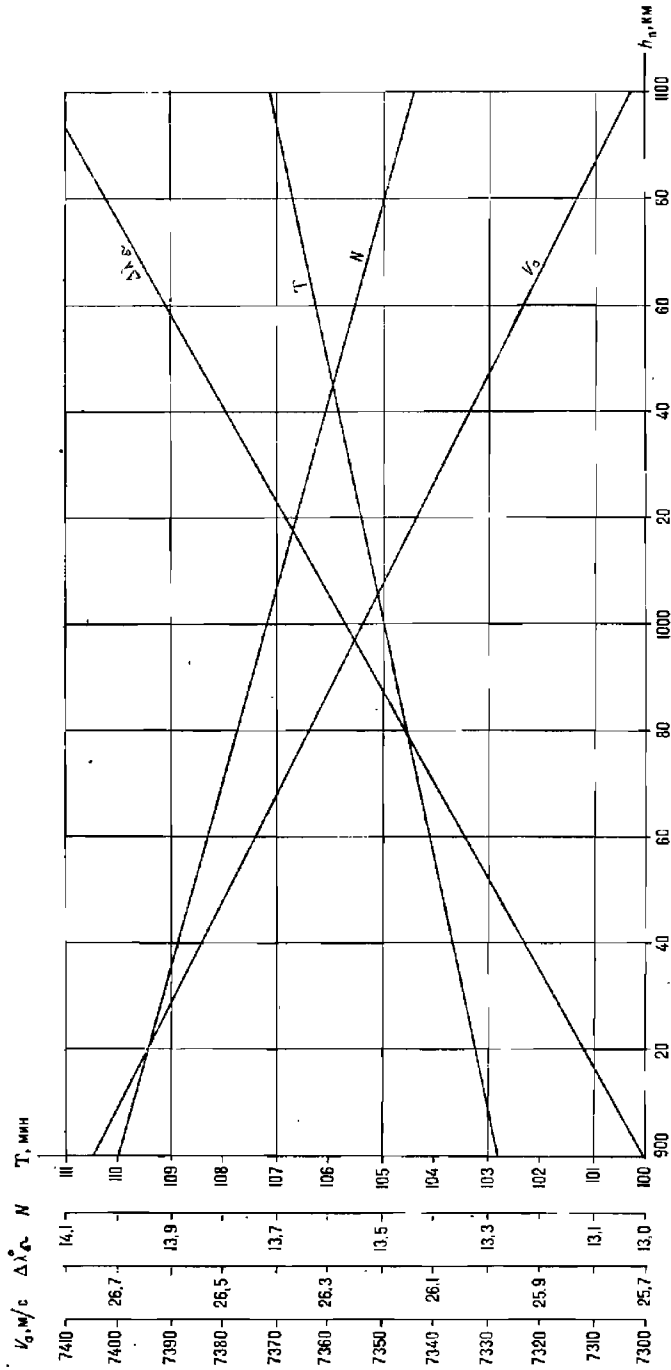


Рис. 25.2.1

спутник запущен в плоскости земного экватора и в сторону вращения Земли, то он называется стационарным, так как располагается постоянно над одной и той же точкой земной поверхности. К стационарным близки спутники типа «Радуга», «Горизонт», «Экран».

Спутник, совершающий в течение звездных суток целое число оборотов по орбите, будет регулярно появляться над одним и тем же районом Земли в одно и то же местное время; он называется периодическим, или синхронным.

В зависимости от направления вектора скорости \vec{V} , ИСЗ при его выводе на орбиту положение орбиты в пространстве может быть различным. Для описания орбит ИСЗ и движения ИСЗ по орбите применяется та же методика, что и при изучении движения тел Солнечной системы: из центра Земли описывается вспомогательная небесная сфера (рис. 25.2.2) и взамен реальной эллиптической орбиты АП рассматривается видимая орбита ИСЗ на сфере — большой круг $\Omega\sigma'\Omega$, образованный при сечении сферы плоскостью реальной орбиты.

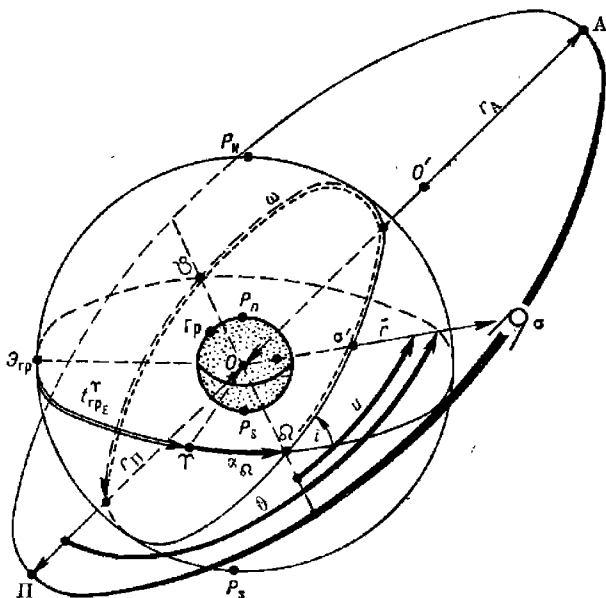


Рис. 25.2.2

На пересечении плоскости экватора и плоскости видимой орбиты ИСЗ образуется линия узлов $\Omega\zeta$. Точка на этой линии, в которой ИСЗ переходит из южного полушария в северное, именуется восходящим узлом (обозначается знаком Ω); положение узла в плоскости экватора указывают долготой Ω восходящего узла, т. е. углом при центре сферы в плоскости экватора между избранным начальным направлением и направлением на восходящий узел.

Если в качестве начала для отсчета долготы принята плоскость гринвичского меридиана $P_N\mathcal{E}_{гр}P_S$, то положение узла непосредственно определяется его географической долготой ($\Omega = \lambda_{\Omega}$).

Если в качестве начального направления принято направление на точку Овна Υ , то долгота узла определяется как его прямое восхождение ($\Omega = \alpha_{\Omega}$). Положение точки Овна, в свою очередь, определяется, как обычно в морской астронавигации, ее гринвичским часовым углом $t_{\Upsilon}^{\text{Гр}}$, поэтому $\lambda_{\Omega} = t_{\Upsilon}^{\text{Гр}} + \alpha_{\Omega}$.

Положение плоскости орбиты ИСЗ относительно плоскости земного экватора указывает наклонение орбиты i — угол между плоскостью экватора и плоскостью видимой орбиты ИСЗ, который отсчитывается при точке восходящего узла от экватора против хода часовой стрелки в пределах $0-180^{\circ}$.

При $i=0^{\circ}$ орбита именуется экваториальной; при $i=90^{\circ}$ орбиту называют полярной, при $i \neq 0^{\circ}$ или $i \neq 90^{\circ}$ — наклонной. Если $0^{\circ} < i < 90^{\circ}$, то ИСЗ движется с западного направления к восточному и его орбиту называют прямой наклонной (прямой промежуточной); если $90^{\circ} < i < 180^{\circ}$, то ИСЗ движется с восточного направления к западному по обратной наклонной (обратной промежуточной) орбите. В случае поворота орбиты на $i > 180^{\circ}$ восходящий и нисходящий узлы меняются местами.

Положение орбитального эллипса в плоскости орбиты определяется по направлению на точку перигея Π . Аргументом широты ω перигея (аргументом широты) называется угол между направлением на восходящий узел и направлением на точку перигея, измеренный в плоскости орбиты от 0 до 360° в сторону движения ИСЗ.

Размеры орбитального эллипса и его форма определяются:

— большой полуосью a , вычисляемой по формуле $a = 0,5 (r_A + r_{\Pi})$; здесь расстояние точки апогея $r_A = R_{\oplus} + h_A$ и расстояние точки перигея $r_{\Pi} = R_{\oplus} + h_{\Pi}$ отсчитаны от притягивающего центра, расположенного в одном из фокусов эллипса O (R_{\oplus} — радиус Земли);

— эксцентриситетом орбиты e , характеризующим сжатие эллипса и равным отношению фокусного расстояния эллипса OO' (рис. 25.2.3) к большой полуоси a :

$$e = \frac{r_A - r_{\Pi}}{2a} = \frac{h_A - h_{\Pi}}{2a}.$$

Элементы Ω , i , ω , a , e полностью характеризуют размеры орбитального эллипса и его ориентировку в пространстве. Для круговой орбиты достаточно знать Ω , i и радиус круговой орбиты $r_{\text{кр}} = R_{\oplus} + h_{\text{кр}}$.

Период обращения T_{σ} ИСЗ (в секундах) по орбитальному эллипсу вычисляется по формуле

$$T_{\sigma} = 2\pi\sqrt{a^3 K^{-1}},$$

где $K = 3,986 \cdot 10^8 \text{ км}^3/\text{с}^2$ — гравитационный потенциал Земли, равный произведению гравитационной постоянной на массу Земли. Этот период называют сидерическим (звездным), так как в течение него ИСЗ совершает один оборот на фоне созвездий звездного неба. Период обращения $T_{\text{к}}$ ИСЗ, наблюдаемого с поверхности Земли, несколько отличается от сидерического и равен (в минутах):

$$T_{\text{к}} = T_{\sigma} \frac{1}{\left(1 - \frac{T_{\sigma}}{24 \cdot 60} \cos i\right)}.$$

Для вычисления сидерического периода обращения ИСЗ по круговой орбите принимают $a = r_{\text{кр}} = R_{\oplus} + h_{\text{кр}}$.

Место ИСЗ на орбите в какой-либо заданный момент T будет определено, если известна эпоха — начальный момент его движения и пройденное после этого начального момента угловое расстояние по орбите.

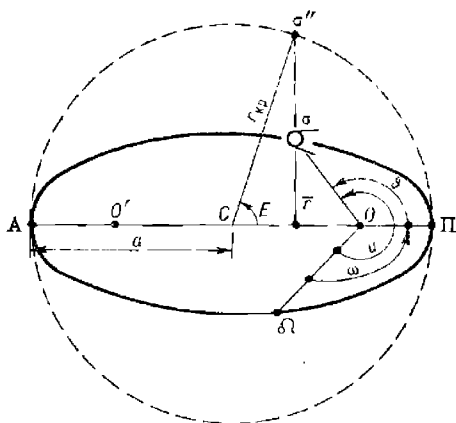


Рис. 25.2.3

В качестве эпохи может быть принят либо момент T_{Ω} прохождения ИСЗ через восходящий узел, либо момент T_{Π} прохождения ИСЗ через перигей, от которых будет отсчитываться интервал времени движения $T - T_{\Omega}$ (или $T - T_{\Pi}$).

Положение ИСЗ на орбите относительно восходящего узла определяется аргументом широты (u) — углом между линией узлов и радиусом-вектором \vec{r} ИСЗ, отсчитываемым от восходящего узла в плоскости орбиты по направлению движения ИСЗ от θ до 360° .

Для круговой орбиты $u = \frac{360}{T_s} (T - T_{\Omega})$. Для определения положения ИСЗ на круговой орбите достаточно знать Ω , i , T_{Ω} , T_s .

Положение ИСЗ на орбитальном эллипсе относительно точки перигея (рис. 25.2.2 и 25.2.3) определяется истинной аномалией ϕ — углом между направлением OP из притягивающего центра O в перигей и радиусом-вектором \vec{r} ИСЗ, отсчитываемым в сторону движения ИСЗ от 0 до 360° . В этом случае аргумент широты ИСЗ равен $u = \omega + \phi$.

Для вычисления истинной аномалии ϕ орбитальный эллипс условно заменяют круговой орбитой радиуса $a = r_{кр}$ и вместо реального ИСЗ рассматривают условный спутник σ'' , движущийся по круговой орбите с постоянной угловой скоростью n_s , равной средней скорости реального ИСЗ («среднему движению»):

$$n_s = \frac{2\pi}{T_s} = \sqrt{Ka^{-3}},$$

где T_s — период обращения реального ИСЗ, а остальные обозначения прежние.

Решение уравнения Кеплера $E = n_s (T - T_{\Pi}) + e \sin E$ позволяет методом последовательных приближений найти эксцентрическую аномалию E (рис. 25.2.3) и затем истинную аномалию:

$$\phi = 2 \operatorname{arctg} \left(\operatorname{tg} \frac{E}{2} \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \right).$$

Таким образом, зная элементы орбитального эллипса Ω , i , a , e и параметры движения n , T_{Ω} (или T_{II}), можно определить положение ИСЗ на любой необходимый момент T . Указанные выше элементы и параметры называют *эфемеридной информацией второго вида (ЭИ-II)*. ЭИ-II определяется на основе траекторных измерений движения ИСЗ и используется в СЦВМ США для решения задачи отображения обстановки наблюдений ИСЗ и навигационной задачи.

Описание невозмущенного движения ИСЗ, приведенное выше, основывалось на предположении, что Земля является шаром радиуса $R_{\oplus} = 6371$ км (объем которого равен объему Земли) и ИСЗ движется только под влиянием притяжения Земли, ускорение которого является центральным, что отсутствует сопротивление атмосферы и др. В действительности же на движение ИСЗ оказывают влияние возмущающие факторы: нецентральность поля сил земного притяжения из-за отклонения формы Земли от шара и неравномерного распределения масс внутри Земли; притяжение Солнца и планет; аэродинамические силы, возникающие при движении ИСЗ в атмосфере, и др.

Вследствие влияния возмущающих сил действительная орбита ИСЗ является не эллипсом или окружностью, а сложной перемещающейся в пространстве кривой. Однако это сложное движение можно рассматривать как совокупность элементарных движений: элементарную дугу возмущенной орбиты можно заменить соприкасающейся (оскулирующей) с ней дугой условной невозмущенной орбиты. Иначе говоря, движение ИСЗ по возмущенной орбите можно рассматривать как последовательное движение по элементарным дугам нескольких соприкасающихся с ней оскулирующих орбит. Элементы таких орбит называют оскулирующими элементами; они и передаются КИП на ИСЗ, а затем в США.

Для функционирования СНС важен учет изменения положения орбит ИСЗ в пространстве с течением времени под влиянием возмущающих факторов. Эти изменения проявляются главным образом в непрерывном повороте плоскости орбиты относительно оси вращения Земли (прецессия линии узлов) и в повороте линии апсид АП (смещение точки перигея П) относительно восходящего узла. Величина рассматриваемых изменений зависит от высоты полета ИСЗ, наклона орбиты и других элементов.

Прецессия линии узлов с течением времени может привести к значительному изменению взаимного расположения орбит нескольких ИСЗ, образующих СНС. Эта прецессия равна нулю только при $i = 90^\circ$; при $h_n = 1000$ км и $i = 83^\circ$ она составляет $\Delta \alpha_{\Omega} = 0,73^\circ/\text{сут}$ в сторону запада (при $i > 90^\circ$ прецессия линии узлов направлена на восток).

Даже при очень близких к 90° углах i в случаях неодинаковой по величине и по направлению прецессии плоскости орбит двух ИСЗ могут расположиться настолько близко, что эти ИСЗ будут создавать взаимные помехи в работе. В результате резко ухудшится точность и увеличится дискретность обсерваций по СНС.

Угол поворота линии апсид равен нулю только при $i = 63,5^\circ$, что учитывается, например, при запуске спутников типа «Молния» и «Космос-1413—1415».

При современной изученности поля земного тяготения и других факторов, влияющих на полет ИСЗ, его место на момент измерения навигационного параметра определяется с погрешностью порядка 10—20 м вдоль орбиты, около 3—10 м — поперек орбиты и по высоте полета.

Синхронизация времени СНС с точным временем не хуже $0,0002^c$ для скорости ИСЗ $7,3$ км/с дает погрешность определения его места на орбите не более $1,5$ м.

§ 25.3. ПРИНЦИП ОТОБРАЖЕНИЯ ОБСТАНОВКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УСЛОВИЙ НАБЛЮДЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ

Видимая орбита ИСЗ, отображающая его перемещение на фоне созвездий, может быть построена на карте звездного неба или на звездном глобусе; для этого необходимо для нескольких равноотстоящих моментов времени T_i вычислить экваториальные координаты ИСЗ. Основой для их вычисления служит эфемеридная информация II вида ($\Omega, i, a, n_p, e, T_\Omega$), по которой на каждый момент T_i вычисляют аргумент широты u спутника (рис. 25.3.1). Далее находят изменение прямого восхождения $\Delta\alpha_\sigma$ ИСЗ за интервал времени $(T_i - T_\Omega)$ по формуле $\Delta\alpha_\sigma = \arctg(\operatorname{tg} u \cos i) = \arccos(\cos u \sec \delta)$ и прямое восхождение α_σ по формуле $\alpha_\sigma = \alpha_\Omega + \arctg(\operatorname{tg} u \cos i)$.

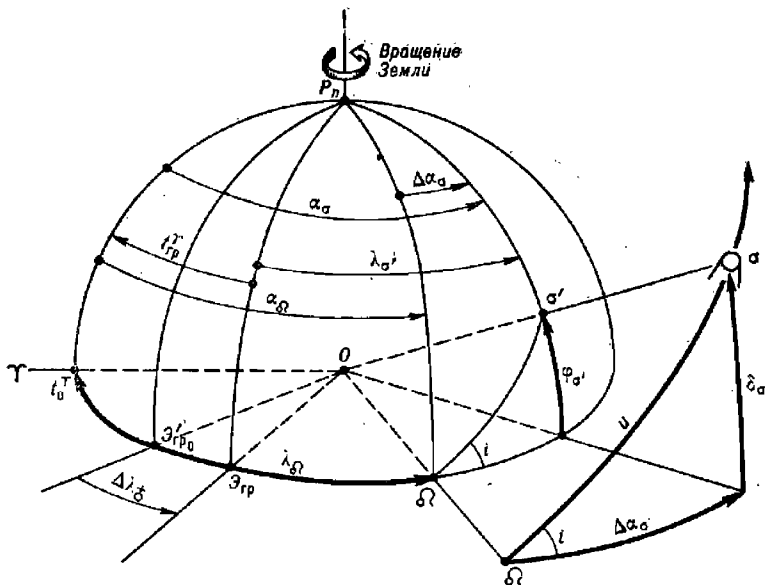


Рис. 25.3.1

Склонение ИСЗ для этого же момента находится по формуле:

$$\delta_\sigma = \arcsin(\sin u \sin i).$$

Вообще говоря, склонение δ_σ ИСЗ может изменяться в пределах:

$$-i \leq \delta_\sigma \leq i \quad \dots \dots \text{при } i = 0 - 90^\circ,$$

$$i - 180^\circ \leq \delta_\sigma \leq 180^\circ - i \quad \dots \dots \text{при } i = 90 - 180^\circ.$$

Точка пересечения геоцентрического радиуса-вектора $O\sigma$ спутника с поверхностью Земли называется *географическим местом спутника*

(ГМС), или *подспутниковой точкой* σ' . Положение географического места спутника σ' (рис. 25.3.1) определяется:

- геоцентрической широтой φ'_g , равной склонению δ_g ;
- географической долготой $\lambda_{\sigma'}$.

Положение начала отсчета долготы $\mathcal{E}_{\text{ГР}}$ в рассматриваемый момент наблюдений T_i относительно направления на точку Овна определяется ее гринвичским часовым углом, вычисляемым обычным порядком по МАЕ или по формулам:

$$\Delta\lambda_{\mathcal{G}} = \omega_{\mathcal{G}} (T_i - T_{\Omega}); \quad t_{\text{ГР}}^{\text{Г}} = t_0^{\text{Г}} + \omega_{\mathcal{G}} (T_i - T_{\Omega}),$$

где $\omega_{\mathcal{G}} = 7,29 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$; $t_0^{\text{Г}}$ — гринвичский часовой угол точки Овна в начальный момент T_{Ω} . Далее по известному из морской астронавигации соотношению находится долгота $\lambda_{\sigma'} = \alpha_{\sigma'} - t_{\text{ГР}}^{\text{Г}}$.

Геометрическое место подспутниковых точек, являющееся проекцией видной орбиты ИСЗ на поверхность вращающейся Земли, называется *трассой* ИСЗ (рис. 25.3.2). Начало трассы определяется координатами ИСЗ в момент T_{Ω} , в который $\varphi_{\sigma'} = 0$; $\lambda_{\sigma'} = \lambda_{\Omega}$.

Форма трассы целиком определяется наклоном орбиты i и периодом обращения T_z . При круговой орбите построение трассы выполняется в следующем порядке:

— по „среднему движению“ n_{σ} вычисляют аргументы широты ИСЗ на моменты времени T_i , намеченные с каким-либо удобным интервалом (например, через 5 мин): $u_i = n_{\sigma} (T_i - T_{\Omega})$;

— по u_i и i вычисляют широты ГМС $\varphi_{\sigma'} \approx \varphi'_g = \arcsin(\sin u \sin i)$ (для целей отображения обстановки наблюдений ИСЗ можно приближенно принять геоцентрическую широту ГМС равной его географической широте);

— по u_i и i вычисляют изменение долготы $\Delta\alpha_{\sigma}$ ГМС вследствие движения ИСЗ по орбите: $\Delta\alpha_{\sigma} = \arctg(\tg u \cos i) = \arccos(\cos u \sec i)$;

— по $(T_i - T_{\Omega})$ вычисляют изменение долготы ГМС вследствие смещения точки начала счета долготы из-за вращения Земли $\Delta\lambda_{\mathcal{G}} = \Delta t^{\text{Г}}$ (можно выбрать из основных интерполяционных таблиц МАЕ);

— вычисляют долготы ГМС $\lambda_{\sigma'} = \lambda_{\Omega} - \Delta\lambda_{\mathcal{G}} + \Delta\alpha_{\sigma}$.

При эллиптической орбите расчеты отличаются только вычислением аргумента широты u спутника по ω и ϑ (§ 25.2).

Соединяя найденные ГМС, получают изображение трассы ИСЗ на морской карте. На рис. 25.3.2 показана трасса ИСЗ типа «Космос-1000», построенная на морской карте по точкам, взятым через 5 мин. Долгота λ_{Ω} восходящего узла в начальный момент движения принята равной 50° W .

Изображение трассы за один период обращения (например, $T_z = 105$ мин) называют *витком*, а карту с нанесенными витками — *орбитальной картой*. Смещение восходящего узла по экватору за один виток равно $\Delta\lambda_{\Omega}^{\circ} = \frac{2\pi}{T_z} T_z = 0,2508 T_z^{\text{мин}}$.

Для ИСЗ типа „Космос-1000“ получается $\Delta\lambda_{\Omega} = 26,2^{\circ}$. Погрешность этой величины за счет нецентрального направления силы земного притяжения не превышает 1—1,5 %.

ние восходящих узлов ИСЗ показано на орбитальной карте. Суточное число витков ИСЗ равно ближайшему целому числу N_s , вычисляемому по формуле

$$N_s \approx \frac{360}{\Delta\lambda \Omega} = 13,7 \approx 14.$$

Наиболее близко к исходному положению узла Ω_1 ИСЗ подойдет на $N_s + 1$ витке.

Если по построенному на орбитальной карте первому витку изготовить шаблон, то легко получить положение всех последующих витков, совмещая начало шаблона с соответствующим узлом. На рис. 25.3.2 показано начало второго и третьего витков в узлах Ω_2 и Ω_3 .

ИСЗ является навигационным ориентиром, у которого собственное движение значительно превосходит видимое суточное движение, обусловленное вращением Земли. Поэтому итоговая картина прохождения ИСЗ в зоне видимости (с корабля) коренным образом отличается от обычного видимого движения небесных светил на небосводе и требует специальных расчетов и отображения.

Под отображением обстановки наблюдений ИСЗ понимается табличное или графическое воспроизведение информации о возможности и условиях проведения навигационного сеанса связи с ИСЗ, обеспечивающих качественное измерение навигационных параметров в заданное время и в заданном месте. Эта информация может включать предварительную оценку точности обсервации по СНС и целеуказание на ИСЗ и отображаться на мониторе СНА.

Область небосвода, в пределах которой обеспечивается устойчивое измерение навигационных параметров по наблюдениям ИСЗ, принято называть «зоной связи»; она схематически изображена на рис. 25.3.3.

Радиус зоны геометрической видимости спутника, соответствующей его прохождению через плоскость истинного горизонта наблюдателя M на высоте $h=0$ относительно горизонта, равен геоцентрическому зенитному расстоянию z_0 ИСЗ. Он вычисляется по формуле

$$z_0 = \arccos \frac{R_s}{R_s + h_n}.$$

Например, для ИСЗ «Космос-1000» $\cos z_0 = \frac{6371 \text{ км}}{7371 \text{ км}} = 0,864$; $z_0 = 30,2^\circ = 1814 \text{ миль} = 3360 \text{ км}$.

Геометрическая зона видимости ИСЗ «Космос-1000» показана на рис. 25.3.2 двойной окружностью спустя 11 мин после прохождения ИСЗ узла Ω_1 ; она охватывает акваторию Атлантического океана от экватора до Гренландии.

Радиус зоны связи $z_{св}$, обеспечивающей выполнение навигационного сеанса, вычисляется по формуле

$$z_{св} = \arccos \left(\frac{\cos h_{\min}}{1 + h_n R_s^{-1}} \right) - h_{\min},$$

где h_{\min} — нижний допустимый предел наблюдаемой высоты ИСЗ, при котором обеспечивается надежное измерение навигационных параметров; обычно принимают $h_{\min} = 10-15^\circ$.

По рис. 25.3.3, а видно, что $z_{св}$ является геоцентрическим зенитным расстоянием ИСЗ в момент нахождения его на высоте h_{\min} .

Продолжительность наблюдений ИСЗ в зоне связи вычисляется по формуле

$$\Delta T_{\text{св}} = 0,318 T_a \left[\arccos \left(\frac{\cos z_{\text{св}}}{\cos d'} \right) \right],$$

где d' — кратчайшее расстояние от места наблюдателя M до трассы ИСЗ при его прохождении на данном сеансе связи; оно может быть найдено из высоты кульминации H_z , которая высвечи-

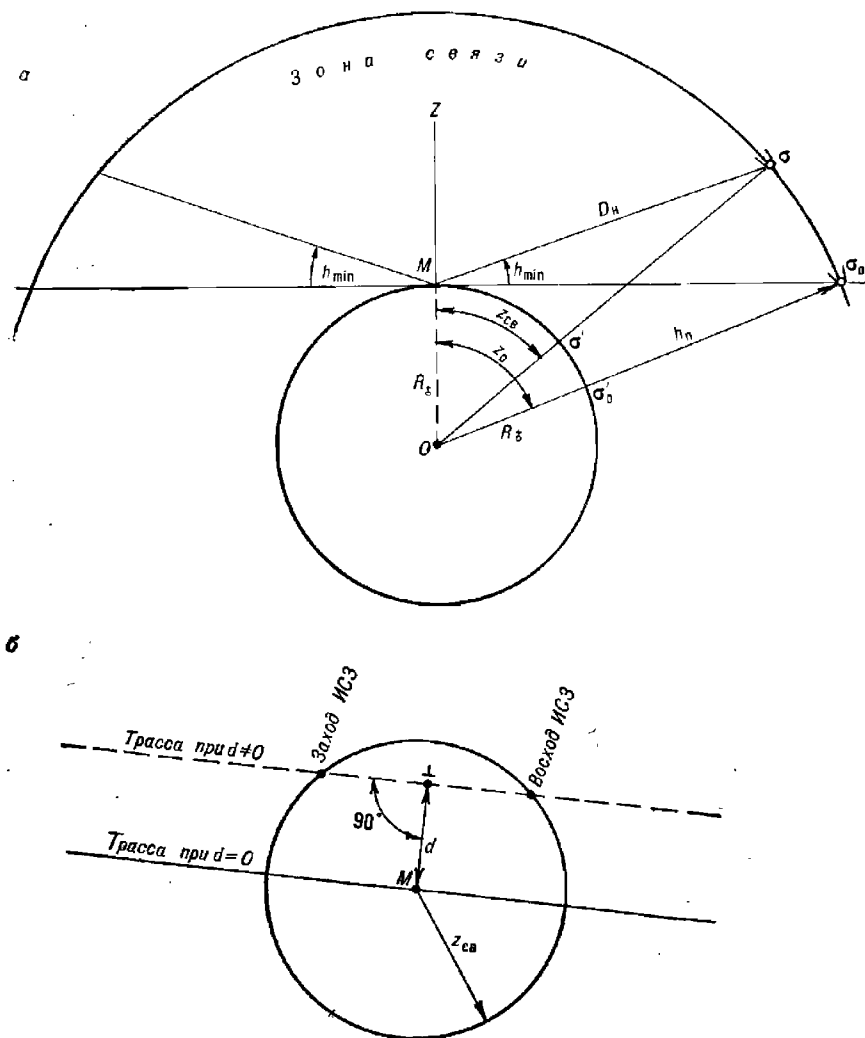


Рис. 25.3.3

вается на мониторе СНА, по табл. 25.3.1, 25.4.6, по орбитальной карте или с помощью планшета отображения обстановки наблюдений ИСЗ (рис. 25.3.3, б и 25.3.4).

Таблица 25.3.1

Высота кульминации H_o и длительность навигационного сеанса связи $\Delta T_{св}$ для ИСЗ типа «Космос-1000» в зависимости от кратчайшего расстояния d до трассы (при $h_{\min} = 15^\circ$)

d , мили	60	150	200	250	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100
$\Delta T_{св}$, мин	10,7	10,6	10,6	10,5	10,3	10,0	9,6	9,1	8,4	7,5	6,3	4,6	0,9
H_o°	82,6	72,0	66,4	61,2	56,4	47,8	40,6	34,8	29,5	25,1	21,3	18,0	15,0

Максимальная продолжительность сеанса связи получается при $d=0$. Иногда величину d называют траверсным расстоянием, понимая здесь под «траверсом» \perp положение корабля на перпендикуляре к трассе.

Наибольшая наблюдаемая высота ИСЗ в ходе сеанса связи называется высотой кульминации и обозначается H_o (или h_{\max}). Она наступает в момент нахождения ИСЗ на кратчайшем расстоянии от корабля и соответствует кратчайшему расстоянию d до трассы. Высота кульминации H_o вычисляется по формуле

$$H_o = \arctg \frac{R_{\oplus} \cos d - R_{\oplus} + h_n}{\sin d},$$

а для ИСЗ типа «Космос-1000»

$$H_o = \arctg \frac{\cos d - 0,864}{\sin d}.$$

В табл. 25.3.2 приведены: радиус зоны связи $z_{св}$, наклонные дальности D_n и продолжительность наблюдений ΔT_n , в течение которой ИСЗ проходит на высотах, превышающих указанную начальную высоту.

Зона навигационных сеансов связи при $h_{\min} = 15^\circ$ для первого витка ИСЗ выделена штриховкой на рис. 25.3.2; ее полуширина составляет 1104 мили (влево и вправо от трассы). Здесь же показано смещение этой зоны к западу на следующем витке (выделено пунктиром), которое позволяет судить о перекрытии зон связи на соседних витках.

Условия наблюдений ИСЗ могут быть наглядно оценены по информации, отображаемой на мониторе СНА, или путем вычислений с помощью ПМК и планшета отображения обстановки наблюдений ИСЗ. Полная характеристика возможных обсерваций по СНС с помощью ПМК может быть дана, если для каждого ИСЗ системы известна *эфемеридная информация III вида*: номер ИСЗ, долгота λ_{Ω} восходящего узла, момент T_{Ω} прохождения ИСЗ через этот узел.

Программа решения задачи отображения обстановки наблюдений ИСЗ на ПМК типа «Электроника БЗ-34» приведена в табл. 25.3.3. При составлении программы реализованы формулы данного параграфа. Порядок ввода исходных данных и организация решения даны в табл. 25.3.4.

После ввода исходных данных ПМК пускают на счет нажатием клавиш В/О С/П. После первого останова по адресу ПД находится период обращения T_o ИСЗ, по адресу ПВ — широта φ_o ГМС и по адресу ПС — долгота λ_o ГМС на заданный момент T (видна на табл.).

Таблица 25.3.2

**Условия наблюдений ИСЗ типа «Космос-1000»
(при $d=0$)**

Высота ИСЗ над горизонтом в начале и в конце сеанса связи, градусы	Радиус зоны связи $z_{св}$		Наклонная дальность D_n , км	ΔT_n , мин
	мильи	км		
0	1814	3360	3707	17,6
5	1534	2843	3193	14,9
7	1435	2660	3011	14,0
10	1299	2408	2762	12,6
15	1104	2046	2408	10,7
20	941	1744	2121	9,2
30	682	1283	1702	6,7
40	512	949	1429	4,5
50	375	695	1248	3,6
60	264	489	1130	2,6
70	168	312	1055	1,6
75	124	230	1030	1,2
80	82	152	1013	0,8
85	41	76	1003	0,4

Для любых других назначенных T вычисления ведут вводом интервала времени $T - T_{\Omega}$ по адресу П5. Знак *плюс* имеют северная широта и восточная долгота, знак *минус* — южная широта и западная долгота. Если по абсолютной величине $\lambda_s > 180^\circ$, то вычисляют ее дополнением до 360° и изменяют наименование долготы. Каждый цикл вычисления координат ГМС начинается нажатием клавиш В/О С/П.

После окончания расчета координат ГМС вводят по адресу П0 кратчайшее расстояние от корабля до трассы d (в милях) и по адресу П4 принятое в США значение минимальной высоты ИСЗ h_{\min} (в градусах). Нажатием клавиши С/П продолжают счет; после останова на табло и по адресу П5 находится радиус зоны связи $z_{св}$.

Счет продолжают нажатием клавиши С/П и после останова получают:

— на табло и по адресу ИП9 — высоту кульминации на данном вышке H_{σ} ;

— по адресу ИПВ — длительность сеанса связи $\Delta T_{св}$.

При оценке возможности обсервации принимается во внимание максимально допустимая высота, обусловленная геометрическими свойствами метода обсервации (§ 25.4); обычно она принимается равной $70-80^\circ$. Из табл. 25.3.1 следует, что такие высоты ИСЗ будут наблюдаться при кратчайшем расстоянии до трассы $d < 150$ миль. Иначе говоря, вблизи трассы существует «мертвая зона», в пределах которой место корабля определяется ненадежно.

Пример 25.3.1. Отобразить условия обсервации по ИСЗ № 1, который при $h_n = 1000$ км, $\lambda_{\Omega} = 50^\circ$ W, $i = 83^\circ$ проходит восходящий узел в момент $T_{\Omega} = 12^{\text{h}}10^{\text{m}}$ по зимнему московскому времени; координаты пунктов наблюдений: первого $\varphi = 26^\circ$ N, $\lambda = 121^\circ$ E; второго $\varphi = 27^\circ$ N, $\lambda = 126^\circ$ E.

Таблица 25.3.3

Программа отображения обстановки наблюдений ИСЗ

Адрес	Команда	Код	Адрес	Команда	Код	Адрес	Команда	Код
	В/О F ПРГ		31	ИПС	6С	64	С/П	50
00	3	03	32	Fsin	1С	65	ИП5	65
01	ИП4	64	33	Fx < 0	5С	66	ИПА	6—
02	ИП2	62	34	38	38	67	:	13
03	:	13	35	ИП0	60	68	Fcos	1Г
04	1	01	36	/—/	0L	69	ИП0	60
05	+	10	37	П0	40	70	ИПА	6—
06	П9	49	38	ИП6	66	71	:	13
07	Fxγ	24	39	Fcos	1Г	72	Fcos	1Г
08	Fγ	21	40	Fx < 0	5С	73	ПС	4С
09	ИП1	61	41	45	45	74	:	13
10	×	12	42	ИП0	60	75	Farccos	1—
11	ПД	4Г	43	/—/	0L	76	1	01
12	ИП3	63	44	П0	40	77	×	12
13	← xy →	14	45	ИП0	60	78	ИПД	6Г
14	:	13	46	ИП7	67	79	×	12
15	ИП5	65	47	+	10	80	ИП3	63
16	×	12	48	ИП8	68	81	:	13
17	ПС	4С	49	ИП5	65	82	2	02
18	Fsin	1С	50	×	12	83	×	12
19	ИП6	66	51	—	11	84	ПВ	4L
20	Fsin	1С	52	ПС	4С			
21	×	12	53	С/П	50	85	ИПС	6С
22	Farcsin	19	54	ИП4	64	86	ИП9	69
23	ПВ	4L	55	Fcos	1Г	87	F1/x	23
24	Fcos	1Г	56	ИП9	69	88	—	11
25	ИПС	6С	57	:	13	89	ИПС	6С
26	Fcos	1Г	58	Farccos	1—	90	Farccos	1—
27	← xy →	14	59	ИП4	64	91	Fsin	1С
28	:	13	60	—	11	92	:	13
29	Farccos	1—	61	ИПА	6—	93	Farctg	1L
30	П0	40	62	×	12	94	П9	49
			63	П5	45	95	С/П	50
							F АВТ	

Решение. Ввод исходных данных показан в табл. 25.3.4. Результаты расчета координат подспутниковых точек с интервалом в 5 мин приведены в табл. 25.3.5, а соответствующая им трасса изображена на рис. 25.3.2 и 25.3.4. Для первого заданного места наблюдений по карте получается $d \approx 300$ миль и согласно табл. 25.3.1 $\Delta T_{св} = 10,3$ мин при $H_c = 56,4^\circ$; для второго заданного места наблюдений имеем $d \approx 600$ миль, $\Delta T_{св} = 9,1$ мин при $H_c = 34,8^\circ$. Кульминация ИСЗ будет наблюдаться спустя 45 мин после прохождения восходящего узла, т. е. в момент $T_c = 12^h 10^m + 45^m = 12^h 55^m$ по зимнему московскому времени. Начало сеанса будет за 4—5 мин до момента кульминации ИСЗ.

Таблица 25.3.4

Аргументы, константы	Адрес	Информация (с решением примера)		
		исходная	промежуточная	итоговая
	П0		$d=600$ миль (в точке № 2)	
84,41	П1			
6371	П2			
360	П3			
$h_{\text{вн}}$, км	П4	1000	$h_{\text{мин}}=15^\circ$	
$T_I - T_{\Omega}$, мин	П5	По табл. 25.3.5		$z_{\text{св}}=1104$ миль
i°	П6	83		
λ_{Ω}°	П7	-50°		
0,25	П8			
	П9			$H_{\sigma} = 34,8^\circ$
60	ПА			
	ПВ		$\varphi_{\sigma'} =$	$\Delta T_{\text{св}}=9,1$ мин
	ПС		$\lambda_{\sigma'} =$	
	ПД		$T_{\sigma} = 105$ мин	

Таблица 25.3.5

Координаты ГМС для ИСЗ типа «Космос-1000» (при $\lambda_{\Omega} = 50^\circ \text{ W}$)

$T_I - T_{\Omega}$, мин	$\varphi_{\sigma'}$	$\lambda_{\sigma'}$	$T_I - T_{\Omega}$, мин	$\varphi_{\sigma'}$	$\lambda_{\sigma'}$
0	0,0°	$-50,0^\circ$	55	$-8,4^\circ$	117,3°
5	17,0	$-49,1$	60	$-25,4$	118,3
10	34,0	$-47,8$	65	$-42,4$	120,2
15	50,9	$-45,1$	70	$-59,2$	124,4
20	67,5	$-37,8$	75	$-75,3$	139,1
25	81,8	2,0	80	$-81,9$	$-129,1$
30	75,4	94,3	85	$-67,6$	$-88,6$
35	59,3	109,3	90	$-51,0$	$-81,2$
40	42,5	113,5	95	$-34,1$	$-78,5$
45	25,6	115,4	100	$-17,2$	$-77,2$
50	8,6	116,4	105	0,0	$-76,3$
52,5	0,0	116,9			

Примечание. При построении трассы для любой другой заданной долготы λ_{Ω} восходящего узла к указанной в таблице долготе придать поправку, равную $+50^\circ \pm \pm \lambda_{\Omega}^E W$.

Результаты решения в СЦВМ США задачи отображения обстановки наблюдений ИСЗ, включая целеуказание, обычно воспроизводятся на мониторе США. Эта же задача наглядно решается на планшете, построенном в равнопромежуточной азимутальной проекции (рис. 25.3.4). Основой для его построения может служить стандартный маневренный

планшет Ш-29, издаваемый ГУНиО МО. В центре планшета принимается полюс Земли, одноименный с широтой места наблюдений. На кальке изображается трасса ИСЗ, точки которой вычислены изложенным выше путем (при этом удобно принять $\lambda_{\Omega} = 0$). Северный полувиток показан на рисунке сплошной линией, южный полувиток — пунктирной.

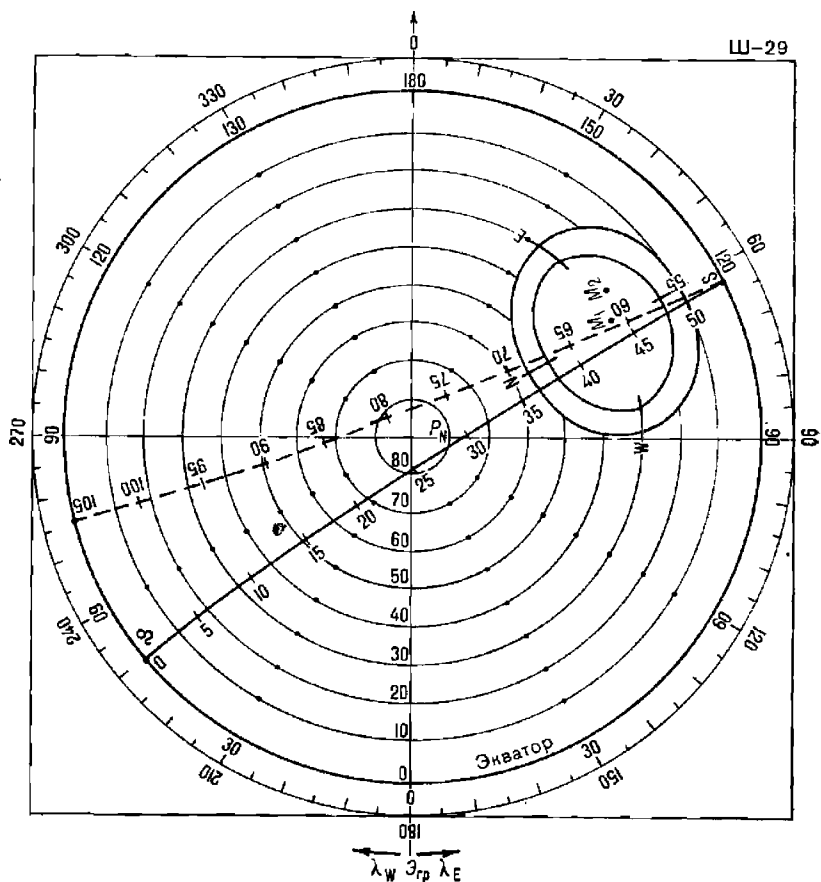


Рис. 25.3.4

При решении задачи отображения восходящий узел устанавливают на заданную долготу λ_{Ω} (например, $\lambda_{\Omega} = 50^{\circ} W$) и наносят на планшет заданное место наблюдений (например, M_1 в $\varphi = 30^{\circ} N$ и $\lambda = 120^{\circ} E$). После этого становится ясной ориентировка трассы относительно места наблюдений и можно приблизительно оценить кратчайшее расстояние d до трассы, а также найти интервал времени от момента прохождения ИСЗ восходящего узла до момента его кульминации. С каждым последующим витком восходящий узел смещают на $\Delta\lambda_{\Omega} = 26,3^{\circ}$ к западу.

Зона видимости и зона связи с ИСЗ изображаются с помощью планки (рис. 25.3.5), вычерченной в масштабе планшета для нескольких

фиксированных широт. На рисунке изображена палетка для $\varphi = 30^\circ$. Внешняя граница палетки указывает зону видимости радиусом z_0 , внутри показана зона связи радиусом $z_{св}$; в центре палетки изображена область «мертвой зоны». Координаты достаточного количества точек на границах этих зон получают проще всего на географическом или звездном глобусе; после этого зоны строят на планшете и переснимают их на кальку. При решении задачи отображения центр палетки совмещают на планшете с заданным местом корабля; нулевое деление азимутальной шкалы планшета направляют по меридиану на полюс.

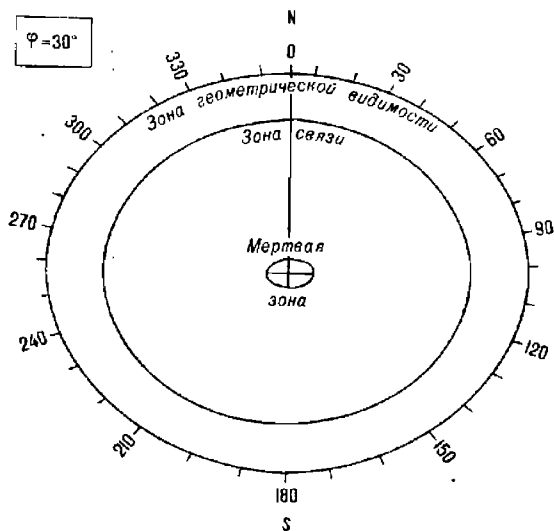


Рис. 25.3.5

Для примера 25.3.1 в районе первого пункта наблюдений M_1 с планшета и с палетки считают так:

для восхода ИСЗ ИП = 350° на 36 мин после T_{Ω} .

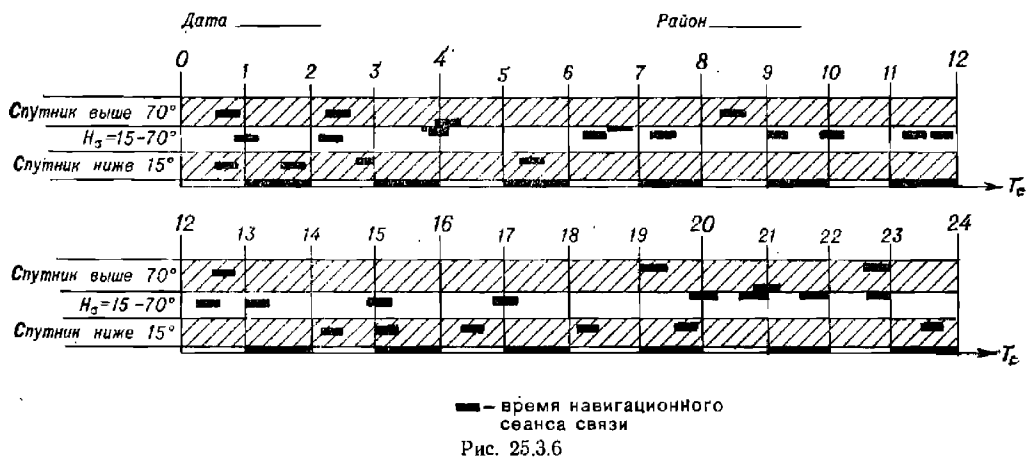
для захода ИСЗ ИП = 190° на 51 мин после T_{Ω} .

Длительность сеанса связи $T_{св} \approx 48 - 38 = 10$ мин.

Кульминация ИСЗ наступает около 45 мин после прохождения восходящего узла. Начало наблюдений по зимнему московскому времени: $12^h 10^m + 38^m = 12^h 48^m$. Согласно табл. 25.3.2 по снятому с планшета $d \approx 5^\circ = 300$ миль получается $H_c \approx 56^\circ$ и, следовательно, обсервация будет надежна.

Суточная картина обсерваций по всем ИСЗ, входящим с СНГ, может быть отображена в виде диаграммы, изображенной на рис. 25.3.6, которая позволяет судить как об ожидаемой точности обсервации (по величине H_c), так и о дискретности обсерваций (с учетом возможности взаимных помех ИСЗ, одновременно наблюдаемых в зоне связи).

Для предупреждения взаимных помех возможно временное выключение аппаратуры одного из ИСЗ, осуществляемое по команде с ПУ КИК. Причины и срок выключения сообщаются в специальном оповещении.



§ 25.4. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА КОРАБЛЯ. ПРИМЕНЯЮЩИЕСЯ В СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Современные радиотехнические средства, применяемые на борту ИСЗ и в СНА, устанавливаемой на корабле, позволяют лучше всего измерять наклонную дальность «спутник — корабль» (топоцентрический

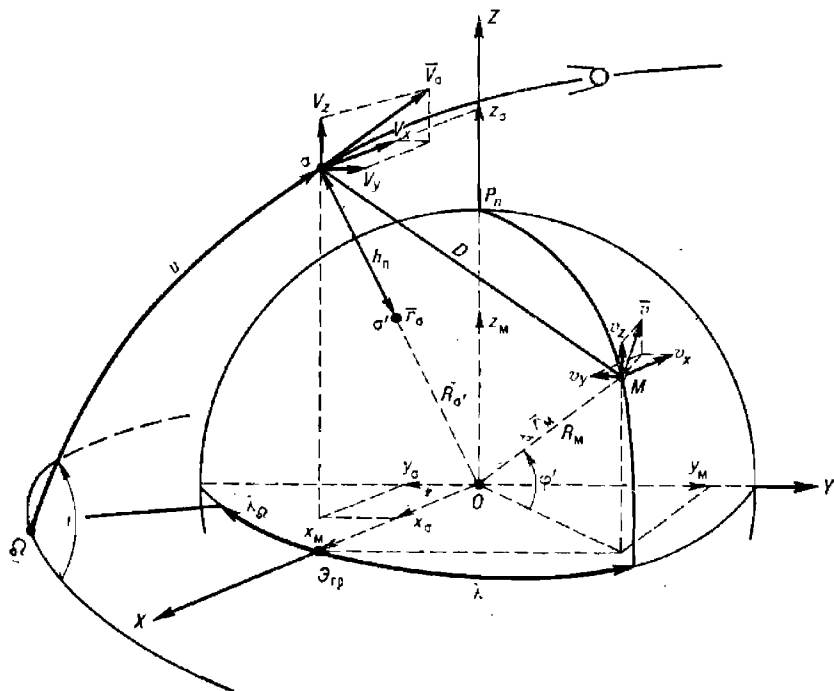


Рис. 25.4.1

радиус-вектор ИСЗ) $Mo = D$ или производные от нее величины, являющиеся функциями изменения этой дальности (рис. 25.4.1). В отличие от обычных астронавигационных наблюдений, где измеряются только

направления на светила относительно оси вращения Земли и отвесной линии (§ 23.1), при наблюдениях по СНС учитывают закономерности изменения расстояния между спутниками и кораблем при их взаимном перемещении в пространстве и поэтому применяют пространственную систему координат XYZ , участвующую во вращении Земли. Начало этой системы координат принимается в центре Земли O , ось X лежит в плоскости гринвичского меридиана, а ось Z направлена к северному полюсу мира.

Для observations по наклонной дальности D или по скорости ее изменения V_D необходимо математически связать:

— пространственные прямоугольные координаты ИСЗ $\tau(x_\tau, y_\tau, z_\tau)$ и проекции вектора скорости ИСЗ $\bar{V}_\tau(V_x, V_y, V_z)$;

— пространственные прямоугольные координаты корабля $M(x_m, y_m, z_m)$ и проекции вектора скорости корабля $v(v_x, v_y, v_z)$.

Исходными данными при этом будут служить:

для ИСЗ — геоцентрический радиус-вектор $\bar{r}_\tau = R_\tau + h_\tau$ и скорость V_τ , а также эфемеридная информация II вида, позволяющая вычислить значения направляющих косинусов углов $XO\tau$, $YO\tau$, $ZO\tau$;

для СНА на корабле — геоцентрический радиус-вектор приемной антенны $\bar{r}_m = R_m + h_{\text{ант}}$, где $h_{\text{ант}}$ — высота антенны СНА над уровнем моря; скорость v и путь $ПУ$ корабля, геоцентрические координаты корабля φ' и λ .

Географическая широта φ и геоцентрическая широта φ' связаны известным выражением: $\varphi = \arctg[\operatorname{tg} \varphi' (1 - e^2)^{-1}]$ при наибольшей разнице $\varphi - \varphi' = 11,5'$ на широте $\varphi = 45^\circ$.

В какой-либо момент T измерения навигационного параметра координаты и составляющие скорости ИСЗ, движущегося по эллиптической орбите, выражаются формулами

$$\left. \begin{aligned} x_\tau &= r_\tau (\cos \lambda_\Omega \cos u - \sin \lambda_\Omega \sin u \cos i), \\ y_\tau &= r_\tau (\sin \lambda_\Omega \cos u + \cos \lambda_\Omega \sin u \cos i), \\ z_\tau &= r_\tau \sin u \sin i; \end{aligned} \right\} \quad (25.4.1)$$

$$\left. \begin{aligned} V_x &= V_r (\cos \lambda_\Omega \cos u - \sin \lambda_\Omega \sin u \cos i) - \\ &\quad - V_u (\cos \lambda_\Omega \sin u + \sin \lambda_\Omega \cos u \cos i), \\ V_y &= V_r (\sin \lambda_\Omega \cos u + \cos \lambda_\Omega \sin u \cos i) - \\ &\quad - V_u (\sin \lambda_\Omega \sin u - \cos \lambda_\Omega \cos u \cos i), \\ V_z &= V_r \sin u \sin i + V_u \cos u \sin i, \end{aligned} \right\} \quad (25.4.2)$$

где V_r — радиальная составляющая скорости ИСЗ, направленная вдоль геоцентрического радиуса-вектора \bar{r}_τ ;

V_u — трансверсальная составляющая скорости ИСЗ, лежащая в плоскости его орбиты и перпендикулярная к \bar{r}_τ .

Совокупность величин $x_\tau, y_\tau, z_\tau, V_x, V_y, V_z$ называют *эфемеридной информацией I вида*; она вырабатывается на основе ЭИ-III.

Для этого же момента T координаты и составляющие скорости корабля записываются в виде:

$$\left. \begin{aligned} x_m &= r_m \cos \varphi' \cos \lambda, \\ y_m &= r_m \cos \varphi' \sin \lambda, \\ z_m &= r_m \sin \varphi'; \end{aligned} \right\} \quad (25.4.3)$$

$$\left. \begin{aligned} v_x &= -v (\sin \varphi' \cos \lambda \cos \Pi Y + \sin \lambda \sin \Pi Y), \\ v_y &= -v (\sin \varphi' \sin \lambda \cos \Pi Y - \cos \lambda \sin \Pi Y), \\ v_z &= v \cos \varphi' \cos \Pi Y. \end{aligned} \right\} \quad (25.4.4)$$

Наклонная дальность D в момент измерения навигационного параметра выражается следующей зависимостью:

$$D = [(x_\sigma - x_M)^2 + (y_\sigma - y_M)^2 + (z_\sigma - z_M)^2]^{1/2}; \quad (25.4.5)$$

скорость ее изменения

$$V_D = \frac{(x_\sigma - x_M)(V_x - v_x) + (y_\sigma - y_M)(V_y - v_y) + (z_\sigma - z_M)(V_z - v_z)}{[(x_\sigma - x_M)^2 + (y_\sigma - y_M)^2 + (z_\sigma - z_M)^2]^{1/2}}. \quad (25.4.6)$$

Располагая серией измеренных навигационных параметров и используя выражения 25.4.5 или 25.4.6, можно составить систему уравнений, решение которой позволит найти координаты места корабля по известным координатам ИСЗ и параметрам D или V_D . Необходимыми условиями точного решения этой навигационной задачи в СНС являются:

— знание радиус-вектора ИСЗ $\bar{r}_\sigma = R_\sigma + h_n$ и эфемеридной информации II вида, что требует хорошей изученности формы Земли и качественного решения баллистической задачи при работе КИК;

- высокоточное радиотехническое измерение параметров;
- оптимальный выбор метода решения навигационной задачи — вычисления обсервованных координат корабля M (φ_0, λ_0) по многократно измеренным навигационным параметрам;
- точное знание радиус-вектора корабля $\bar{r}_M = R_M + h_{ант}$;
- учет элементов движения корабля во время измерений навигационных параметров для их приведения к одному месту наблюдений.

Дальномерный метод обсервации по ИСЗ. Место корабля M может быть определено по расстояниям, измеренным до нескольких ИСЗ или до одного и того же быстро перемещающегося ИСЗ. На рис. 25.4.2 показан принцип обсервации по расстояниям D_1, D_2, D_3 до ИСЗ $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ соответственно. Изоповерхностью равных значений наклонной дальности (например, D_1) является сфера с центром в той точке орбиты ИСЗ, где он был в момент T измерения дальности, и радиусом, равным D .

При пересечении с поверхностью Земли стадиометрическая изоповерхность образует изостадию — малый круг (например, $I-I$) с центром в ГМС z_1 и радиусом z_1 , равным геоцентрическому зенитному расстоянию ИСЗ, вычисляемому по формуле

$$z = \arccos \left(1 - \frac{D^2 - h_n^2}{2(R_\sigma^2 + R_c h_n)} \right). \quad (25.4.7)$$

Градиент изостадии \bar{g}_z получается из выражения $g_z = g_D \cos h$, где h — высота ИСЗ, наблюдаемая над плоскостью истинного горизонта. Поэтому точность стадиометрических линий положения, получаемых по расстояниям до ИСЗ, ухудшается по мере увеличения высоты ИСЗ над горизонтом. При прохождении ИСЗ в зените наблюдателя линия положения не определяется.

В принципе дальнейшее решение навигационной задачи здесь подобно вычислению обсервованных координат по нескольким высотным линиям положения (гл. 23 и 27). Точность обсервации для средних

условий может быть охарактеризована средней квадратической погрешностью, определяемой по формуле (см. приложение 3)

$$M_o = \frac{1,4m_{\text{дп}}}{\sin \theta_{\text{ср}} \sqrt{N-1}}, \quad (25.4.8)$$

где $m_{\text{дп}} = m_D \sec h$ — среднее значение СКП стадиометрической линии положения;

m_D — СКП измерения наклонной дальности;

N — количество измеренных дальностей до ИСЗ;

$\theta_{\text{ср}}$ — среднее значение угла пересечения стадиометрических линий положения.

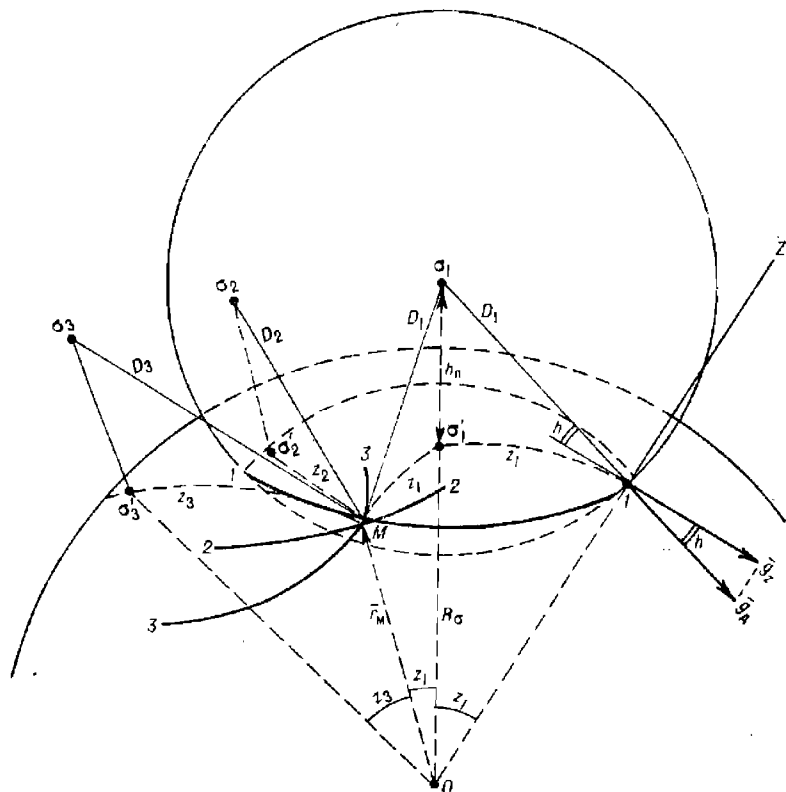


Рис. 25.4.2

Точные радиотехнические измерения наклонной дальности на прямой видимости ИСЗ в принципе делают возможным получение обсервации по ИСЗ очень высокой точности. Например, при возможных $m_D=5$ м, $N=3$, $h=45^\circ$, $\theta_{\text{ср}}=60^\circ$ получается $M_o=6,6$ м. Полная погрешность обсервации будет больше за счет эфемеридных, геодезических и навигационных источников погрешностей, но она не превысит двух-трех десятков метров. Изложенный метод принят в перспективных СНС ГЛОНАСС (СССР) и НАВСТАР (США).

Радиально-скоростной (доплеровский дифференциальный) метод. Этот метод основан на измерении скорости изменения расстояния «спутник — корабль» V_D посредством измерения доплеровского смещения

частоты f_{θ} радионавигационного сигнала $f_{и}$, излучаемого с борта ИСЗ (рис. 25.4.3). Основная рабочая частота в СНС «Цикада» принята равной 400 МГц (длина волны $\lambda_p = 0,75$ м); дополнительно может использоваться вторая частота $f'_{и} = 150$ МГц с целью компенсации поносферных погрешностей. Аппаратура, в которой предусмотрена возможность приема двух частот, называется двухканальной.

Быстрое перемещение низкоорбитального ИСЗ относительно корабля приводит к существенному смещению принимаемой на корабле частоты $f_{пр}$ радионавигационного сигнала на величину доплеровского сдвига:

$$f_{\theta} = f_{пр} - f_{и} = \frac{f_{и}}{c} V_{\sigma} \cos Q = \frac{V_{\sigma}}{\lambda_p} \cos Q = \frac{V_D}{\lambda_p}, \quad (25.4.9)$$

где V_{σ} — скорость ИСЗ (если корабль неподвижен); в общем же случае рассматривается результирующая скорость относительного движения спутника и корабля, проекция которой на топоцентрический радиус-вектор $M\sigma$ и называется радиальной скоростью V_D ;

c — скорость распространения радиоволн;

Q — ориентирный угол между вектором скорости \vec{V}_{σ} ИСЗ и направлением ИСЗ — корабль.

По техническим причинам фактически излученная с борта ИСЗ частота $f_{изл}$ может несколько отличаться от номинальной $f_{и}$ на частоту рассогласования Δf_p , а частота $f_{оп}$ опорного генератора в приемнике СНА смещена от $f_{и}$ до значения f'_0 на величину смещения f_c ; в итоге существует рассогласование частот f'_0 и $f_{изл}$ на величину $\Delta f = \Delta f_p + f_c$, и поэтому значение измеряемой доплеровской частоты f'_{θ} будет равно $f'_{\theta} = (V_D/\lambda_p) + \Delta f$.

При прохождении ИСЗ на кратчайшем расстоянии от корабля в точке σ_2 — точке «траверза» (при $Q = 90^\circ$) $f_{\theta} = 0$ и можно определить Δf .

Измеренному доплеровскому смещению частоты f_{θ} и радиальной скорости $V_D = f_{\theta} \lambda_p$ в пространстве соответствует изоповерхность доплеровского смещения частоты — конус, вмещающий вектор \vec{V}_D . Вершина этого конуса совпадает с местоположением ИСЗ на орбите в момент измерения f_{θ} , а ось конуса — с направлением вектора скорости \vec{V}_{σ} . Градиент конусной изоповерхности равен

$$\varepsilon_{V_D} = \frac{V_D}{D} \sin Q \quad (25.4.10)$$

и направлен перпендикулярно к поверхности конуса. Выгодные для получения точной обсервации большие значения градиента возможны при движении ИСЗ по низкой орбите (с большой скоростью относительно поверхности вращающейся Земли), на небольших расстояниях и вблизи точки траверза.

На земной поверхности изолинией радиальной скорости $V_D = \text{const}$ (или $f_{\theta} = \text{const}$) является изодопа — кривая, образующаяся на пересечении конусной изоповерхности с поверхностью Земли и по форме близкая к сферической гиперболе. Обсервованное место M находят в точке пересечения изодоп 0-0, 1-1, 2-2, 3-3 (рис. 25.4.3). В принципе в течение сеанса связи может быть получено несколько сотен изодоп. Двойственность (неоднозначность) решения навигационной задачи (второе

возможное место — в точке M') разрешается с помощью данных счисления.

Для радиально-скоростного метода градиент изодоны g_n выражается следующей зависимостью:

$$g_n = -\frac{V_D}{D} \sin Q \sqrt{1 - \cos^2 Q \sin^2 H_a}, \quad (25.4.11)$$

что подтверждает выгоду измерений f_∂ ближе к траверзу и при больших высотах ИСЗ над горизонтом. (при малых D , больших Q и H_a).

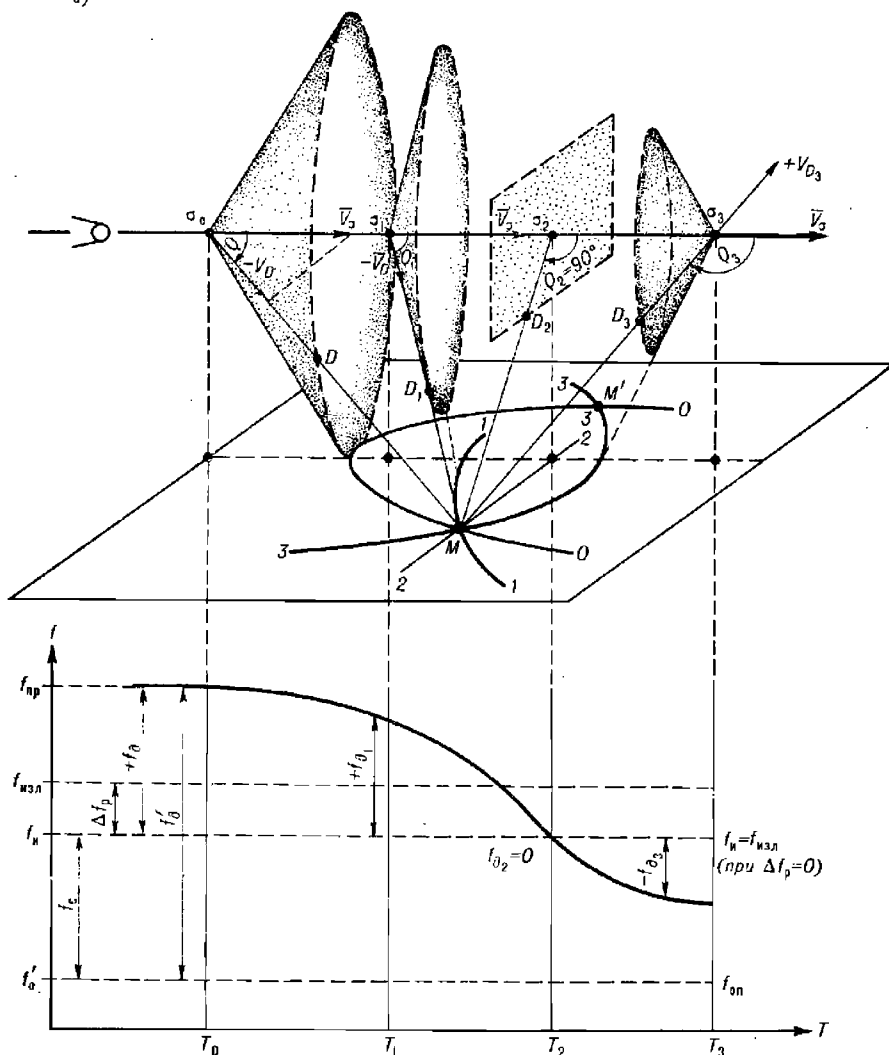


Рис. 25.4.3

Точность наблюдения также может быть охарактеризована по формуле (25.4.8). Например, при $m_{V_D} = 0,1$ м/с и наблюдениях в удалении

от трассы на 400—800 миль, при $N=100$, $\theta_{\text{сред}}=10^\circ$ получается СКП линии положения $m_{\text{дп}}=40$ м и СКП обсервации $M_0=32$ м, если не принимать во внимание эфемеридные, геодезические и навигационные погрешности обсервации. Но непосредственно вблизи трассы обсервация радиально-скоростным методом нецелесообразна, так как углы пересечения линий положения будут слишком малы и точность обсервации будет неудовлетворительной.

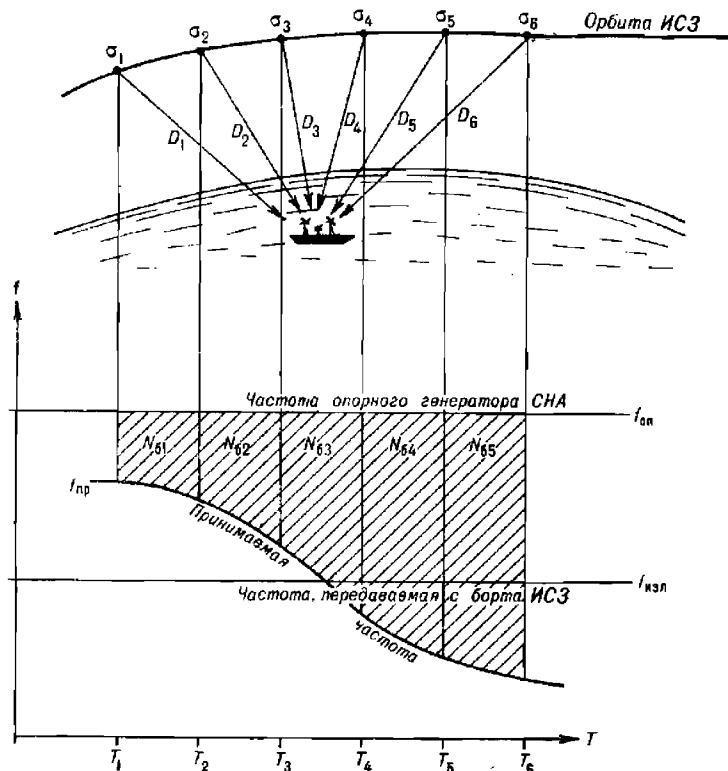


Рис. 25.4.4

Разностно-дистанционный (доплеровский интегральный) метод. Он реализуется в СНС «Цикада». В данном методе, основном в современных низкоорбитальных СНС, используются измерения в течение некоторого интервала времени суммы количества импульсов биений доплеровской частоты, обозначаемой N_6 . Процесс измерений показан на рис. 25.4.4. Такие измерения выполняются методом интегрирования доплеровской частоты f_{∂} :

$$N_6 = \left. \begin{array}{l} T_2 + \Delta T_2 \\ T_1 + \Delta T_1 \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} T_3 + \Delta T_3 \\ T_1 + \Delta T_1 \end{array} \right\} \int (f_{\partial} dT = \int (f_{\text{пр}} - f_{\text{оп}}) dT, \quad (25.4.12)$$

где T_i — моменты излучения навигационного сигнала,

$\Delta T_i = \frac{D_i}{c}$ — интервал времени прохождения сигнала от ИСЗ до корабля.

Интегрирование с учетом рассогласования частот Δf_p дает основное уравнение доплеровского интегрального метода:

$$N_0 = \frac{\Delta D}{\lambda_p} \pm \Delta f_p t_n \text{ или } \Delta D = \lambda_p (N_0 - \Delta f_p t_n). \quad (25.4.13)$$

Каждому измеренному количеству импульсов биений соответствует определенное значение разности наклонных дальностей, например, $\Delta D = D_2 - D_1$. Эти дальности соответствуют положениям ИСЗ на орбите в момент T_1 начала и в момент T_2 конца интегрирования — в точках σ_1 и σ_2 (рис. 25.4.5). Интервал времени между смежными моментами T_2 и T_1 называется интервалом интегрирования и обозначается t_n , его величина бывает различной в разных моделях СНА (например, 24 с, 30 с, 1 мин, 2 мин). Наиболее распространена величина $t_n = 24$ с, позволяющая снизить потери принимаемых сигналов.

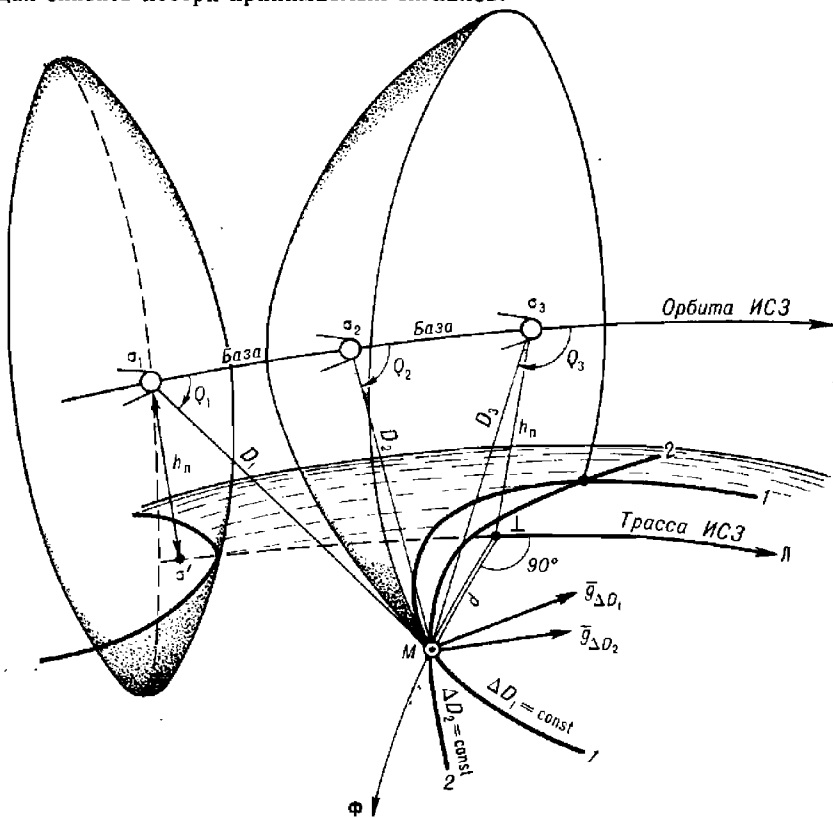


Рис. 25.4.5

Постоянной разности расстояний ΔD в пространстве соответствует поверхность положения — двухфокусный гиперболоид вращения с фокусами в точках σ_1 и σ_2 . Для круговой орбиты уравнение такого гиперболоида в прямоугольной системе координат (рис. 25.4.1) имеет вид:

$$\frac{z^2}{c^2} - \frac{x^2 + (y - r_0)^2}{a^2} = 1, \quad (25.4.14)$$

где база $\sigma_1 \sigma_2 = b = 2\pi r T_n^{-1} t_n$; $c = 0,5 \Delta D$; $a^2 = b^2 - c^2$; $r_0 = R_\oplus + h_n$.

Изолинией разности расстояний является кривая, образуемая на пересечении изоповерхностного гиперboloида с поверхностью Земли; ее форма соответствует изодопе. Это обстоятельство объясняется тем, что рассмотренный выше радиально-скоростной метод является предельным вариантом доплеровского интегрального метода в случае весьма малых интервалов интегрирования: измерению f_a соответствует $t_n = 1-4$ с и поэтому изоповерхность гиперboloида сливается с изоповерхностным асимптотическим конусом.

Математическое описание способа определения места по СИС практически удобно давать в сферической орбитальной системе координат, связанной с трассой ИСЗ (рис. 25.4.5). За начало орбитальной системы координат на каждом витке и сеансе связи принимают точку траверза \perp , в которой ГМС находится на кратчайшем расстоянии от корабля. В этой системе координат положение корабля в какой-либо рассматриваемой точке определяется:

— орбитальной широтой Φ — дугой большого круга (круга широты), перпендикулярного трассе; значения широты отсчитываются от трассы до определяемой точки;

— орбитальной долготой L — дугой трассы (принимаемой за отрезок дуги большого круга); значения долготы отсчитываются от точки траверза до круга широты в сторону движения ИСЗ.

Например, при сеансе связи место M корабля имеет орбитальные координаты $\Phi, L=0$. В момент траверза ГМС имеет координаты $\Phi=0, L=0$, а в некоторый другой момент $\Phi=0, L$.

При таком способе расчета орбитальных координат их связь с прямоугольными координатами выражается формулами:

$$x = R_{\frac{1}{2}} \sin \Phi; \quad y = R_{\perp} \cos \Phi \cos L; \quad z = R_{\frac{1}{2}} \cos \Phi \sin L. \quad (25.4.15)$$

После подстановки этих формул в уравнение (25.4.14) уравнение изодопы получается в виде:

$$\frac{b^2}{c^2} \cos^2 \Phi \sin^2 L + 2k \cos \Phi \cos L = 1 + k^2 + \frac{a^2}{R_{\frac{1}{2}}^2},$$

или в общем виде:

$$A \cos^2 \Phi \sin^2 L + 2k \cos \Phi \cos L = C, \quad (25.4.16)$$

где параметр $k = 1 + h_n/R_{\frac{1}{2}}$ (при $h_n = 1000$ км параметр $k = 1,16$).

Абсолютная величина измеренной разности ΔD увеличивается при перемещении корабля по направлению к трассе. Модуль градиента изодопы в разностно-дальномерном методе на поверхности земного шара можно представить выражением:

$$g_{\Delta D} = \frac{b}{D} \sin Q \sqrt{1 - \cos^2 Q (k^2 - \cos^2 H)}, \quad (25.4.17)$$

где b — база измерения; D и Q берутся для середины базы.

Момент измерения ΔD удобно отсчитывать от момента траверза (до и после него) и обозначать как интервал времени ΔT_{\perp} . Модуль градиента $g_{\Delta D}$ разности ΔD зависит от орбитальной долготы участка трассы, соответствующей измерению параметра ΔD , и от высоты кульминации ИСЗ. Значения $g_{\Delta D}$ при $t_n = 24$ с (в размерности метры ΔD за метры перемещения на местности) показаны на рис. 25.4.6. При $t_n \leq 2$ мин модули градиентов связаны линейной зависимостью, поэтому, пользуясь рис. 25.4.6, можно получить $g_{\Delta D}$ для любого t_n : например,

при $t_{и}=2$ мин достаточно полученную по графику на рис. 25.4.6 величину $g_{\Delta D}$ умножить на 5. График модулей градиентов изодопы при различных H_0 можно использовать для ориентировочной оценки точности обсервации по СНС. Из рисунка видно, что точность линии положения существенно зависит от положения базы при измерении разности ΔD относительно момента траверза: например, за 4—6 мин до или после

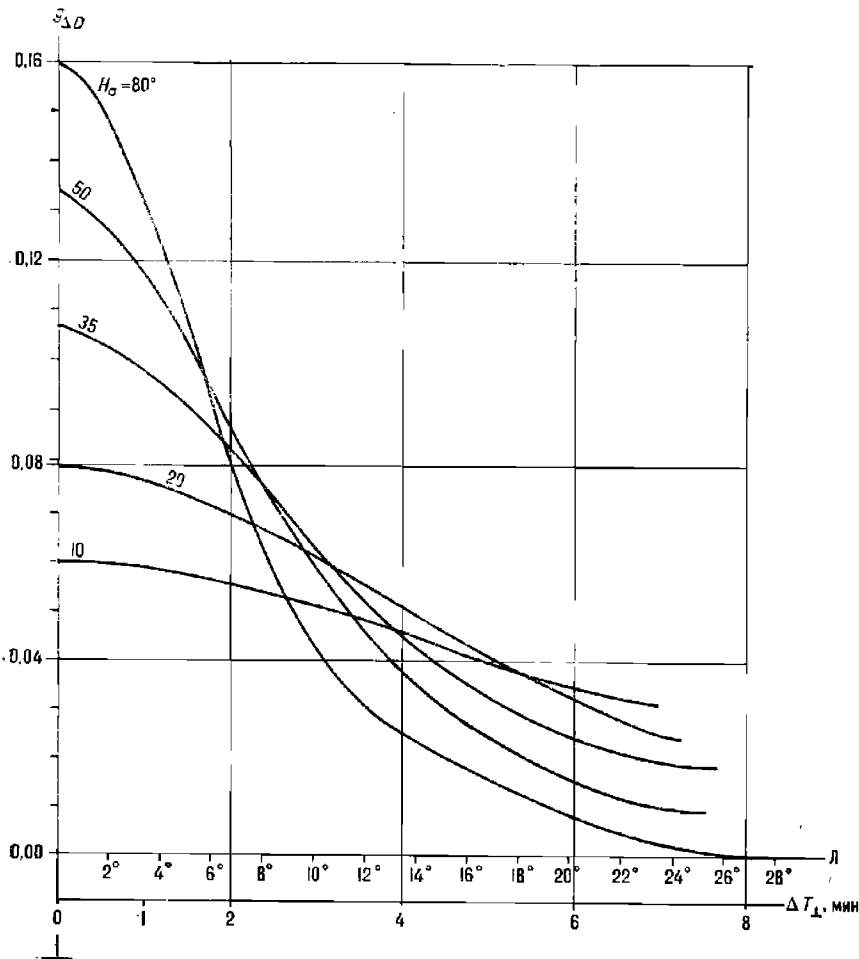


Рис. 25.4.6

траверза модуль градиента изодопы в 3—4 раза меньше наилучшей возможной величины. Это обстоятельство указывает на нежелательность несимметричного расположения моментов измерений навигационных параметров относительно момента траверза и на необходимость соответствующего планирования сроков измерений. Видно также, что измерения навигационных параметров при восходе или при заходе ИСЗ приводят к очень малым значениям $g_{\Delta D}$ и, следовательно, к низкой точности линий положения; поэтому измерения при малых высотах ИСЗ производить не следует.

Из уравнения изодопы (25.4.16) можно получить точные формулы для расчета на поверхности земного шара модуля $g_{\Delta D}$ и направления $\tau_{\Delta D}$ градиента изодопы, направления линии положения K , проекций градиента изодопы на оси орбитальной системы координат, справедливые для любых интервалов интегрирования:

$$\operatorname{ctg} \tau_{\Delta D} = \operatorname{tg} K = \frac{\sin \Phi (A \cos \Phi \sin^2 J_l + k \cos J_l)}{\sin J_l (A \cos \Phi \cos J_l - k)}, \quad (25.4.18)$$

$$g_{\Phi} = \frac{\sin \Phi (8b^2 \sin^2 J_l \cos \Phi + 2k\Delta D^2 \cos J_l)}{\Delta D \left[(\Delta D/R_{\oplus}^2)^2 + 4k \cos \Phi \cos J_l - 2 \left(1 + k^2 + b^2/R_{\oplus}^2 \right) \right]}, \quad (25.4.19)$$

$$g_{\lambda} = \frac{\sin J_l (2k\Delta D^2 - 8b^2 \cos \Phi \cos J_l)}{\Delta D \left[(\Delta D/R_{\oplus}^2)^2 + 4k \cos \Phi \cos J_l - 2 \left(1 + k^2 + b^2/R_{\oplus}^2 \right) \right]}, \quad (25.4.20)$$

$$g_{\Delta D} = \sqrt{g_{\Phi}^2 + g_{\lambda}^2}. \quad (25.4.21)$$

При оценке точности обсервации в случае малого числа измерений параметра ΔD формула (25.4.18) может быть использована для расчета угла пересечения линий положения $\theta = \Delta K$.

Проекция градиента изодопы g_{Φ} и g_{λ} в ходе обсервации изменяют величину и знак. До момента траверза разность расстояний $\Delta D = D_2 - D_1$ отрицательна, поскольку здесь $D_2 < D_1$, и градиент $\underline{g}_{\Delta D}$, отвечающий разности векторов градиентов расстояний \underline{g}_{D_2} и \underline{g}_{D_1} , направлен во внешнюю сторону от изолинии (от трассы). После момента траверза ΔD положительна, поскольку теперь $D_2 > D_1$, а градиент $\underline{g}_{\Delta D}$ направлен во внутреннюю сторону (к трассе). При симметричных относительно траверза измерениях проекция g_{Φ} после траверза изменяет знак, а проекция g_{λ} свой знак сохраняет.

Изодопы являются кривой сложного вида, и направление ее градиента зависит также от положения точки экстремума изолинии по орбитальной широте Φ_{\max} , имеющей орбитальную долготу $J_{\Phi_{\max}}$, и от положения места корабля относительно трассы (слева или справа от нее).

Для ИСЗ, движущихся на низких орбитах, при значениях $t_n \leq 2$ мин в ходе обсервации реализуются те участки изодоп, где орбитальная долгота J меньше $J_{\Phi_{\max}}$.

Для радиально-скоростного метода, рассмотренного выше, уравнение изолинии и формулы для вычисления величины τ , K , g имеют такой же вид, кроме коэффициентов A и C , рассчитываемых соответственно по формулам $A = \sec^2 Q$ и $C = k^2 + 1$.

Принцип решения навигационной задачи в СНС, в которой реализуется разностно-дальномерный метод, можно рассмотреть исходя из формулы (25.4.5), выразив измеренную разность ΔD в виде:

$$\Delta D = \left[(x_{\sigma_2} - x_{\mathbf{M}})^2 + (y_{\sigma_2} - y_{\mathbf{M}})^2 + (z_{\sigma_2} - z_{\mathbf{M}})^2 \right]^{\frac{1}{2}} - \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array} \right\} \left[(x_{\sigma_1} - x_{\mathbf{M}})^2 + (y_{\sigma_1} - y_{\mathbf{M}})^2 + (z_{\sigma_1} - z_{\mathbf{M}})^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (25.4.22)$$

Решение системы таких уравнений при подстановке в них полученной в ходе сеанса связи серии разностей расстояний ΔD дает прямоугольные обсервованные координаты места корабля $x_{\mathbf{M}}$, $y_{\mathbf{M}}$, $z_{\mathbf{M}}$; их далее пересчитывают в географические координаты по формулам (25.4.3).

Наиболее просто эта система решается при переходе к методу линий положений и способу наименьших квадратов (см. гл. 27). Уравнение линии положения в доплеровском интегральном методе имеет вид:

$$a\Delta\varphi + b\Delta\omega + \lambda_p t_n \Delta f_p = \Delta D - \Delta D_c, \quad (25.4.23)$$

где a и b — производные от ΔD в счислимом месте $C(\varphi_c, \lambda_c)$ по координатным осям;

ΔD_c — счисляемая разность расстояний, получаемая согласно формуле вида (25.4.22) на момент каждого измерения параметра ΔD .

Смещение частот Δf_p является дополнительной неизвестной; если оно не определено, то возможна значительная систематическая погрешность наблюдения.

Движение корабля в ходе сеанса измерений навигационных параметров учитывается путем определения счисляемых точек на каждый момент измерения параметра с максимально возможной точностью и последующего приведения линий положения к одному месту наблюдений посредством отпеснения всех переносов к одной счисляемой точке (например, на момент последнего измерения, подобно тому, как это делается при наблюдениях по высотам Солнца). Поэтому полученная таким методом наблюдения устраняет ошибку счисления, имевшуюся к началу сеанса измерений.

Система уравнений линий положения в конечном итоге сводится к системе трех нормальных уравнений, которая решается итерационным методом, в результате чего находятся искомые поправки $\Delta\varphi_0$, $\Delta\omega_0$, Δf_{op} . Получаемые далее obserвованные координаты $\varphi_0 = \varphi_c + \Delta\varphi_0$ и $\lambda_0 = \lambda_c + \Delta\omega_0 \sec \varphi$ принимаются за счисляемые, и решение повторяется с новыми счислимыми ΔD_c ; этим путем устраняется влияние замены изолиний прямыми линиями положения. Количество выполняемых итераций может служить одним из показателей качества наблюдения; обычно наблюдения обладают удовлетворительным качеством, если число итераций не превышает пяти. Большее число итераций указывает на сильные радиопомехи, на значительную систематическую погрешность в измеренных параметрах или в векторе путевой скорости корабля.

Получаемое в ходе сеанса связи большое количество линий положения позволяет определять при необходимости дополнительные неизвестные — высоту $h_{ант}$ антенны США, элементы движения корабля и др. Но надо помнить, что при одном и том же числе исходных линий положения отскакивание дополнительных неизвестных (сверх искомого $\Delta\varphi_0$, $\Delta\omega_0$, Δf_p) приводит к понижению точности наблюдения в целом.

Ориентировочная величина СКП M_0 наблюдений, получаемой разностно-дальномерным методом при симметричных измерениях, может быть определена по формуле:

$$M_0 = \frac{2m_{\Delta D}}{g_{cp} \sqrt{N - \frac{\sin^2 \Delta A}{N \sin^2 (\Delta A/N)}}}, \quad (25.4.24)$$

где $m_{\Delta D}$ — СКП измерения параметра ΔD ;

ΔA — изменение азимута ИСЗ за время измерений всех параметров, которое может быть найдено, например по рис. 25.3.4;

N — число измерений ΔD в серии;

g_{cp} — среднее значение модуля градиента изодопы (рис. 25.4.6).

При высоте кульминации $15^\circ < H_0 < 70^\circ$ и $t_u = 24$ с можно принять $g_{cp} = 0,06$.

Пример 25.4.1. Приняв СКП измерения разности расстояний $m_{\Delta D} = 13$ м, интервал интегрирования $t_{\text{ин}} = 24^{\circ}$, оценить возможную точность обсерваций в пунктах 1 и 2 по следующим исходным данным.

Условия обсервации:	в пункте 1	в пункте 2
$\Delta T_{\text{св}}$	$10^{\text{м}}$	$9^{\text{м}}$
ΔT	$10^{\text{м}} : 2 = 5^{\text{м}}$	$9^{\text{м}} : 2 = 4,5^{\text{м}}$
H_0	56°	35°
ΔA	150°	115°

а) количество N линий положения, ожидаемое за сеанс связи,

Определяют:

Решение.

в пункте 1 $N = 10^{\text{м}} \times 60^{\circ} : 24^{\circ} = 25$,

в пункте 2 $N = 9^{\text{м}} \times 60^{\circ} : 24^{\circ} = 22$;

б) градиенты изодопы $g_{\Delta D}$ (входя в график на рис. 25.4.6 по H_0 и ΔT_{\perp})

в пункте 1 $g_{\Delta D} = 0,03 - 0,13$, в среднем $0,08$,

в пункте 2 $g_{\Delta D} = 0,04 - 0,11$, в среднем $0,08$;

в) СКП обсерваций (по формуле 25.4.24)

$$\text{в пункте 1 } M_0 = \frac{2 \cdot 13}{0,08 \cdot \sqrt{25 - \frac{\sin^2 150}{25 \sin^2 6}}} = 66 \text{ м; } \quad \text{в пункте 2 } M_0 = 79 \text{ м}$$

Для более полной оценки точности обсервации по СНС типа «Цикада» (или «Транзит») удобно предположить, что решение выполняется в орбитальной системе координат, и рассчитывать СКП обсервованного места корабля по направлению трассы ИСЗ (M_n) и по направлению перпендикуляра к трассе (M_{ϕ}). Такой подход позволяет выяснить направленность действия погрешностей обсервации и оценить ее точность эллипсом погрешностей.

В орбитальной системе координат уравнение линии положения по аналогии с формулой (25.4.23) можно записать в виде:

$$g \cos \tau \Delta \Phi + g \sin \tau \Delta L = \Delta D - \Delta D_c, \quad (25.4.25)$$

так как $\frac{\partial u}{\partial \Phi} = g_{\phi} = g \cos \tau$ и $\frac{\partial u}{\partial L} = g_n = g \sin \tau$.

При наличии N измерений получается система N уравнений вида (25.4.25), которая решается путем перехода к системе нормальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} [g_{\phi}^2] \Delta \Phi + [g_{\phi} g_n] \Delta L &= [g_{\phi} (\Delta D - \Delta D_c)], \\ [g_{\phi} g_n] \Delta \Phi + [g_n^2] \Delta L &= [g_n (\Delta D - \Delta D_c)]. \end{aligned} \right\} \quad (25.4.26)$$

СКП определения неизвестных орбитальных координат M_{ϕ} , M_n корабля, а также обсервованного места M_0 зависит от геометрических условий обсервации, выражаемых значениями составляющих градиентов g_{ϕ} и g_n , и от СКП $m_{\Delta D}$ параметра ΔD . Эти зависимости, выведенные с использованием способа наименьших квадратов, представлены формулами:

$$M_{\phi}^2 = \frac{[g_n^2]}{[g_{\phi}^2][g_n^2] - [g_{\phi} g_n]^2} m_{\Delta D}^2 = K_{\phi}^2 m_{\Delta D}^2, \quad (25.4.27)$$

$$M_n^2 = \frac{[g_{\phi}^2]}{[g_{\phi}^2][g_n^2] - [g_{\phi} g_n]^2} m_{\Delta D}^2 = K_n^2 m_{\Delta D}^2, \quad (25.4.28)$$

$$M_0 = \sqrt{K_\phi^2 - K_x^2} m_{\Delta D} = K_m m_{\Delta D}. \quad (25.4.29)$$

Коэффициенты K_ϕ , K_x , K_m называют геометрическими факторами обсервации; их значения зависят от положения корабля относительно трассы и симметричности измерения параметра ΔD относительно момента траверза.

В невыгоднейших условиях для обсервации, когда измерения параметров ΔD выполнены симметрично моменту траверза, а число измерений до и после траверза одинаково, формулы для расчета K_ϕ и K_x упрощаются. Каждому измерению, выполненному до траверза и характеризующемуся проекциями градиента g_ϕ и g_x , в данном случае соответствует измерение после траверза, имеющее такое же значение g_x (рис. 25.4.5) и противоположное по знаку значение g_ϕ . По этой причине суммы первых степеней $[g_\phi]$ и $[g_\phi g_x]$ в итоге всего сеанса измерений равны нулю, но суммы квадратов проекций градиента $[g_\phi^2]$ и $[g_x^2]$ отличны от нуля; поэтому из формул (25.4.27) и (25.4.28) получается:

$$K_\phi^2 = [g_\phi^2]^{-1}; \quad K_x^2 = [g_x^2]^{-1}. \quad (25.4.30)$$

Важно отметить, что несимметричность измерений параметров ведет к снижению точности обсервации вследствие уменьшения величины, стоящей в знаменателях формул (25.4.27) и (25.4.28).

Смещение частот Δf_p генераторов, установленных на корабле и спутнике, входит в измеренную разность расстояний $\Delta D = \lambda_p (N_6 - \Delta f_p t_n)$. С учетом этого уравнение (25.4.25) получает вид:

$$g_\phi \Delta \Phi + g_x \Delta \Pi + \lambda_p t_n \Delta f_p = \Delta D - \Delta D_c. \quad (25.4.31)$$

В конечном итоге решается система нормальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} [g_\phi^2] \Delta \Phi + [g_\phi g_x] \Delta \Pi + \lambda_p t_n [g_\phi] \Delta f_p &= [g_\phi (\Delta D - \Delta D_c)], \\ [g_\phi g_x] \Delta \Phi + [g_x^2] \Delta \Pi + \lambda_p t_n [g_x] \Delta f_p &= [g_x (\Delta D - \Delta D_c)], \\ \lambda_p t_n [g_\phi] \Delta \Phi + \lambda_p t_n [g_x] \Delta \Pi + N (\lambda_p t_n)^2 \Delta f_p &= \lambda_p t_n [\Delta D - \Delta D_c]. \end{aligned} \right\} \quad (25.4.32)$$

Геометрические факторы теперь определяются выражениями:

$$K_\phi^2 = \frac{1}{D} \begin{vmatrix} [g_x^2] & \lambda_p t_n [g_x] \\ \lambda_p t_n [g_x] & N (\lambda_p t_n)^2 \end{vmatrix}, \quad (25.4.33)$$

$$K_x^2 = \frac{1}{D} \begin{vmatrix} [g_\phi^2] & \lambda_p t_n [g_\phi] \\ \lambda_p t_n [g_\phi] & N (\lambda_p t_n)^2 \end{vmatrix}, \quad (25.4.34)$$

$$K_{\Delta f_p}^2 = \frac{1}{D} \begin{vmatrix} [g_\phi^2] & [g_\phi g_x] \\ [g_\phi g_x] & [g_x^2] \end{vmatrix}, \quad (25.4.35)$$

где

$$D = (\lambda_p t_n)^2 \left\{ [g_\phi^2] (N [g_x^2] - [g_x]^2) + 2 [g_\phi g_x] [g_\phi] [g_x] - [g_x^2] [g_\phi]^2 - N [g_\phi g_x]^2 \right\}. \quad (25.4.36)$$

При симметричных измерениях получается:

$$K_{\Phi}^2 = \frac{1}{[g_{\Phi}^2]}, \quad (25.4.37)$$

$$K_{\pi}^2 = \frac{1}{[g_{\pi}^2] - [g_{\pi}]^2/N}, \quad (25.4.38)$$

$$K_{\Delta f_p}^2 = \frac{[g_{\pi}^2]}{(N[g_{\pi}^2] - [g_{\pi}]^2)(\lambda_p t_n)^2}. \quad (25.4.39)$$

Важно заметить, что по сравнению с формулами (25.4.30) введение третьей неизвестной Δf_p не повлияло на величину СКП M_{Φ} , но ухудшило точность определения орбитальной долготы вследствие уменьшения знаменателя в формуле (25.4.38). Это уменьшение может быть отчасти преодолено увеличением числа измерений N , иначе говоря — уменьшением интервала интегрирования t_n .

Формулы для расчета элементов эллипса погрешностей обсервации запишутся в виде:

$$a_s = m_{\Delta D} \sqrt{(p+s)k}, \quad (25.4.40)$$

$$b_s = m_{\Delta D} \sqrt{(p-s)k}, \quad (25.4.41)$$

$$\psi_s = 0,5 \arcsin 2(s^{-1}[g_{\Phi}g_{\pi}]), \quad (25.4.42)$$

где

$$p = [g_{\Phi}^2] + [g_{\pi}^2],$$

$$s = \sqrt{([g_{\Phi}^2] - [g_{\pi}^2])^2 - 4[g_{\Phi}g_{\pi}]^2},$$

$$k = \frac{1}{2(N-3)([g_{\Phi}^2][g_{\pi}^2] - [g_{\Phi}g_{\pi}]^2)}.$$

Из формулы (25.4.42) видно, что при симметричных измерениях $\psi_s = 0$ и полуоси эллипса погрешностей направлены по осям орбитальной системы координат, т. е. вдоль трассы и поперек трассы.

При работе по СНС «Цикада» (или «Транзит») в низких и умеренных широтах СКП M_{Φ} характеризует точность обсервации по отществу, а СКП M_{π} — по географической широте.

При необходимости полной оценки точности обсервации расчеты элементов эллипса погрешностей могут быть выполнены на ПМК. При этом большой объем вычислений выполняется заблаговременно на первом, подготовительном этапе, включающем планирование измерений. На этом этапе:

— согласно изложенному в § 25.3 находят высоту H_c кульминации ИСЗ, а также траверзное расстояние $d = \Phi$;

— задаются положениями ИСЗ на моменты измерений навигационных параметров путем установки значения орбитальной долготы середины базы L_i для каждого измерения ΔD_i ; при этом учитывают интервал интегрирования в данной СНА и планируемое время измерений; непрерывные симметричные измерения можно планировать, задавая L_i только по одну сторону от момента кульминации по правилу

$$L_{i+1} = L_i + 2\alpha, \quad (25.4.43)$$

где α — дуга, равная смещению ИСЗ за половину интервала t_n (например, при $t_n = 2^m$ $\alpha = 3,4^\circ$ и т. п.);

— для орбитальной широты Φ , соответствующей заданной H_z , вычисляют проекции g_Φ и g_λ градиентов изодопы.

Таблица 25.4.1

Программа для вычисления проекций градиента изодопы $g_{\Delta D}$ на оси орбитальной системы координат Φ и λ

Адрес	Команда	Код	Адрес	Команда	Код	Адрес	Команда	Код
	В/О F ПРГ		32	ИП5	65	64	ИПВ	6L
00	ИП5	65	33	Fcos	1Г	65	—	11
01	ИП6	66	34	П9	49	66	↑	0E
02	—	11	35	ИП4	64	67	ИП5	65
03	Fcos	1Г	36	×	12	68	Fsin	1C
04	ИП4	64	37	ПВ	4L	69	×	12
05	×	12	38	ИП3	63	70	ИПА	6—
06	ИП3	63	39	×	12	71	:	13
07	×	12	40	2	02	72	С/П	50
08	ИП2	62	41	×	12	73	ИП9	69
09	—	11	42	ИП7	67	74	ИПС	6C
10	(—)	0L	43	—	11	75	×	12
11	Fγ	21	44	ПА	4—	76	П9	49
12	П8	48	45	ИП8	68	77	ИП5	65
13	ИП5	65	46	ИП1	61	78	Fsin	1C
14	ИП6	66	47	:	13	79	Fx ²	22
15	+	10	48	Fx ²	22	80	ИП4	64
16	Fcos	1Г	49	ИПА	6—	81	×	12
17	ИП4	64	50	+	10	82	ИП0	60
18	×	12	51	ИП8	68	83	×	12
19	ИП3	63	52	×	12	84	ИП9	69
20	×	12	53	ИПД	6Г	85	+	10
21	ИП2	62	54	×	12	86	П9	49
22	—	11	55	ПА	4—	87	ИП4	64
23	(—)	0L	56	ИПВ	6L	88	Farcos	1—
24	Fγ	21	57	ИП0	60	89	Fsin	1C
25	ИП8	68	58	×	12	90	ИП9	69
26	—	11	59	ПВ	4L	91	×	12
27	ИП1	61	60	ИПС	6C	92	ИПА	6—
28	×	12	61	ИП3	63	93	:	13
29	П8	48	62	×	12	94	С/П	50
30	Fx ²	22	63	ПС	4C			
31	ПС	4C					F АВТ	

Программа вычислений дана в табл. 25.4.1, прохождение информации показано в табл. 25.4.2. При составлении программы использованы формулы (25.4.19), (25.4.20), знаменатели которых умножены на

6367,176 для получения необходимой размерности. Счислимые значения ΔD получают по формуле

$$\Delta D = R_{\text{З}} \left(\sqrt{1 + k^2 - 2k \cos \Phi \cos (\lambda - \alpha)} - \sqrt{1 + k^2 - 2k \cos \Phi \cos (\lambda + \alpha)} \right).$$

Для конкретных СНС и СНА используемый в расчетах параметр k постоянен, поэтому, например, для СНС «Цикада» и «Транзит» $1 + k^2 = 2,34$, $2k = 2,31$.

Таблица 25.4.2

Аргументы, константы	Адрес	Результаты (в примере 25.4.2)	Аргументы, константы	Адрес	Результаты (в примере 25.4.2)
$8b^2$	П0	97108	L_i^0	П5	0,2; 1,7; 3,4 и т. д.
$R_{\text{З}}$, км	П1	6370	α^0	П6	0,85
$1 + k^2$	П2	2,34	$2(1 + k^2 + b^2/R^2)$	П7	4,68
$2k$	П3	2,31	6367,176	ПД	6367,176
$\cos \Phi$	П4	0,9903			

Таблица 25.4.3

Расчет интервалов времени ΔT_{\perp} измерений параметра ΔD .

Вычисление коэффициентов нормальных уравнений (пример 25.4.2, формулы 25.4.19, 25.4.20)

№ измерений	Интервал времени ΔT_{\perp}	Долгота L_i	$g_{\lambda} \times 10^3$	$g_{\Phi} \times 10^3$	$g_{\lambda}^2 \times 10^6$	$g_{\Phi}^2 \times 10^6$	$g_{\Phi} g_{\lambda} \times 10^6$
1	5,0 мин	17°	29	(29)	841	841	(841)
2	4,5	15,3	36	(32)	1296	1024	(1152)
3	4,0	13,6	45	(35)	2025	1225	(1575)
4	3,5 ×	11,9	56	37	3136	1369	2072
5	3,0 ×	10,2	69	39	4761	1521	2691
6	2,5 ×	8,5	85	40	7225	1600	3400
7	2,0 ×	6,8	102	38	10404	1444	3876
8	1,5 ×	5,1	120	33	14400	1089	3960
9	1,0	3,4	137	(25)	18769	625	(3425)
10	0,5	1,7	149	(14)	22201	196	(2086)
11	Траверз	0	153	0	23409	0	0
Суммы []			1377	187	153599	14895	15999
			$[g_{\lambda}]$	$[g_{\Phi}]$	$[g_{\lambda}^2]$	$[g_{\Phi}^2]$	$[g_{\Phi} g_{\lambda}]$

Примечание. При решении примера величины, обозначенные знаком \square , в ходе суммирования удвоили; величины, обозначенные знаком (), опустили. Измерения, потерянные до траверза, обозначены знаком ×. Число линий положения: $21 - 5 = 16$ (разность между возможным и полученным числом отсчетов навигационного параметра ΔD).

При интервале интегрирования $t_n = 2$ мин получаем $b = 440,7$ км, $8b^2 = 1\,553\,730$; $2(1 + k^2 + b^2/R_\oplus^2) = 4,68$. Эти величины могут быть исходными для других значений t_n ; например, при $t_n = 30^\circ$ имеем: $8\left(\frac{440,7}{4}\right)^2 = 97\,108$; $2(1 + k^2 + b^2/R_\oplus^2) \approx 2(1 + k^2) = 4,68$; $\alpha = 3,4^\circ : 4 = 0,85^\circ$ и т. п.

После ввода исходной информации согласно табл. 25.4.2 ПМК пускают на счет командой В/О С/П. После первого останова с табло считывают значение g_n и записывают его в табл. 25.4.3. Командой С/П продолжают счет. После второго останова получают и записывают g_ϕ .

Далее вводят новое значение орбитальной долготы базы L_i и повторяют расчеты, продолжая их до значения долготы L , соответствующего моменту начала (конца) интервала ΔT_i измерений от момента траверза. При $L=0$ всегда $g_\phi=0$, а g_n вычисляют для близкого значения L (например, для $L=0,2^\circ$).

В заключение по табл. 25.4.3 для всех значений L_i вычисляют значения g_ϕ^2 , g_n^2 , $g_\phi g_n$. При этом для удобства счета, если $t_n < 1$ мин, то g_ϕ и g_n умножают на 1000; если $1 \text{ мин} < t_n < 2$ мин, то g_ϕ и g_n умножают на 100. Далее вводят программу расчета геометрических факторов K_ϕ , K_n , K_m из табл. 25.4.4. На этом подготовительный этап заканчивается.

На втором этапе, если стоит задача оценки точности выполненной обсервации, в табл. 25.4.3 отмечают строчки, соответствующие интервалам времени ΔT_i потерянных измерений. Далее с учетом потери измерений находят суммы $[g_\phi]$, $[g_n]$, $[g_\phi g_n]$, $[g_\phi^2]$, $[g_n^2]$; при этом значения g_n , g_n^2 , g_ϕ^2 из строки, соответствующей $L_i = 0$, и из строк потерянных измерений входят в соответствующие суммы однократно, а из остальных строк — дважды (для учета измерений до или после траверза). В суммы $[g_\phi]$ и $[g_\phi g_n]$ входят только данные из строк потерянных измерений. При вычислении K_ϕ и K_n все величины $[g_\phi]$ и $[g_n]$ можно принять положительными. Далее подсчитывают количество полученных линий положения N . Согласно табл. 25.4.5 вводят исходную информацию и командами В/О С/П начинают счет. В итоге после первого останова на табло получают значение K_ϕ , после второго останова — значение K_n и после третьего останова — значение K_m .

Учитывая свойственную для данной СНС и СНА СКП $m_{\Delta D}$ измерения параметра ΔD , операциями на пульте ПМК вычисляют СКП M_ϕ , M_n определения орбитальных координат и СКП M_0 обсервации соответственно по формулам:

$$M_\phi = K_\phi m_{\Delta D}, \quad M_n = K_n m_{\Delta D}, \quad M_0 = K_m m_{\Delta D}. \quad (25.4.44)$$

Получаемая по этой формуле СКП M_0 обсервации, обусловленная только свойствами среды и СНА, будет меньше полной оценки погрешности обсервации по СНС (§ 25.5), так как не учитывает влияния погрешностей эфемеридного и геодезического обеспечения работы СНС, а также погрешности ввода неточных навигационных данных.

Пример 25.4.2. Выполняется обсервация по СНС при высоте кульминации ИСЗ $H_z = 42^\circ$, длительность сеанса связи $\Delta T_{\text{св}} = 10$ мин. Интервал интегрирования в СНА $t_n = 30$ с. Потеряны измерения на восходящем участке движения ИСЗ от момента $\Delta T_{\perp} = 4$ мин до момента $\Delta T_{\perp} = 1$ мин. Вычислить СКП обсервации, обусловленную погрешностью измерений параметра при СКП $m_{\Delta D} = 14$ м. Оценить погрешности обсервованного места по географической широте и в направлении, перпендикулярном географическому меридиану.

Решение. Вводим в ПМК программу из табл. 25.4.1. Вводим в регистры памяти константы из табл. 25.4.2 (их расчет был пояснен выше). По табл. 25.4.6 находим аргумент Φ для высоты $H_s = 42^\circ$. Вводим в память $\cos \Phi$. В табл. 25.4.3 размечаем моменты измерений параметра, начиная от траверза ($L=0$), и соответствующие им орбитальные долготы L_i . При этом учитываем половину длительности сеанса связи, равную по условию 5 мин, а также величину $t_n = 30$ с.

Поочередно вводя значения L_i , находим величины g_L, g_Φ и заносим их в таблицу. Вычисляем $g_\Phi^2, g_L^2, g_\Phi g_L$ для всех столбцов.

Вводим в ПМК программу из табл. 25.4.4.

После выполнения измерений:

— отмечаем в табл. 25.4.3 строки потерянных измерений;

— вычисляем суммы $[g_\Phi], [g_L], [g_\Phi^2], [g_L^2], [g_\Phi g_L]$;

— подсчитываем количество линий положения: $N=16$;

— вводим в ПМК исходную информацию согласно табл. 25.4.5;

— по формулам (25.4.44) последовательно вычисляем:

после первого останова — СКП орбитальной широты $M_\varphi = K_\varphi m_{\Delta D} = 8,87 \times 14 = 124$ м,

после второго останова — СКП орбитальной долготы $M_\lambda = K_\lambda m_{\Delta D} = 5,34 \times 14 = 75$ м,

после третьего останова — СКП обсервованного места $M_o = K_o m_{\Delta D} = 10,35 \times 14 = 145$ м.

Таблица 25.4.4

Программа для вычислений геометрических факторов K_λ, K_φ и K_o обсервации по СНС

Адрес	Команда	Код	Адрес	Команда	Код	Адрес	Команда	Код
	В/О F ПРГ		22	ПА	4—	45	П7	47
00	ИП5	65	23	ИП6	66	46	ИП6	66
01	Fx²	22	24	ИП5	65	47	Fx²	22
02	П8	48	25	×	12	48	П8	48
03	ИП3	63	26	ИП4	64	49	ИП2	62
04	ИП1	61	27	×	12	50	ИП1	61
05	×	12	28	2	02	51	×	12
06	ИП8	68	29	×	12	52	ИП8	68
07	—	11	30	ИПА	6—	53	—	11
08	ИП2	62	31	—	11	54	ИПА	6—
09	×	12	32	ИП9	69	55	:	13
10	П9	49	33	+	10	56	Fγ	21
11	ИП4	64	34	ПА	4—	57	ИП0	60
12	Fx²	22	35	ИП9	69	58	×	12
13	ИП1	61	36	:	13	59	С/П	50
14	×	12	37	ИП2	62	60	Fx²	22
15	ПА	4—	38	×	12	61	ИП7	67
16	ИП6	66	39	Fγ	21	62	+	10
17	Fx²	22	40	F1/x	23	63	Fγ	21
18	ИП3	63	41	ИП0	60	64	С/П	50
19	×	12	42	×	12			
20	ИПА	6—	43	С/П	50		F АВТ	
21	+	10	44	Fx²	22			

Вывод. СКП обсервованного места, обусловленная погрешностями измерений, равна 145 м. При наклонении орбиты ИСЗ $i=83-90^\circ$ погрешность обсервованного места по географической широте существенно меньше погрешности в направлении, перпендикулярном географическому меридиану (по отшествию).

Таблица 25.4.5

Ввод информации для оценки точности обсервации по СНС

Аргументы, константы	Адрес	Результаты (в примере)	Аргументы, константы	Адрес	Результаты (в примере)
1000	П0	1 000	$[g_{\phi} g_{\lambda}]$	П4	15 999
N	П1	16	$[g_{\lambda}]$	П5	1 377
$[g_{\phi}^2]$	П2	14 895	$[g_{\phi}]$	П6	187
$[g_{\lambda}^2]$	П3	153 599			

Таблица 25.4.6

Орбитальная широта Φ по высоте кульминации H_{α} ИСЗ

H_{α}°	Φ°	H_{α}°	Φ°	H_{α}°	Φ°	H_{α}°	Φ°
0	30,0833	27	12,5667	45	7,2700	63	3,8583
10	21,5833	28	12,1883	46	7,0450	64	3,7000
11	20,8833	29	11,8250	47	6,8283	65	3,5417
12	20,2033	30	11,4650	48	6,6117	66	3,3833
13	19,5500	31	11,1300	49	6,4050	67	3,2333
14	18,9250	32	10,8000	50	6,1950	68	3,0750
15	18,3167	33	10,4750	51	6,0000	69	2,9167
16	17,7333	34	10,1633	52	5,8000	70	2,7667
17	17,1750	35	9,8583	53	5,6117	71	2,6333
18	16,6333	36	9,5667	54	5,4167	72	2,4833
19	16,1167	37	9,2833	55	5,2333	73	2,3333
20	15,6167	38	9,0083	56	5,0500	74	2,1833
21	15,1083	39	8,7417	57	4,8667	75	2,0500
22	14,6667	40	8,4800	58	4,7000	76	1,9167
23	14,2133	41	8,2200	59	4,5167	77	1,7667
24	13,7800	42	7,9800	60	4,3583	78	1,6167
25	13,3583	43	7,7367	61	4,1883	79	1,4833
26	12,9583	44	7,4967	62	4,0167	80	1,3500

§ 25.5. ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ В МОРСКОЙ НАВИГАЦИИ

Спутниковые навигационные системы являются наиболее эффективным современным средством навигации. Наилучшие результаты обсервации можно ожидать при использовании дальномерной СНС, обеспечивающей практически непрерывное определение места корабля с погрешностью, не превышающей нескольких десятков метров. Разностно-дальномерная СНС типа «Цикада» обеспечивает определение места ко-

рабля на ходу с погрешностью, не превышающей 0,5 мили в самых неблагоприятных условиях. Точностные характеристики СНС всех типов улучшаются по мере совершенствования СНА и повышения точности эфемеридной информации.

Точность обсервации по СНС на корабле в конечном итоге зависит от грамотной работы штурмана с СНА: от правильного ввода исходных данных в СЦВМ СНА, от выбора оптимального режима измерений навигационных параметров, от полноты учета элементов движения корабля в течение сеанса связи. Важно также уметь оценить результаты обсервации, ее точность и надежность; рекомендации по этим вопросам изложены ниже. При работе с конкретными СНС и СНА необходимо, кроме этих общих рекомендаций, руководствоваться инструкцией по технической эксплуатации СНА.

Эфемеридные погрешности обсервации. Точность обсервации по СНС не может быть выше точности определения места ИСЗ на орбите в моменты измерений навигационных параметров. Ошибки формирования эфемеридной информации обусловлены погрешностями траекторных измерений, погрешностями прогноза эфемерид ИСЗ вследствие неточного учета геопотенциала и рядом других причин. В настоящее время место ИСЗ на орбите определяется с погрешностью порядка 10—20 м, а прогнозируется на 12—16 ч с погрешностью до 40—60 м.

В общем случае наибольшая эфемеридная погрешность обсервации получается при определении орбитальной долготы, достигая 20—40 м, а орбитальная широта может определяться с погрешностью около 3—10 м. К погрешности орбитальной широты до нескольких десятков метров приводит, кроме того, погрешность определения высоты полета ИСЗ, так как она оказывает влияние на точность вычисления счислимых навигационных параметров. Эфемеридные погрешности обсервации могут значительно изменяться от одного сеанса связи к другому, а в ряде последовательно получаемых обсерваций проявляют себя случайным образом. По мере изучения гравитационного поля Земли и закономерностей его изменения, по мере совершенствования баллистических методов обеспечения работы СНС роль эфемеридных погрешностей будет существенно уменьшена.

Влияние эфемеридных погрешностей может быть существенно снижено при использовании СНС для определения места по методу транслокации, когда на береговом пункте с точно известными координатами по одному или нескольким прохождением ИСЗ уточняется эфемеридная информация или определяются поправки к обсервованным координатам, а затем эти корректуры передаются по радио на корабль. Применение метода транслокации целесообразно при работе с двухканальной СНА. Этот метод позволяет уменьшить главным образом погрешность орбитальной долготы (обсервованной географической широты корабля — при плавании в низких и умеренных широтах).

Погрешности, возникающие при формировании радионавигационных параметров. Эти погрешности вызываются влиянием изменений во внешней среде, инструментальными особенностями СНА и свойствами используемого метода измерений навигационного параметра. Основная рабочая частота $f_{\text{н}}$ СНС доплеровского типа, составляющая 400 МГц, малочувствительна к космическим, метеорологическим и промышленным помехам, навигационный сигнал на этой частоте незначительно поглощается в тропосфере. Повышение уровня помех наблюдается в низких широтах, что приводит к частичной потере измерений параметров и большей погрешности обсерваций в тропическом поясе Земли.

Ионосферная рефракция вызывает систематическую погрешность обсервации в случае использования однокаанальной СНА в среднем до 100 м (иногда до 900 м). В двухканальной СНА влияние ионосферной рефракции компенсируется при обработке сигналов, передаваемых на двух частотах (400 МГц и 150 МГц), после чего остаточная погрешность, возникающая из-за влияния ионосферной рефракции, не превышает 20 м.

Тропосферная рефракция заметно проявляется на малых высотах наблюдений ИСЗ и значительно зависит от метеорологических условий во время сеанса связи, вызывая погрешности обсервации около 20 м. При $h_n > 10^\circ$ ее влияние несущественно.

Инструментальные погрешности измерений навигационных параметров СНА незначительны и вызывают погрешность обсервации до 10 м.

Случайные погрешности измерений навигационного параметра обуславливаются влиянием быстротечных процессов в атмосфере, формирующих ее диэлектрическую проницаемость (в формуле 25.5.1 слагаемое m_{N_6}), кратковременной нестабильностью генераторов ($m_{\Delta f_p}$) и весьма малыми погрешностями измерения времени (m_{t_n}). Суммарная инструментальная СКП выражается формулой

$$m_{\Delta D} = \lambda_p \sqrt{m_{N_6}^2 + t_n^2 m_{\Delta f_p}^2 + \Delta f_p^2 m_{t_n}^2}. \quad (25.5.1)$$

В первом приближении можно принимать

$$m_{\Delta D} = \lambda_p m_{N_6}. \quad (25.5.2)$$

При увеличении интервала интегрирования ($t_{n_2} > t_{n_1}$) погрешности измеряемого параметра накапливаются, но величина $m_{\Delta D}$ увеличивается нелинейно, так как часть погрешностей взаимно компенсируется:

$$m_{\Delta D_2} = m_{\Delta D_1} \sqrt[3]{\frac{t_{n_2}}{t_{n_1}}}. \quad (25.5.3)$$

Значения $m_{\Delta D}$ для одноканальной СНА при различных интервалах интегрирования приведены в табл. 25.5.1. Для двухканальной СНА как систематические, так и случайные погрешности формирования радионавигационного параметра ΔD будут примерно в 2—3 раза меньше. В ночное время ионосферная рефракция не проявляется и в ряде случаев точность обоих вариантов СНА становится практически одинаковой.

Таблица 25.5.1

Интервал интегрирования t_n , с	4	24	30	60	120
$m_{\Delta D}$, м	7	13	14	18	23

Общей характерной особенностью погрешностей формирования радионавигационных параметров является возрастание их величины по мере увеличения высоты кульминации ИСЗ H_n , а также их зависимость от длительности сеанса связи и симметричности измерений относительно траверза ИСЗ.

Ориентировочная прогностическая оценка точности обсервации с учетом погрешности измерения разности расстояний ΔD была показана в примере 25.4.1. Строгое решение этой задачи с учетом конкретно выполненных измерений было дано в примере 25.4.2.

Экспресс-оценка СКП наблюдения, обусловленной погрешностями формирования радионавигационного параметра. Для оперативной экспресс-оценки ожидаемой величины СКП наблюдения по некоторому направлению, обусловленной погрешностями формирования радионавигационного параметра, для любых орбит ИСЗ и в любом районе плавания удобны графики проекций градиентов g_Φ и g_L , а также графики геометрических факторов наблюдения K_Φ , K_L , K_M , составленные для наиболее распространенных моделей США (при $T_n=24$ с) согласно формулам (25.4.27) — (25.4.29).

Зависимость проекций g_L и g_Φ градиента параметра ΔD на оси L и Φ от момента ΔT_\perp измерения до или после траверза (или от орбитальной долготы L) показана на рис. 25.5.1 при интервале интегрирования 24 с. Из рисунка следует, что бльшие величины градиентов

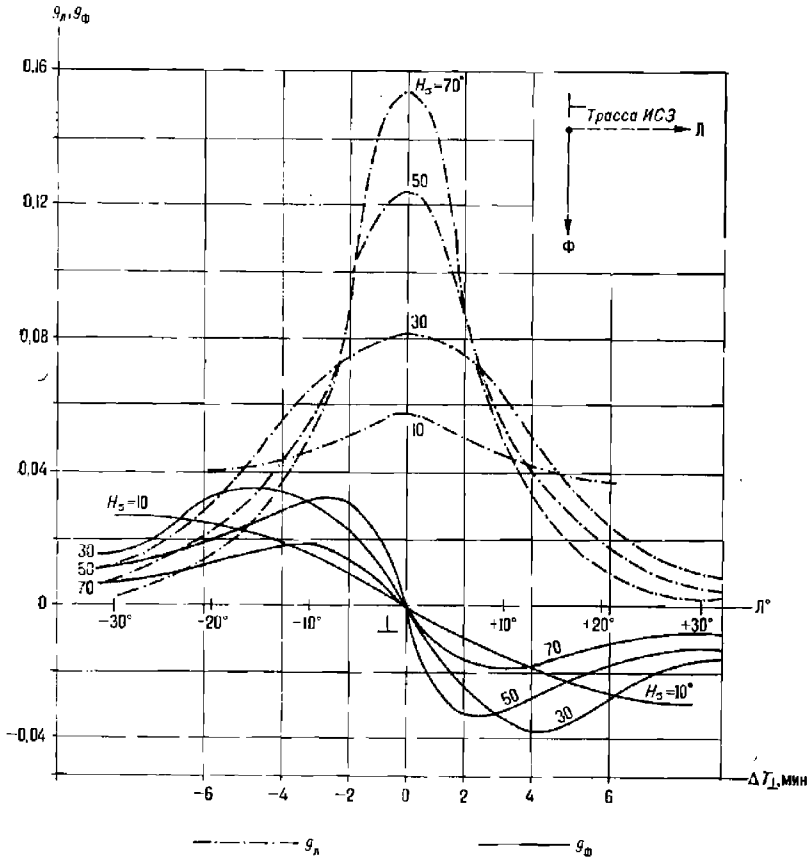


Рис. 25.5.1

имеет параллельная трассе составляющая погрешности M_L и меньшие — перпендикулярная трассе составляющая M_Φ ; следовательно, место корабля по СНС лучше определяется по орбитальной долготе и хуже — по орбитальной широте. Можно также установить те участки орбиты ИСЗ и моменты наблюдений относительно момента траверза ΔT_\perp , в которые одна из орбитальных координат определяется с погреш-

ностью меньшей, чем другая, или установить необходимую длительность измерений для получения наилучшей точности обсервации по любому направлению.

Пример 25.5.1. Ожидаемая высота кульминации $H_g = 30^\circ$. Определить, можно ли ограничиться измерениями в течение интервала времени $\Delta T_{св} = 6$ мин, располагая их симметрично траверзу \perp , если необходима обсервация высокой точности по любому направлению?

Решение. Наибольшее значение g_ϕ получается для $H_g = 30^\circ$ при $\Delta T_\perp = 4$ мин до и после траверза (рис. 25.5.1). Следовательно, измерения в интервале от $\Delta T_\perp = -3$ мин до $\Delta T_\perp = +3$ мин для решения поставленной задачи недостаточны; необходимо выполнить измерения навигационных параметров при $\Delta T_{св} = 10$ мин, располагая их за 5 мин до траверза и в течение 5 мин после траверза.

Величины геометрических факторов обсервации K_λ , K_ϕ , K_M и значения средних квадратических погрешностей M_λ , M_ϕ , M_o для полного числа симметричных измерений параметров при коротких интервалах интегрирования 20—30 с в зависимости от высоты кульминации H_g показаны на рис. 25.5.2. В наилучшем случае при $H_g = 25—55^\circ$ полная СКП обсервации составляет 110—120 м. При наблюдениях ИСЗ на малых высотах ($H_g < 30^\circ$) получается, что $M_\lambda \approx M_\phi$, и по мере уменьшения H_g они быстро увеличиваются; при $H_g < 10^\circ$ измерения становятся нецелесообразными. Погрешность обсервованного места по мере увеличения высоты кульминации приобретает выраженную направленность: погрешность определения места, направленная поперек трассы, оказывается в несколько раз больше погрешности, направленной вдоль трассы. При $H_g > 70^\circ$ СКП обсервации стремительно возрастает, но место корабля имеет малую погрешность вдоль трассы (по сравнению с погрешностью, направленной поперек трассы) и можно уточнить орбитальную долготу λ .

При необходимости полного учета направленности погрешностей обсервации они могут быть охарактеризованы эллисом погрешностей. Различные варианты ориентировки эллипса погрешностей применительно к решенным ниже примерам показаны на рис. 25.5.3.

Для ИСЗ типа «Космос-1000» (и вообще для ИСЗ с наклоном орбиты более 80°) при плавании в районах, имеющих географическую широту менее 60° , в первом приближении можно принимать:

СКП орбитальной долготы равной СКП географической широты обсервованного места ($M_\lambda \approx m_\varphi$);

СКП орбитальной широты равной СКП географического места по отстоянию ($M_\phi \approx m_w$ и $m_\lambda = m_w \sec \varphi$).

Высота кульминации ИСЗ H_g или соответствующее ей кратчайшее расстояние d от корабля до трассы являются удобными критериями качества обсервации, по которым можно ориентироваться как при планировании обсерваций по СНС, так и при оценке точности результата. В среднем случайные погрешности измерений навигационных параметров при кратчайшем расстоянии до трассы во время сеанса связи порядка 1100—200 миль ($15^\circ < H_g < 70^\circ$) в одноканальной СНА приводят к СКП обсервации $M_o = 150—170$ м, а в двухканальной 60—80 м. Точность обсервации оказывается примерно в 10 раз ниже точности измерения параметра (табл. 25.5.1), что объясняется очень невыгодными геометрическими условиями ее выполнения. Доплеровская СНС является радионавигационной системой гиперболического типа, где обсервации выполняются на большом удалении от базы при очень

малых величинах градиентов разности расстояний и изодоп; высокая точность конечного результата обуславливается лишь очень точными

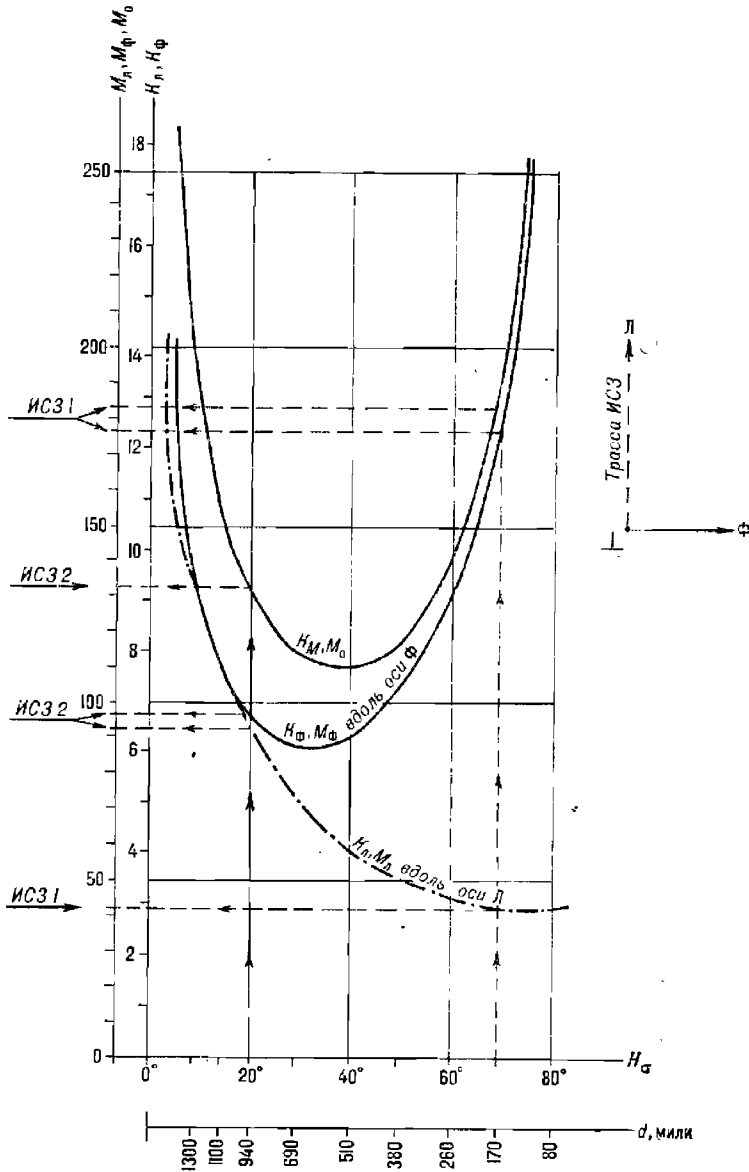


Рис. 25.5.2

измерениями навигационных параметров и большой избыточностью числа линий положения. Дополнительным критерием качества обсервации может являться определяемая в ходе обсервации частота рассогласования генераторов Δf_p ; на частоте 400 МГц она находится с погрешностью до 0,4 Гц (если d менее 1300 миль, а $H_\sigma > 10^\circ$).

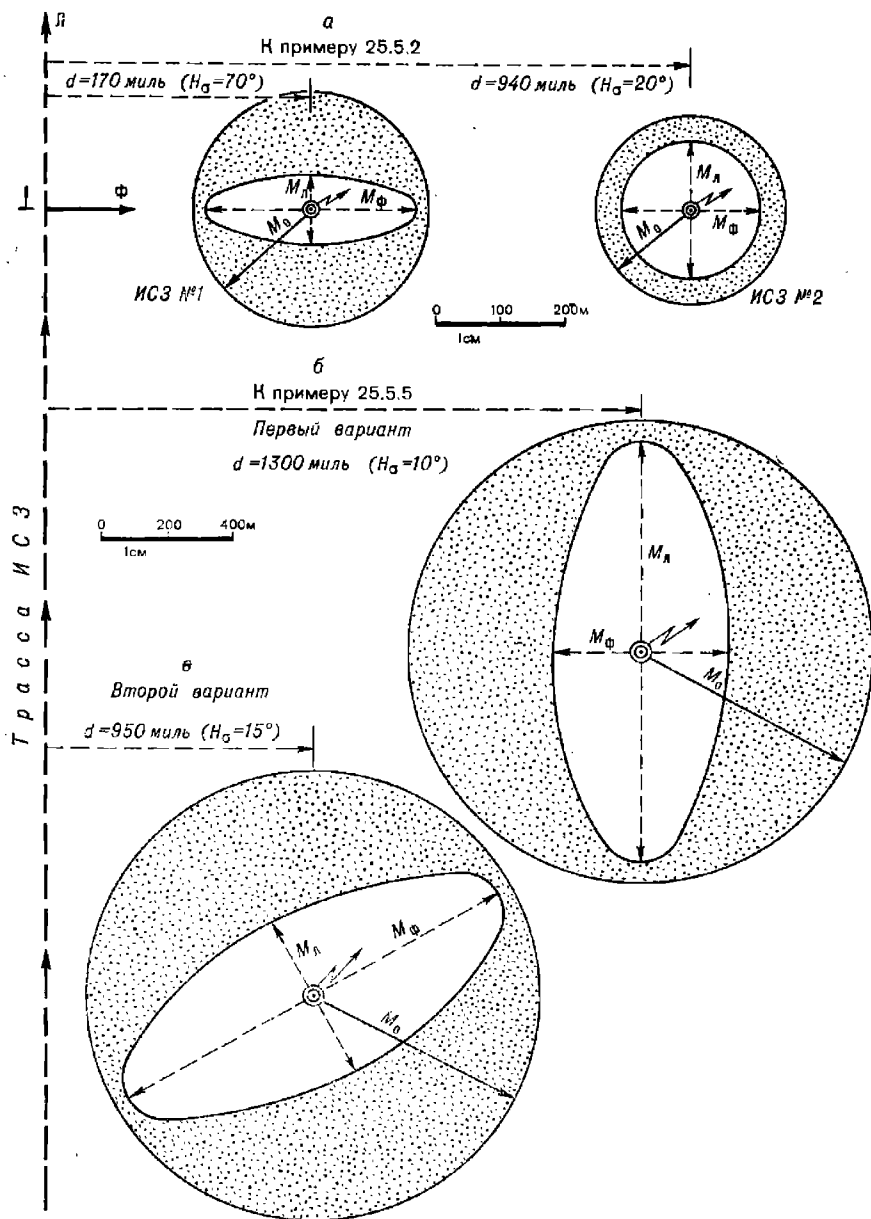


Рис. 25.5.3

Пример 25.5.2. При плавании в умеренных широтах намечены две наблюдения по одноканальной СНА по спутникам, проходящим с интервалом времени 18 мин на высотах кульминации $H_{\sigma_1}=70^{\circ}$ (ИСЗ № 1) и $H_{\sigma_2}=20^{\circ}$ (ИСЗ № 2). Определить, какая из этих наблюдений выгоднее для контроля счисления.

Решение. 1. Согласно табл. 25.3.2 длительность сеансов связи можно ожидать равной $\Delta T_{св} \approx 11$ мин и $\Delta T_{св} \approx 6$ мин, поэтому взаимные помехи ИСЗ не предадутся.

2. Значения СКП обсерваций, определяемые по рис. 25.5.2, сведены в следующую ниже таблицу.

Номер спутника	H_s	Погрешность, м		
		M_ϕ	M_λ	M_σ
1	70°	165	43	170
2	20	97	92	134

Следовательно, качество обсерваций по первому ИСЗ в целом ниже, чем по второму, но она может быть предпочтительнее, если требуется точное определение географической широты места наблюдений (рис. 25.5.3, а).

Вследствие помех могут быть частично или полностью потеряны измерения параметра до или после траверза. Такие измерения называют *частично несимметричными* или *полностью несимметричными*. Чаще всего они возникают при одновременном нахождении в зоне связи двух ИСЗ. Обсервации могут также выполняться при симметричном, но неполном числе возможных измерений параметра в данном сеансе связи; возможность такой обсервации предусматривается в некоторых моделях СНА, что позволяет сокращать длительность сеанса связи или ограничивать время наблюдения на невыгодных высотах.

Характеристика точности обсерваций при сокращенном сеансе связи и симметричных измерениях параметра представлена на рис. 25.5.4 (величины M_λ и M_ϕ) и на рис. 25.5.5 (СКП обсервации M_σ). Из этих рисунков можно заключить, что при $H_s > 20^\circ$ сокращение числа измерений N до 15—20 незначительно сказывается на точности определения координат места корабля и поэтому в этих пределах длительность $\Delta T_{св}$ сеанса связи можно ограничивать. При $\Delta T_{св} < 8$ мин ($N < 20$) и H_s менее 20° погрешность обсервации стремительно растет.

Пример 25.5.3. Выполнена обсервация по одноканальной СНА при $H_s = 50^\circ$ и сокращенном числе симметричных измерений $N = 26$. Оценить точность выполненной обсервации и ее возможную точность при использовании двухканальной СНА.

Решение. Согласно рис. 25.5.4 по $N = 26$ для $H_s = 50^\circ$ получаем $M_\lambda = 60$ м и $M_\phi = 100$ м; по рис. 25.5.5 имеем $M_\sigma = 117$ м.

При работе с двухканальной СНА (а также с одноканальной СНА в ночных условиях), как отмечено выше, погрешности измерений меньше в 2—3 раза. Поэтому имели бы $M_\sigma = 117 : 2 \approx 60$ м.

Характеристика точности обсерваций при частично несимметричных измерениях дана на рис. 25.5.6 (величины M_λ и M_ϕ) и на рис. 25.5.7 (СКП обсервации M_σ). Искомые величины получаются входом по количеству N_1 неполных измерений до (или после) траверза или же по сокращенному интервалу времени измерений до (или после) траверза ΔT_1 ; предполагается, что по другую сторону от траверза потеря в измерениях не было.

При несимметричных измерениях изменяется ориентировка эллипса погрешностей обсервации относительно трассы (рис. 25.5.3, в): при $H_s = 15^\circ$ большая полуось эллипса отклоняется от перпендикуляра к трассе на угол, равный 30° , который увеличивается по мере уменьшения H_s .

Погрешности полностью несимметричных обсерваций превышают погрешности симметричных обсерваций в 3—3,5 раза и применение их без особой необходимости не рекомендуется. Представление об их точности можно получить при входе по $N = 0$ в графики на рис. 25.5.6 и 25.5.7.

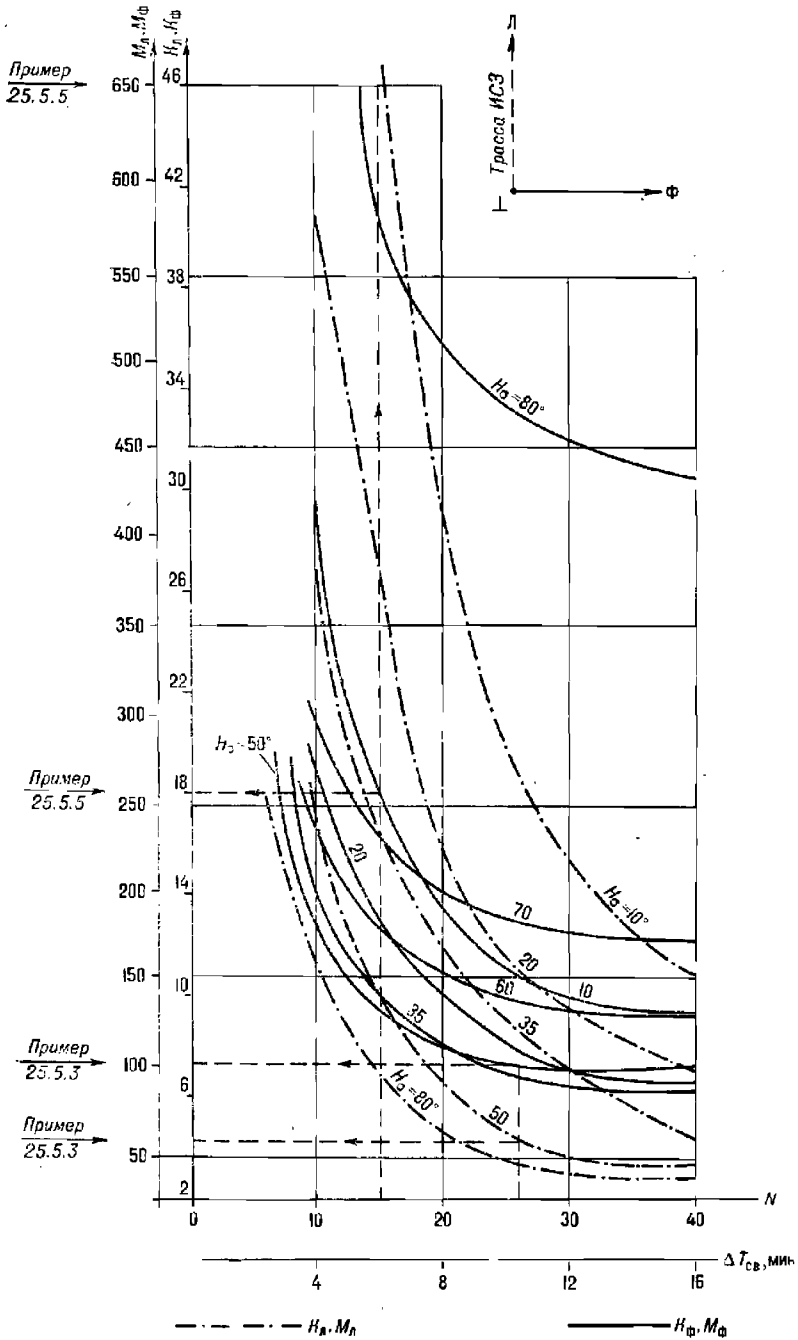


Рис. 25.5.4

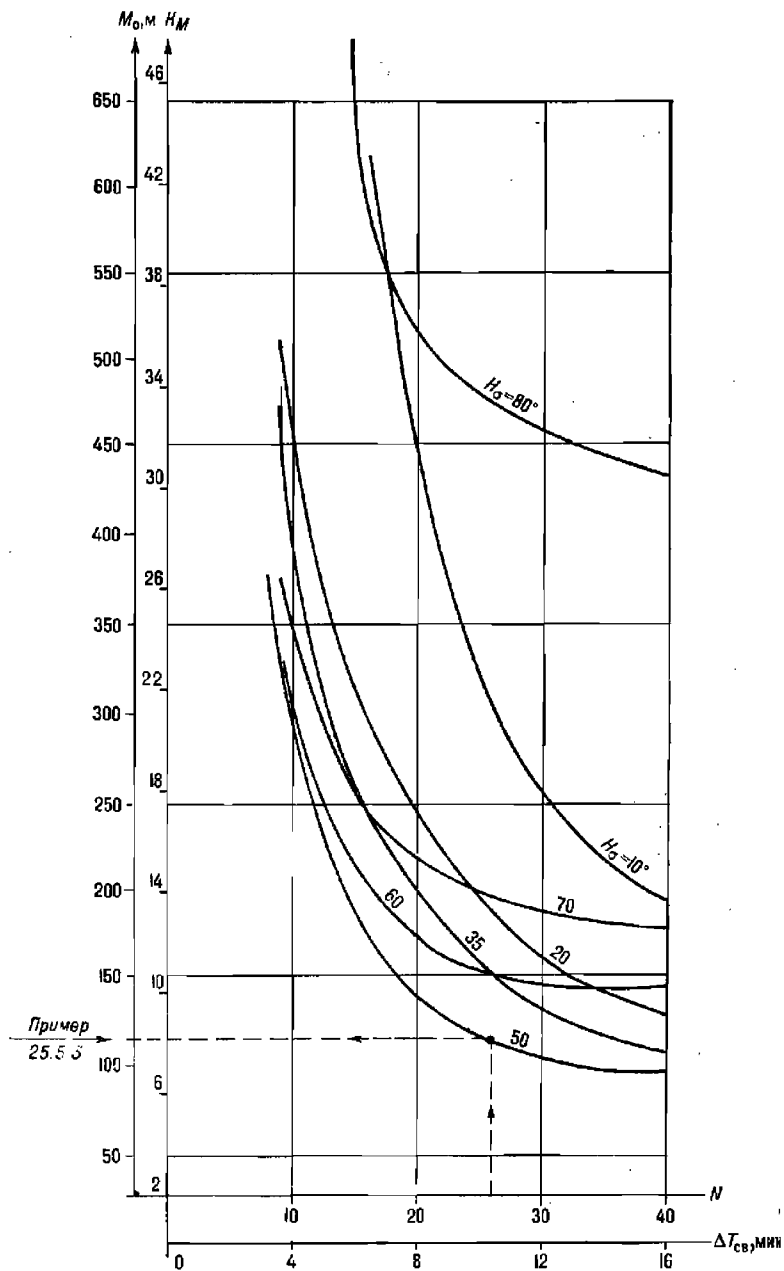


Рис. 25.5.5

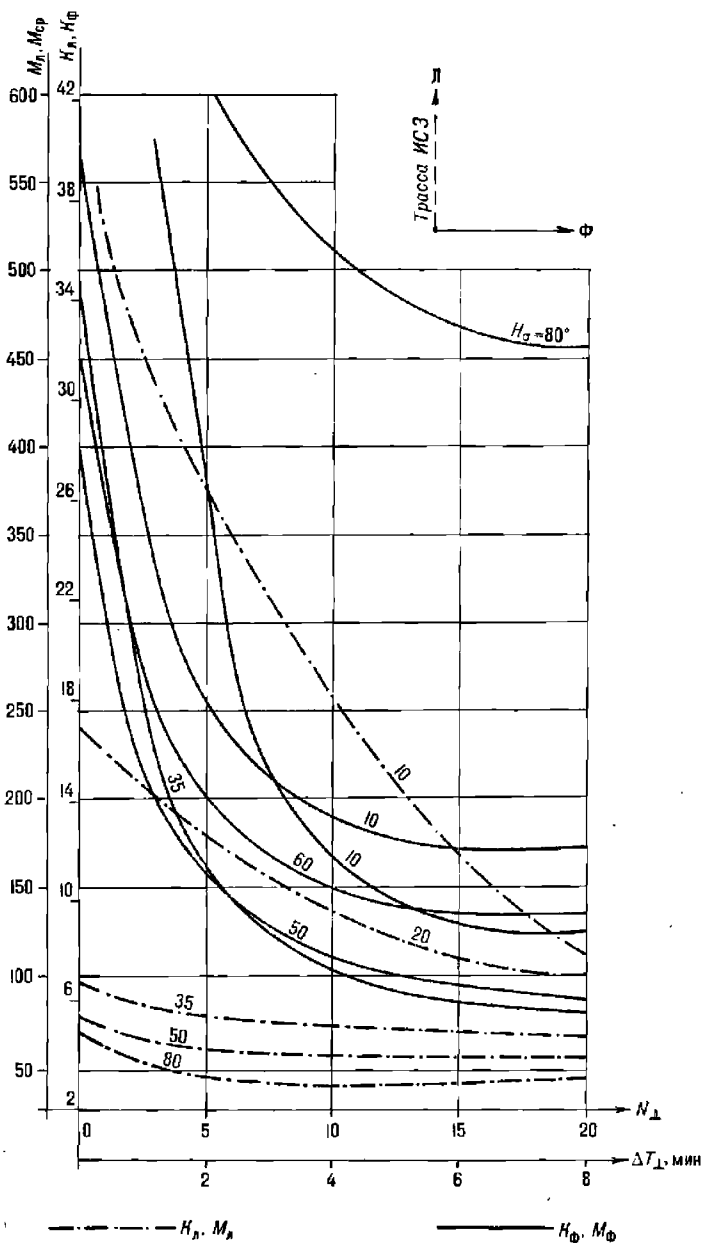


Рис. 25.5.6

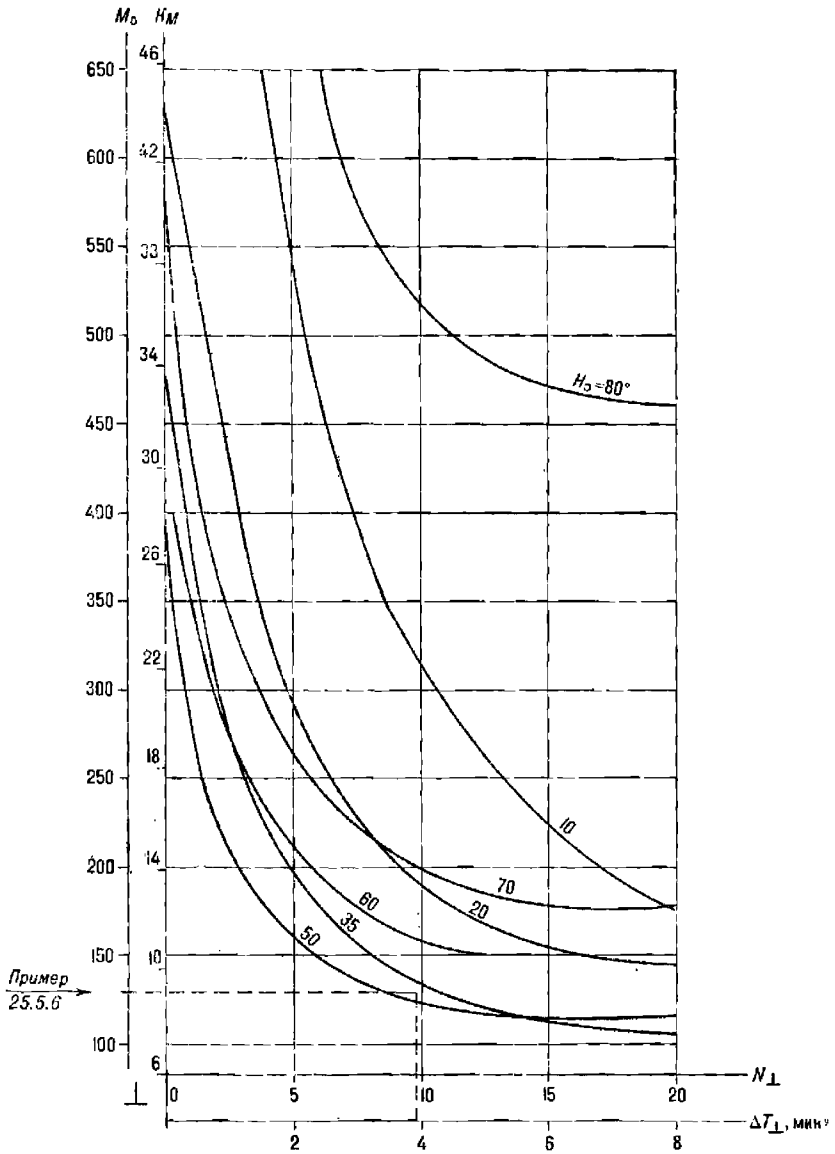


Рис. 25.5.7

Пример 25.5.4. Оценить точность дневной обсервации по одноканальной СНА при $H_a = 70^\circ$ в вариантах симметричных и полностью несимметричных измерений навигационного параметра.

Решение. 1. Для симметричной обсервации в примере 25.5.2 имели для ИСЗ № 1 $M_\lambda = 43$ м, $M_\phi = 165$ м и $M_o = 170$ м, показанные на рис. 25.5.3, а.

2. Для полностью несимметричной обсервации, входи в графики на рис. 25.5.6 и 25.5.7 по $N_\perp = 0$, имеем $M_\phi = 600$ м, $M_\lambda = 70$ м и $M_o \approx 600$ м, т. е. результат хуже в 3,6 раза. Но он может быть принят для уточнения географической широты места, поскольку M_λ мала.

Пример 25.5.5. Сравнить точность обсервации по одноканальной СНА при 15 измерениях параметра:

— в варианте симметричных наблюдений при кратчайшем расстоянии до трассы $d = 1300$ миль (первый вариант);

— в варианте полностью несимметричных наблюдений при $d = 950$ миль (второй вариант).

Решение. В первом варианте согласно табл. 25.3.1 величине $d = 1300$ миль соответствует $H_a = 10^\circ$. Согласно рис. 25.5.4 и 25.5.5 имеем: $M_\lambda = 650$ м, $M_\phi = 260$ м

$$\text{и } M_o = \sqrt{M_\lambda^2 + M_\phi^2} = 700 \text{ м.}$$

Большая полуось эллипса погрешностей ориентирована вдоль трассы, как показано на рис. 25.5.3, б.

Во втором варианте согласно табл. 25.3.1 величине $d = 950$ миль соответствует $H_a = 20^\circ$ и согласно рис. 25.5.6 и 25.5.7 при $N_\perp = 0$ получаем: $M_\lambda = 600$ м, $M_\phi = 240$ м и $M_o = 650$ м.

Условия выполнения обеих обсерваций неблагоприятны; место корабля лучше уточняется по перпендикуляру к трассе (по географическому отступению при наклонении орбиты $i > 80^\circ$ и широте места $\varphi < 60^\circ$), чем вдоль трассы.

Пример 25.5.6. Определить возможность сокращения времени измерений после траверза для обсервации при удалении корабля на 500 миль от трассы, если допустимо снижение точности обсервации на 20 % от наилучшей возможной в данных условиях.

Решение. По табл. 25.3.1 при $d = 500$ миль имеем $H_a \approx 40^\circ$ и в наилучшем случае согласно рис. 25.5.2 получаем $M_o = 110$ м.

Допустимая погрешность места: $M_o = 110 + 0,20 \times 110 = 132$ м. По рис. 25.5.7 выясняется, что при $H_a = 40^\circ$ такая погрешность возможна при прекращении измерений спустя 4 мин после прохождения ИСЗ через точку траверза.

Пример 25.5.7. По условию предыдущего примера определить возможность сокращения измерений как до траверза, так и после траверза.

Решение. Для допустимой $M_o = 132$ м согласно рис. 25.5.5 при $H_a = 40^\circ$ и сокращенной длительности сеанса связи необходимо иметь около 28 измерений параметра в течение $\Delta T_{св} = 11$ мин. Поэтому можно ограничиться измерениями параметра в течение 6 мин до и после траверза.

Рассмотренная методика экспресс-оценки точности обсервации в ходе сеанса связи с ИСЗ с использованием рис. 25.5.1—25.5.7 позволяет наилучшим образом применять СНС при решении навигационных задач и оценивать точность результата. При значениях $m_{\Delta D}$, отличных от указанных в табл. 25.5.1, величины M_λ , M_ϕ , M_o вычисляются с помощью геометрических факторов K_λ , K_ϕ , K_m и формул (25.4.44).

Экспресс-оценка СКП M_λ , M_ϕ , M_o особенно удобна при расчетах вероятнейшего места из нескольких обсерваций по СНС (см. § 28.4), когда необходимо учитывать вес каждой обсервации или ее погрешность по какому-либо направлению.

Геодезические погрешности обсервации. Эти погрешности связаны прежде всего с учетом величины местного геоцентрического радиуса антенны СНА $r_m = R_m + h_{\text{ант}}$. Если он больше величины, введенной в СЦВМ СНА, то место корабля смещается по направлению к трассе; если r_m меньше введенной в СЦВМ величины, то место смещается по направлению от трассы. Высота антенны над принятым в СНС референц-эллипсоидом вводится в СНА штурманом. Погрешности определе-

ния высоты антенны СНА могут быть вызваны неточным знанием формы поверхности Мирового океана и колебаниями уровня океана. Вводимая в СНА высота антенны является суммой высоты антенны над уровнем моря h_e , измеряемой непосредственно на корабле, и величины превышения высоты геоида (уровня моря) над референц-эллипсоидом h_r — «геоидной высоты», определяемой по специальной карте (рис. 25.5.8) или по специальной таблице. Геоидная высота может иметь погрешность Δh_r порядка 10—20 м и ее влияние максимально проявляется при измерениях вблизи точки кульминации ИСЗ, создавая погрешность в орбитальной широте $\Delta \Phi$, выражаемую приближенной формулой $\Delta \Phi = \Delta h_r \operatorname{tg} N_e$; числовые ее значения при погрешности определения высоты антенны 10 м представлены в табл. 25.5.2.

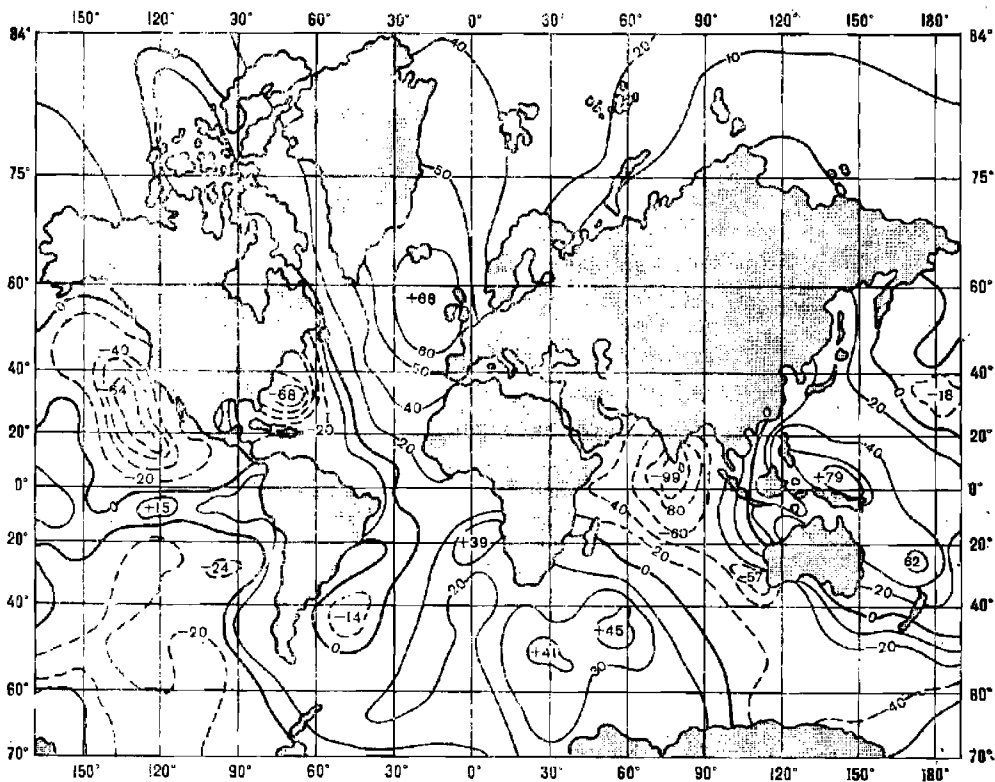


Рис. 25.5.8

Различия в опорных геодезических системах координат и в алгоритме решения навигационной задачи СЦВМ СНА, могут явиться дополнительным источником погрешностей обсервованного места, значения которых могут достигать 100 м и больше. Эти погрешности могут быть устранены двумя путями:

— сравнением полученных за 10—15 сеансов связи с ИСЗ при стоянке корабля вероятнейших координат с координатами его места, найденными по крупномасштабной карте места стоянки; вывленное рас-

Таблица 25.5.2

H'_z	10	15	20	30	40	50	60	70	80
$\Delta\Phi$, м	2	3	4	6	8	12	20	30	60

хождение координат в дальнейшем учитывается как поправка при плавании в данном районе;

— заблаговременным вычислением поправок координат по известным отклонениям элементов референц-эллипсоида, принятого при составлении карты, от принятого в СНС.

В последнем варианте, если известна геодезическая основа карты, то поправки к обсервованным по СНС координатам $\Delta\varphi'_r$ и $\Delta\lambda'_r$ вычисляются по формулам М. С. Молоденского:

$$\Delta\varphi'_r = \frac{3438}{M_{\text{СНС}}} \{ \Delta x \sin \varphi_{\text{СНС}} \cos \lambda_{\text{СНС}} + \Delta y \sin \varphi_{\text{СНС}} \sin \lambda_{\text{СНС}} - \Delta z \cos \varphi_{\text{СНС}} - [a_k (a_{\text{СНС}} - a_k) + \alpha_k (a_{\text{СНС}} - a_k)] \sin 2\varphi_{\text{СНС}} \}; \quad (25.5.4)$$

$$\Delta\lambda'_r = \frac{3438}{N_{\text{СНС}} \cos \varphi_{\text{СНС}}} (\Delta x \sin \lambda_{\text{СНС}} - \Delta y \cos \lambda_{\text{СНС}}), \quad (25.5.5)$$

где Δx , Δy , Δz — смещения центра референц-эллипсоида карты от центра эллипсоида, принятого в СНС, по осям прямоугольной системы координат (табл. 25.5.3), м;

M и N — радиусы кривизны сечения эллипсоида по меридиану и по первому вертикалу соответственно (см. § 1.2);
 a и α — большая полуось и сжатие эллипсоида.

В этих формулах символом СНС обозначены величины, используемые в США, а символом k величины референц-эллипсоида карты.

Таблица 25.5.3

Основные параметры геодезических систем

Геодезическая система	Большая полуось a , м	Сжатие α	Смещение от центра ВГС—72, м		
			Δx	Δy	Δz
ВГС—72 (WGS—72)	6 378 135	1: 298,26	0	0	0
Европейская (Хей-форд)	6 378 388	1: 297,00	—84	—103	—127
Токийская (Бессель)	6 377 397	1: 299,15	—140	+516	+673

В табл. 25.5.3 даны величины для карт, основанных на Европейской и Токийской системах координат, и для СНС «Транзит» (всемирная геодезическая система координат ВГС—72). Поправки с полученными знаками прибавляются к обсервованным по СНС координатам $\varphi_{\text{СНС}}$, $\lambda_{\text{СНС}}$.

Для низкоорбитальных СНС с приемлемой в навигации точностью поправки $\Delta\varphi'_r$, $\Delta\lambda'_r$ можно вычислять заранее по значениям сислимых координат корабля или по данным предварительной прокладки, используя приближенные формулы:

$$\Delta\varphi'_r = \frac{3438}{a_{\text{СНС}}} [(\Delta x \cos \lambda + \Delta y \sin \lambda) \sin \varphi - \Delta z \cos \varphi - a_k (a_{\text{СНС}} - a_k) \sin 2\varphi]; \quad (25.5.6)$$

$$\Delta \lambda'_T = \frac{3438}{a_{\text{СНС}} \cos \varphi} (\Delta x \sin \lambda - \Delta y \cos \lambda). \quad (25.5.7)$$

Пример 25.5.8. По СНС «Транзит» получены obserвированные координаты $\varphi_0 = 60^\circ 30,70' \text{ N}$, $\lambda_0 = 4^\circ 15,40' \text{ E}$. Рассчитать поправки $\Delta \varphi_T$ и $\Delta \lambda_T$, а также координаты φ_K , λ_K для нанесения obserвированного места на карту, составленную в Европейской геодезической системе координат (эллипсоид Хейфорда).

Решение.

$$\Delta \varphi'_T = \frac{3438}{6378135} \left[(-84 \cos 4,25^\circ - 103 \sin 4,25^\circ) \sin 60,51^\circ - (-127) \cos 60,51^\circ - \right. \\ \left. - 6378388 \left(\frac{1}{298,26} - \frac{1}{297,00} \right) \sin 121^\circ \right] = +0,04',$$

$$\Delta \lambda'_T = \frac{3438}{6378135 \cos 60,51^\circ} (-84 \sin 4,25^\circ + 103 \cos 4,25^\circ) = +0,11',$$

$$\varphi_K = 60^\circ 30,74' \text{ N}, \lambda_K = 4^\circ 15,51' \text{ E}.$$

Погрешности obserвации вследствие ввода в СНА неточных навигационных данных (навигационные погрешности). Эти погрешности возникают вследствие неточного учета путевой скорости и пути корабля, существовавших в течение сеанса связи по причине недостоверных данных о течении и дрейфе, неточного знания поправок компаса и лага. Например, погрешность учета течения, равная 1 уз (0,5 м/с), при интервале интегрирования $t_n = 24$ с вызовет погрешность определения навигационного параметра, равную $0,5 \text{ м/с} \times 24 \text{ с} = 12 \text{ м}$, что соизмеримо с погрешностью радионавигационного параметра одноканальной СНА (табл. 25.5.1). Вследствие изложенного при определении линии положения возникает погрешность, равная 200 м (если среднее значение градиента $g_{\Delta D} = 0,06$).

Навигационные погрешности орбитальных координат корабля более полно можно оценить по графикам на рис. 25.5.9, соответствующим погрешности путевой скорости (или ее составляющих по координатным осям), равной 1 уз. Приближенно можно полагать, что погрешности координат $\Delta \Phi$ и ΔL находятся в линейной зависимости от составляющих погрешности путевой скорости ΔV_Φ и ΔV_L при любых интервалах интегрирования. Это позволяет пользоваться рис. 25.5.9 при различных погрешностях определения путевой скорости и при разных интервалах t_n .

График 1 позволяет по высоте H_0 кульминации или по кратчайшему расстоянию d до трассы найти:

- погрешность орбитальной широты $\Delta \Phi_1$, вызываемую проекцией погрешности скорости корабля ΔV_L вдоль трассы;
- погрешность орбитальной долготы ΔL_1 , вызываемую проекцией ΔV_Φ поперек трассы.

График 2 позволяет по количеству N измерений параметра или по длительности сеанса связи $\Delta T_{\text{св}}$ найти:

- погрешность орбитальной широты $\Delta \Phi_2$, вызываемую проекцией ΔV_Φ поперек трассы;
- погрешность орбитальной долготы ΔL_2 , вызываемую проекцией ΔV_L вдоль трассы.

Наиболее существенное влияние на точность obserвации оказывает погрешность $\Delta \Phi_1$. Погрешность ΔL_1 наиболее заметна при малых H_0 . Погрешности $\Delta \Phi_2$ и ΔL_2 в основном зависят от длительности сеанса связи и их влияние можно уменьшить рациональным выбором длительности измерений навигационных параметров (рис. 25.5.4 и 25.5.5).

Анализ возможного влияния погрешности учета движения корабля

во время сеанса на точность обсервации особенно важно производить перед проходом навигационных опасностей, узкостей и т. п. При $\varphi < 60^\circ$ проекцию погрешности определения скорости корабля ΔV_λ вдоль

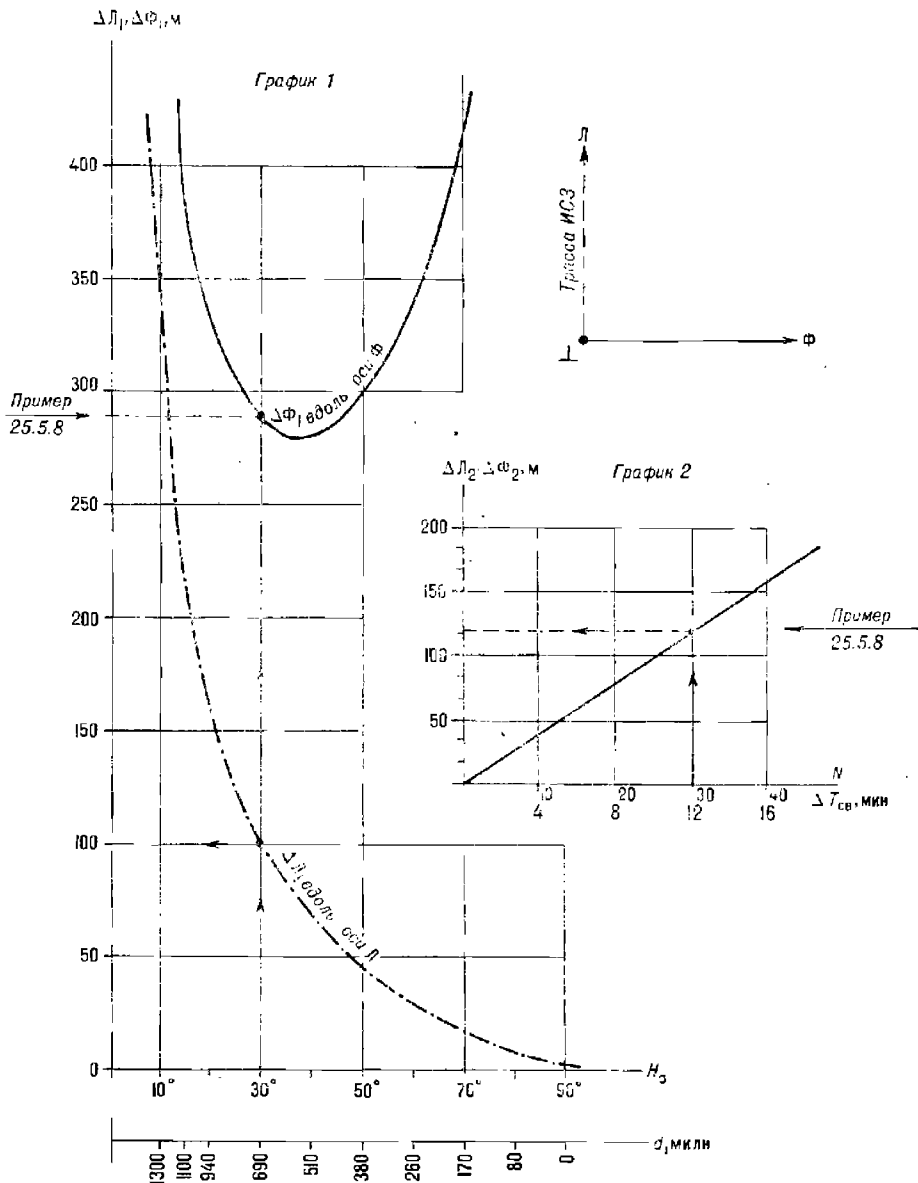


Рис. 25.5.9

трассы можно принимать равной проекции погрешности определения скорости корабля ΔV_{N-s} на линию географического меридиана, а проекцию погрешности скорости корабля ΔV_ϕ поперек трассы равной

проекции погрешности определения скорости корабля ΔV_{E-w} на линию географической параллели (если наклонение орбиты ИСЗ $i > 80^\circ$).

Пример 25.5.9. Обсервация по СНС выполнена на широте $\varphi = 30^\circ N$; число полученных линий положения $N = 30$, кратчайшее расстояние до трассы $d = 700$ миль; $H_s = 30^\circ$. Погрешность вектора путевой скорости ΔV принята равной 1 уз по направлению $ПУ = 45^\circ$. Оценить возможные погрешности координат обсервованного места.

Решение. 1. Проекция погрешности вектора путевой скорости: $\Delta V_x = \Delta V \cos ПУ = 0,7$ уз; $\Delta V_\phi = \Delta V \sin ПУ = 0,7$ уз.

2. Погрешности обсервованных координат:

в географической широте $\Delta \varphi \approx \Delta L = \Delta L_1 + \Delta L_2 = 0,7 (100 + 120) = 154$ м;

в отшестивии $\Delta \omega \approx \Delta \Phi = \Delta \Phi_1 + \Delta \Phi_2 = 0,7 (290 + 120) = 287$ м.

В обобщенном виде полная СКП обсервации по СНС с использованием ИСЗ типа «Космос-1000» для одноканальной СНА может быть принята равной $M_0 \approx 260$ м (при условии безошибочного определения и учета вектора путевой скорости корабля); для двухканальной СНА погрешность $M_0 \approx 180$ м. Дополнительная погрешность обсервации, при погрешности в путевой скорости 1 уз, составляет 80—370 м в зависимости от типа СНА (указывается в ее технической документации).

Погрешность обсервованного места, обусловленная неточным вводом пути и путевой скорости, не зависит от интервала интегрирования и от принятого в конкретном образце СНА момента, на который определяются координаты корабля (на начало измерений, на середину сеанса измерений и т. п.). Величина этой погрешности может быть столь значительной, что полученное место окажется счислимо-обсервованным.

Эффективность применения СНС типа «Цикада» в морской навигации. Эффективность СНС проявляется в повышении качества решения поставленной кораблю задачи (в повышении экономических показателей плавания судна) и навигационной безопасности.

Достоинством СНС является прежде всего высокая точность определения места корабля в любом районе Мирового океана и при любых погодных условиях. В силу этого СНС может служить основой для работы автоматизированного навигационного комплекса, обеспечивающего точное движение корабля по заданному маршруту и освобождающего штурмана от множества вычислений.

На эффективность СНС существенно влияет дискретность получаемых обсерваций, значение которой обратно пропорционально количеству ИСЗ в системе и зависит от взаимного расположения орбит ИСЗ. Если в составе СНС работают четыре ИСЗ при высоте их полета $h_n = 1000$ —1100 км, а узлы орбит ИСЗ расположены наилучшим образом, то достигается в среднем интервал времени между обсервациями, показанный в табл. 25.5.4. Но при нарушении оптимальных условий движения спутников интервалы между обсервациями, имеющими удовлетворительное качество, могут увеличиваться до 6—10 ч.

Таблица 25.5.4

Средний интервал времени между обсервациями по СНС типа «Цикада»

Широта места	0—30°	31—55°	56—75°	76—90°
Интервал, мин	120	80	55	35

Точность определения места корабля в интервале между обсервациями по СНС зависит от условий плавания и совершенства техниче-

ских средств, применяемых для измерения пути и пройденного расстояния, а также от совершенства математического аппарата, используемого при решении задачи счисления. На рис. 25.5.10 показаны графики ожидаемой точности плавания в океане для средних условий, если интервал времени между наблюдениями по СНС составляет 1,5 ч и счисление ведется:

- по гирокомпасу и относительному лагу (точечная линия),
- по гирокомпасу и абсолютному лагу (пунктирная линия),
- по данным РНС типа «Омега», гирокомпасу, абсолютному лагу с оптимальной фильтрацией результатов измерений навигационных параметров (сплошная линия).

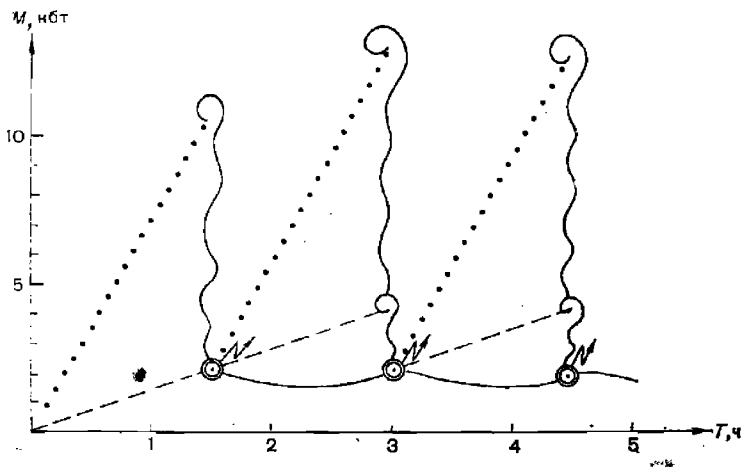


Рис. 25.5.10

Все наблюдения по СНС принято подразделять на надежные, ненадежные и потерянные. Вероятность получения надежной наблюдения во время сеанса связи зависит от высоты кульминации ИСЗ, степени симметричности выполненных измерений, потребовавшегося количества итераций при решении навигационной задачи, количества выполненных измерений навигационных параметров, помех от другого ИСЗ. Для современных СНС доплеровского типа статистическая вероятность надежных наблюдений составляет от 50 до 70 %; суммарная вероятность получения надежных и ненадежных наблюдений близка к 85 %, уменьшаясь в высоких широтах (что отчасти компенсируется лучшей дискретностью сеансов связи). Надежные наблюдения автоматически принимаются в СНА для исправления счисления пути, ведущегося СЦВМ.

Существует много вариантов СНА, отличающихся по числу каналов связи с ИСЗ, интервалам интегрирования, объему вводимой и выводимой информации, критериям надежности результата наблюдения и способам его индикации, качеству программы, введенной в СЦВМ СНА, по способам проверки работы СНА и по объему дополнительно решаемых навигационных задач. Детальные правила работы с конкретной СНА даются в техническом описании и инструкции по ее эксплуатации.

Начальным этапом работы при использовании СНС является предварительное планирование сроков и условий проведения наблюдения, основы которого изложены в § 25.3. СНА имеет высокую надежность и рассчитана на непрерывную работу в течение нескольких десятков

тысяч часов, поэтому ввод ее в действие целесообразно производить в начале похода, хотя вполне возможен дискретный ввод СНА в работу на предвычисленный сеанс связи. Однако в дискретном варианте включения возможности СНА используются не полностью.

Наилучшее качество обсервации получается при оптимальном выборе режима измерений во время сеанса — по методике, поясненной в примерах настоящего параграфа.

Необходимыми исходными данными для работы СНА являются:

— координаты счислимго места корабля φ_c, λ_c (с допустимой погрешностью ввода $1-3^\circ$);

— стандартное время, принятое для работы СНС (например, московское зимнее время или всемирное время; допустима погрешность ввода времени до 15 мин);

— календарная дата или порядковый номер дня в году (указан в МАЕ);

— высота антенны над принятым в СНС референц-эллипсоидом (с учетом приливных явлений, если они значительны); высота антенны должна уточняться на каждой вахте и дополнительно — перед обсервацией при большой высоте H_0 кульминации ИСЗ;

— путь, путевая скорость корабля, поправки компаса и лага.

Существует несколько вариантов ввода данных о движении корабля. Ввод курса и скорости может быть как ручным, так и автоматическим (последний предпочтительнее для получения точного результата); ввод начальных данных в СНА лучше всего производить на стоянке корабля, а после ввода проверить правильность работы СНА. Учет сноса в СНА может быть выполнен в трех вариантах:

— ручным вводом элементов сноса, определенных штурманом;

— полуавтоматическим учетом элементов сноса, вычисленных СЦВМ СНА и вводимых в СНА штурманом после их анализа;

— автоматическим учетом элементов сноса, полученных СЦВМ СНА по ряду последовательных обсерваций.

Для вычисления элементов сноса в СНА используются разные алгоритмы (по результатам двух последних обсерваций и др.), но все они при существующей дискретности обсерваций (см. табл. 25.5.4) не дают точного результата в районах с переменными течениями.

В районах с приливными течениями допустим только ручной вариант ввода; при большой дискретности обсерваций автоматический режим учета элементов сноса может дать большие погрешности.

Точность и надежность обсервации оценивается в СНА либо по единому обобщенному критерию, либо по нескольким критериям раздельно. Считается, что обсервация имеет низкое качество, если:

— при коротких интервалах интегрирования ($t_{\text{и}}=20-30$ с) высота кульминации ИСЗ менее 15° или более 70° ;

— измерения были полностью несимметричными;

— при коротких интервалах интегрирования количество измерений навигационного параметра оказалось менее допустимого ($N < 10-15$);

— решение выполнено при большом числе итераций (более 5-7);

— наблюдались помехи от другого ИСЗ;

— невязка обсервованного места и выработанного СНА счислимго места оказалась больше допустимой, предусмотренной программой СНА.

Реализация даже одного из перечисленных критериев служит достаточным основанием для того, чтобы считать обсервацию выполненной с низким качеством. Но это не означает полной непригодности обсервации для навигационных целей; признак низкого качества указывает лишь на возможность получения обсервации неудовлетворительной

точности. В среднем погрешности подобных обсерваций составляют около 0,5 мили, и их результаты могут использоваться вдали от опасностей при больших интервалах времени между надежными обсервациями. Важнейшей задачей штурмана при работе со СНА является анализ результатов всех полученных обсерваций в сопоставлении со всей имеющейся навигационной информацией и принятие решения об учете обсерваций для контроля счисления.

Для наиболее полного использования возможностей какого-либо конкретного типа СНА целесообразно точно регистрировать фактическое время начала и конца сеанса связи. Это позволит более обоснованно оценивать точность обсервации, учитывать влияние зависящей от длительности измерений погрешности за счет неточного знания вектора скорости корабля. Наличие в СНА сигнализации о качестве приема навигационного сигнала позволяет оценить уровень помех и участок орбиты, на котором измерения были плохими или отсутствовали, оценить степень симметричности выполненных измерений относительно момента траверза. Наблюдения за условиями приема сигналов имеют особое значение в случае нахождения в зоне связи двух ИСЗ одновременно, так как при этом возникает возможность «перезахвата» и искажения сигналов.

Независимо от критериев оценки качества обсервации, заложенных в используемый на корабле образец СНА, штурман должен иметь собственное суждение о точности обсервации, обращая внимание прежде всего на высоту кульминации ИСЗ, симметричность измерений, количество полученных линий положения, характер невязки, появление в зоне видимости другого ИСЗ. Для выявления промахов можно использовать значение относительного сдвига частот опорных генераторов ИСЗ и СНА, наблюдаемого при обсервации: изменение сдвига частот при последовательных обсервациях по одному и тому же ИСЗ на величину более 1—1,5 Гц указывает на возможность большой погрешности в обсервации, а при изменении сдвига частот на 2,5—3 Гц — на грубые погрешности в работе СНА.

Особенности обсерваций по СНС в высоких широтах. В географических широтах более 62° ИСЗ, движущиеся по полярным и близким к ним орбитам, наблюдают с корабля на каждом их витке. Как отмечалось выше, это уменьшает интервалы времени между обсервациями; но вместе с тем увеличивается вероятность взаимных помех двух и более ИСЗ в зоне видимости. В результате увеличивается число несимметричных обсерваций пониженной точности, появляются ненадежные обсервации, максимальные интервалы времени между обсервациями в отдельные периоды существования СНС могут увеличиться до 8—10 ч. По спутникам, обращающимся по полярным орбитам, нельзя получить место корабля вблизи географического полюса, где высота кульминации $H_c \approx 90^\circ$, а в околполюсном районе точность обсерваций понижается. По изложенным причинам точность ненадежных обсерваций должна анализироваться более тщательно с целью установления возможности контроля счисления по их результатам.

Необходимость наблюдать ИСЗ при больших значениях высоты кульминации требует от штурмана более точного и более часто ввода поправки на высоту антенны над принятым в СНС референц-эллипсоидом, более тщательного учета вектора скорости корабля. В некоторых случаях может быть полезным застопорить ход на время сеанса связи с ИСЗ.

Оценка точности обсервации в высоких широтах возможна только в орбитальной системе координат. Погрешности орбитальных координат

при необходимости можно пересчитать в погрешности географических координат следующим путем:

— по известной высоте кульминации H_c из табл. 25.4.6 получить орбитальную широту корабля Φ ;

— по известным считаемым или obserвованным координатам корабля φ , λ и орбитальной широте Φ и наклонению i орбиты найти широту φ_{\perp} точки траверза на трассе по формуле

$$\varphi_{\perp} = \arcsin \frac{\sin \varphi - \sin \Phi \cos i}{\cos \Phi}; \quad (25.5.8)$$

здесь $\Phi > 0$, если корабль слева от трассы, и $\Phi < 0$, если корабль справа от трассы;

— найти с помощью планшета (рис. 25.3.4) или вычислить угол между географическим меридианом места корабля и направлением на точку траверза (пеленг точки траверза Π_{\perp}):

$$\Pi_{\perp} = \arccos \frac{\sin \varphi_{\perp} - \sin \varphi \cos \Phi}{\cos \varphi \sin \Phi}; \quad (25.5.9)$$

— зная Π_{\perp} и ориентировку эллипса погрешностей обсервации относительно орбитальной системы координат (см. формулы 25.4.40—25.4.42), нетрудно найти проекции полуосей эллипса на географический меридиан и параллель места корабля.

Пример 25.5.10. Намечена обсервация по СНС на широте $\varphi = 80^\circ$ N при симметричных наблюдениях ИСЗ. Наклонение орбиты $i = 81^\circ$, ожидаемая высота кульминации $H_c = 80^\circ$. Оценить ориентировку эллипса погрешностей обсервации, если корабль находится слева от трассы.

Решение. Согласно табл. 25.4.6 высоте $H_c = 80^\circ$ соответствует орбитальная широта $\Phi = 1,4^\circ$.

Широта φ_{\perp} точки траверза по формуле (25.5.8): $\varphi_{\perp} = \arcsin \frac{\sin 80^\circ - \sin 1,4^\circ \cos 81^\circ}{\cos 1,4^\circ} = 78,9^\circ$.

Пеленг Π_{\perp} точки траверза по формуле (25.5.9): $\Pi_{\perp} = \arccos \frac{\sin 78,9^\circ - \sin 80^\circ \cos 1,4^\circ}{\cos 80^\circ \sin 1,4^\circ} = 139,7^\circ$.

При $H_c > 15^\circ$ и симметричных измерениях параметра большая полуось эллипса ошибок всегда направлена по оси Φ и ее направление относительно географического меридиана в данной задаче равно углу Π_{\perp} .

Дополнительные задачи, решаемые СНА. Вычислительное устройство СНА часто бывает запрограммировано на решение основных навигационных задач: расчет пути и путевой скорости по сериям обсерваций, расчет курса и расстояния при плавании в заданную точку по локсодромии или ортодромии, вычисление расписания сеансов связи с ИСЗ и элементов обстановки наблюдений ИСЗ (время восхода и захода, высота кульминации и пр.). СНА может выдавать сигналы о приходе в заданное место, об отклонении с заданного пути, о приближении к опасности и др. Вычислив по формулам (25.5.8) и (25.5.9) широту φ_{\perp} и пеленг Π_{\perp} , можно нанести на путевую карту точку траверза ИСЗ и прилегающий к ней участок трассы, определив этим положение координатных осей Φ и Λ . Штурман получает возможность предвидеть условия и точность обсервации, эффективно управлять движением корабля по заданному маршруту.

СЦВМ США последних моделей позволяют непрерывно вычислять курс для плавания по дуге большого круга исходя из результатов последних обсерваций и, таким образом, перейти от плавания по хордам (см. § 9.3) к более строгому управлению движением корабля.

Новейшие модели США можно рассматривать как навигационные комплексы, автоматически ведущие счисление пути корабля, корректирующие его высокоточными обсервациями, отображающие путь корабля на мониторе или цветном видеопрокладчике.

Глава 26

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ КОРАБЛЯ И ПОПРАВКИ КУРСУКАЗАТЕЛЯ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ НЕБЕСНЫХ СВЕТИЛ

§ 26.1. ПРИНЦИП ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ КОРАБЛЯ И ПОПРАВКИ КУРСУКАЗАТЕЛЯ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ СВЕТИЛ

Если с корабля, находящегося в точке $M(\varphi_M, \lambda_M)$, наблюдается светило \star (рис. 26.1.1), координаты которого в момент наблюдений равны δ и $t_{гр}$, то для движения корабля по заданному направлению в пункт $D(\varphi_D, \lambda_D)$ необходимо удерживать светило на курсовом угле q^* . Значение этого курсового угла можно вычислить как разность пеленгов пункта D и географического места светила σ : $q^* = IP_D - IP_\star$.

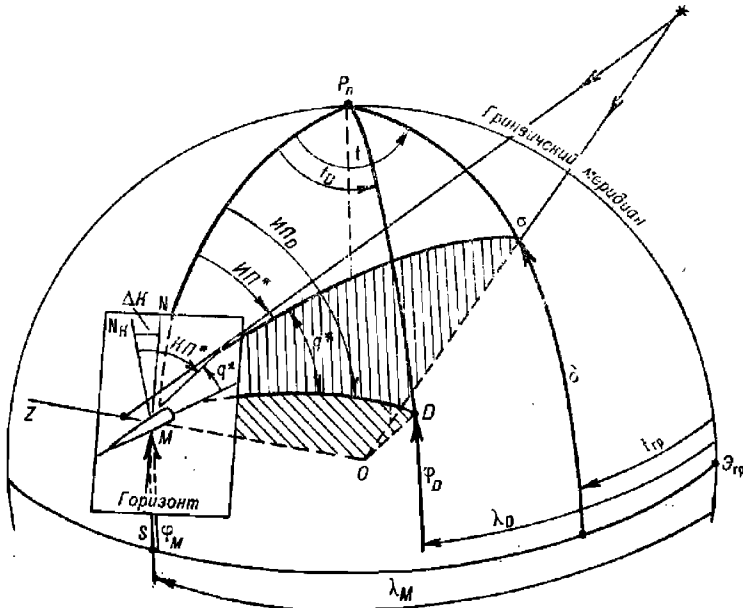


Рис. 26.1.1

Значение IP_D может быть снято с карты или вычислено из треугольника P_nMD как азимут точки D по аргументам: широта места

корабля φ_M , пункта назначения φ_D и разность долгот места корабля и пункта назначения $t_D = \lambda_M - \lambda_D$.

Значение $ИП_a$ может быть вычислено из треугольника $P_n M a$ как азимут светила \star по аргументам: широта места корабля φ_M , склонение светила δ и местный часовой угол $t_m = t_{гр} \pm \lambda_M^E$.

По мере движения корабля и движения светила курсовой угол q^* будет изменяться. Поэтому значение q^* должно достаточно часто уточняться; необходимые для этого вычисления можно вести на ПМК (например, по программе, приведенной в табл. 22.3.7), по Таблицам ВАС-58 или ТВА-57, по номограмме № 90199.

Рассмотренный принцип применяется при работе астрокомпаса; он же может быть использован для точного курсоуказания при работе автоматизированных АНС и для определения направления движения при отсутствии компаса на спасательных средствах (§ 32.3).

По наблюдениям компасного пеленга светила $КП^*$ можно определить поправку компаса ΔK , если сравнить $ИП^*$ в момент наблюдений и измеренный $КП^*$. Для этого необходимо измерить момент наблюдений T , вычислить всемирное время наблюдений $T_{гр}$ и по МАЕ рассчитать координаты географического места светила $\sigma(\delta, t_{гр})$; далее по аргументам $\varphi_M, \delta, t_m = t_{гр} \pm \lambda_M^E$ вычислить A , переведе его в круговой счет, получить $ИП^*$ и затем найти $\Delta K = ИП^* - КП^*$. В частном случае, если измерен курсовой угол светила q^* и в момент измерения замечен компасный курс KK , $\Delta K = ИП^* - (KK + q^*)$.

Взамен измерения точного момента T наблюдений светила можно измерить высоту h светила; в этом случае азимут светила вычисляется по формуле

$$\cos A = \frac{\sin \delta}{\cos \varphi_M \cos h} - \operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} h, \quad (26.1.1)$$

где склонение светила δ (ввиду его медленного изменения) можно находить по приближенно известному времени наблюдений.

При плавании в низких и средних широтах одним из лучших объектов для определения направления движения и поправки ΔK является Полярная звезда.

В частном случае $ИП^*$ можно просто получить по наблюдениям Солнца вблизи его восхода или захода.

§ 26.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПРАВКИ КУРСУКАЗАТЕЛЯ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ СВЕТИЛА В ПРОИЗВОЛЬНОМ АЗИМУТЕ НА ОПТИМАЛЬНОЙ ВЫСОТЕ

Условия наблюдения светила. При определении поправки курсоуказателя для навигационных целей светило можно наблюдать по любому направлению относительно корабля (в произвольном азимуте); при этом следует выбирать для наблюдений светило на малой высоте и пеленговать его прямовидимое изображение (т. е. не пользуясь отражательными зеркалами пеленгаторов типа ПГК-2 и др.). Если же по условиям плавания светило на малых высотах (до 10°) не наблюдается, то допустимо пеленгование светила с помощью отражательного зеркала на высотах до 60° ; в этом случае следует позаботиться о максимально точном удержании визирной плоскости пеленгатора в вертикале светила при пеленговании и увеличить количество $КП$ в серии изме-

рений. При измерении большой серии пеленгов светило выгодно наблюдать ближе к горизонту и к направлению Е или W.

Если предполагается большая погрешность принимаемого в расчет места корабля M , то светило лучше наблюдать на малой высоте и при малой величине его полукругового азимута.

Выгодно сочетать определение ΔK с астронавигационной обсервацией и вводить в расчеты координаты обсервованного места корабля.

Подготовка к азимутальным наблюдениям. При обычном навигационном контроле поправки курсоуказателя момент наблюдения светила достаточно регистрировать с точностью до 0,1 мин, поэтому при подготовке к наблюдениям рабочие часы достаточно установить по судовому времени. При необходимости определять поправку курсоуказателя с повышенной точностью следует определить поправку рабочих часов u_4 по радиосигналом времени или по сличению часов с хронометром. Представление о погрешности истинного пеленга светила вследствие неточного определения всемирного времени можно получить по табл. 26.2.1 или с помощью табл. 18 МТ—75, дающей изменение азимута за 10 с.

Таблица 26.2.1

Погрешность измерения времени (в секундах), при которой в наихудших условиях предельная погрешность истинного пеленга светила не превысит $0,1^\circ$

Меридиональная высота светила H	Широта места φ					
	0°	10°	20°	40°	60°	80°
15°	90	55	40	28	24	23
60	14	13	12	12	14	19

Подготовка пеленгационного устройства выполняется согласно инструкции по его технической эксплуатации. При работе с ПГК-2 следует обратить внимание на видимость уровня в поле зрения окуляра, установку солнечного светофильтра и состояние отражательного зеркала. При ночном пеленговании звезд должны соблюдаться рекомендации по световой адаптации глаза наблюдателя, изложенные в § 23.2.

Пеленгование светила. При пеленговании звезды или планеты визирная нить пеленгатора совмещается со светящим и изображением уровня, после чего подается команда «Ноль» для регистрации момента наблюдений и производится немедленный отсчет $KП$. При наблюдениях Солнца и Луны визирная нить может быть совмещена с центром диска светила или при необходимости высокоточных измерений — с краем диска светила (рис. 26.2.1). В последнем случае для получения $KП$ центра светила, необходимого для вычисления ΔK , к $KП$ края светила следует придать поправку за величину видимого полудиаметра Солнца (выбирают из МАЕ на гринвичскую дату наблюдений) или видимого полудиаметра Луны, приведенного к месту наблюдений (выбирается из табл. 15 МТ—75 по видимой высоте Луны и ее горизонтальному экваториальному параллаксу, найденному по МАЕ) по формулам:

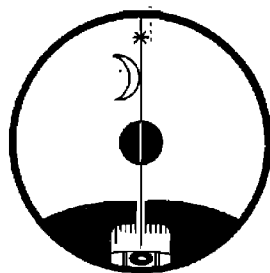


Рис. 26.2.1

при пеленговании левого края светила

$$КП^{\odot} = КП^{|\odot} + R^{\odot} \sec h \text{ и } КП^{\ominus} = КП^{|\ominus} + \Delta A,$$

при пеленговании правого края светила

$$КП^{\odot} = КП^{|\odot} - R^{\odot} \sec h \text{ и } КП^{\ominus} = КП^{|\ominus} - \Delta A.$$

При пеленговании светила следует особое внимание обращать на совпадение визирной плоскости пеленгатора с плоскостью вертикала светила. В табл. 26.2.2 показаны погрешности компасного пеленга светила, возникающие на различных высотах светила h при отклонении визирной плоскости по перпендикуляру к плоскости вертикала светила на угол $i = 15'$ (что соответствует чувствительности уровня пеленгатора ПГК-2) и на угол $i = 1^\circ$, характерный для пеленгатора магнитного компаса.

Таблица 26.2.2

Предельная погрешность компасного пеленга светила, вызываемая отклонением визирной плоскости пеленгатора от плоскости вертикала светила

Угол отклонения i	Высота светила h							
	0°	5°	10°	15°	20°	40°	60°	80°
15'	0°	0°	0°	0,1°	0,1°	0,2°	0,4°	1,4°
1°	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,8	1,7	5,8

Из табл. 26.2.2 следует, что при работе с нестабилизированными пеленгаторами (например, магнитных компасов) без крайней необходимости не надо пеленговать светила на высотах более 15° .

При наблюдениях обычно работают два оператора: первый измеряет $КП_i^*$ светила, второй измеряет момент пеленгования T_i и ведет записи. Как правило, производят 3—5 измерений компасных пеленгов светила в серии, а при вычислении $m_{\Delta K}$ — до 9—11 измерений; затем вычисляют средние арифметические значения наблюдаемых величин:

$$КП^* = \frac{\sum КП_i^*}{N} \text{ и } T = \frac{\sum T_i}{N}.$$

На средний момент наблюдений T по данным навигационной прокладки определяют координаты места корабля φ_M и λ_M .

Вычисление поправки курсоуказателя с использованием ПМК. Сводка формул для вычисления ΔK на ПМК при выборе исходных данных из МАЕ:

$$\delta = \delta_{00} + \frac{b_{21} - \delta_{00}}{24} T_{ГР};$$

$$t_M = t_{00} + \frac{t_{21} - t_{00} + 360^\circ}{24} T_{ГР} + \lambda + \tau^*;$$

$$h_c = \arcsin(\sin \varphi_M \sin \delta + \cos \varphi_M \cos \delta \cos t_M);$$

$$A_c = \arccos\left(\frac{\sin \delta}{\cos \varphi_M \cos h_c} - \operatorname{tg} \varphi_M \operatorname{tg} h_c\right);$$

$$\Delta K = ИП^* - КП^*.$$

Обозначения в этих формулах были пояснены в § 22.3.

Оценка точности полученной ΔK , если это необходимо, выполняется на втором этапе вычислений по формулам:

$$\left. \begin{aligned} m_{\Delta K} &= \sqrt{m_{\text{КП}}^2 + m_{\text{инстр}}^2 + m_z^2}; \\ m_z &= 0,0117M \sqrt{\text{tg}^2 \varphi_M + \text{tg}^2 h_c - 2 \text{tg} \varphi_M \text{tg} h_c \cos A_c}, \end{aligned} \right\} (26.2.1)$$

где m_z — СКП азимута, обусловленная погрешностью места корабля в момент определения ΔK ;

$m_{\text{КП}} = \frac{m_{\text{КП}_i}}{\sqrt{N}}$ — СКП среднего КП* светила, выведенного из его измерений в данной серии наблюдений ($N \geq 5$);

$m_{\text{КП}_i}$ — СКП единичного измерения КП светила, вычисленная согласно табл. 22.4.4 и 22.4.7 или на планшете «ПЛАКАН» по наибольшему размаху КП_i;

$m_{\text{инстр}}$ — инструментальная СКП средства пеленгования, в среднем у гирокомпаса она равна 0,35°, у магнитного компаса — от 0,5 до 1,1°;

M — СКП места корабля, введенного в расчеты ΔK .

Программа для вычислений по этим формулам приведена в табл. 26.2.3. Организация решения задачи показана в табл. 26.2.4, где дано также решение примера. При вводе данных северная широта, северное склонение и восточная долгота принимаются положительными; южная широта, южное склонение и западная долгота — отрицательными. Правила ввода координат светил из МАЕ были пояснены выше применительно к табл. 22.3.7.

В ходе решения первый останов счета происходит после вычисления t_m^{\cap} , который высвечивается на табло. При необходимости после этого по звездному глобусу производится опознавание наблюдаемого светила и в память вводятся его δ и τ^* ; затем счет продолжают.

После второго останова счета на табло высвечивается искомая поправка курсоуказателя ΔK . После ее записи в память вводят данные для оценки точности ΔK и продолжают счет; после останова на табло высвечивается $m_{\Delta K}$. При необходимости из памяти ПМК извлекается истинный пеленг светила: ИПА \rightarrow ИП*.

Пример 26.2.1. 29 октября измерили серию пеленгов Солнца: КП = 131,4°; $N = 9$; $T_{\text{гр}} = 21^{\circ}06'49''$; $\varphi = 58^{\circ}46' N$; $\lambda = 168^{\circ}40' E$; $M_c = 6$ миль; для оценки точности приняли $m_{\text{КП}_i} = 0,18^{\circ}$; $m_{\text{инстр}} = 0,3^{\circ}$. Вычислять ΔK .

Решение примера на ПМК представлено в табл. 26.2.4, а его решение табличным методом — в табл. 26.2.5.

Вычисление поправки курсоуказателя по таблицам МАЕ, ВАС—58 и ТВА—57. Расчеты координат светила δ , t_m по МАЕ и азимута светила по Таблицам ВАС—58 или ТВА—57 производятся по стандартным схемам, рассмотренным в гл. 23. Их применение при вычислении поправки курсоуказателя показано в табл. 26.2.5, где решен пример 26.2.1.

При наблюдениях Полярной звезды в широтах от 5 до 70° ее истинный пеленг быстро вычисляется с помощью помещенной в МАЕ табл. «Азимут Полярной». Входом в таблицу по широте места наблюдений φ_M и местному часовому углу точки Овна t_m^{\cap} , вычисленному на момент наблюдений $T_{\text{гр}} = T_c \mp N_c^{\text{В}}$, получают полукруговой азимут Полярной; после перевода его в ИП* вычисляют ΔK .

Таблица 26.2.3

Программа для вычисления поправки курсоуказателя ΔK по светилу с оценкой точности

Адрес	Команда	Код	Адрес	Команда	Код	Адрес	Команда	Код
	В/О F ПРГ		31	×	12	65	:	13
00	ИПЗ	63	32	ИПО	60	66	—	11
01	ИП2	62	33	Fcos	1Г	67	$F_x > 0$	59
02	—	11	34	ИПС	6С	68	73	73
03	ИПВ	6L	35	Fcos	1Г	69	ИПВ	6L
04	+	10	36	×	12	70	ИПА	6—
05	ИПД	6Г	37	ИПА	6—	71	—	11
06	:	13	38	Fcos	1Г	72	ПА	4—
07	ИП6	66	39	×	12	73	ИПА	6—
08	×	12	40	+	10	74	ИП8	68
09	ИП2	62	41	Farcsin	19	75	—	11
10	+	10	42	П7	47	76	С/П	50
11	ИП1	61	43	Ftg	1E	77	ИПД	6Г
12	+	10	44	ПД	4Г	78	F_x^2	22
13	С/П	50	45	ИПС	6С	79	ИПО	60
14	ИП9	69	46	Fsin	1С	80	F_x^2	22
15	+	10	47	ИПО	60	81	+	10
16	ПА	4—	48	Fcos	1Г	82	ИПД	6Г
17	ИП5	65	49	:	13	83	ИПО	60
18	ИП4	64	50	ИП7	67	84	×	12
19	—	11	51	Fcos	1Г	85	ИП7	67
20	ИПД	6Г	52	:	13	86	×	12
21	:	13	53	ИПО	60	87	—	11
22	ИП6	66	54	Ftg	1E	88	ИП9	69
23	×	12	55	ПО	40	89	×	12
24	ИП4	64	56	ИПД	6Г	90	ИП6	66
25	+	10	57	×	12	91	:	13
26	ПС	4С	58	—	11	92	ИПВ	6L
27	ИПО	60	59	П7	47	93	+	10
28	Fsin	1С	60	Farccos	1—	94	ИПС	6С
29	ИПС	6С	61	ПА	4—	95	+	10
30	Fsin	1С	62	ИП8	68	96	F_y	21
			63	ИПВ	6L	97	С/П	50
			64	\hat{z}	02		F АВТ	

Таблица 26.2.4

Аргументы, константы	Адрес	Информация (с решением примера 26.2.1)	
		Определение ΔK	Оценка точности
φ	П0	58,7667	
λ	П1	168,6667	
t_{00}	П2	184,0467	
t_{24}	П3	184,0633	
δ_{00}	П4	-13,16	
δ_{24}	П5	-13,4933	
$T_{гр}$	П6	21,1136	3600
0	П7	0	
$KП$	П8	131,4	
0 или τ^*	П9	0	$M_{co}^2 = 36$
0	ПА	0	
360	ПВ	360	$m_{КП}^2 = 0,0036$
0	ПС	0	$m_{инстр}^2 = 0,09$
24	ПД	24	
		Табло: $\Delta K = -0,6^\circ$ ИПА \rightarrow ИП = 130,8°	Табло: $m_{\Delta K} = 0,35^\circ$

$ИП^*$ Полярной получается с высокой точностью даже при больших погрешностях в измерении момента наблюдений и в определении координат места наблюдений. Приближенный расчет $ИП^*$ Полярной пояснен в гл. 32.

Нахождение поправки курсоуказателя по номограмме адм. № 90199.

Номограмма используется для быстрого нахождения $ИП$ светила с погрешностью до 1° . Правая половина этой карты, используемая в северном полушарии Земли, схематически изображена на рис. 26.2.3; здесь же показан ключ к номограмме.

Порядок нахождения $ИП$ светила по номограмме следующий:

- на осевой меридиан S — N номограммы по склонению δ наносят точку 1;
- по значению местного часового угла светила t_m (сетка гипербол) и широте места φ (сетка эллипсов) наносят точку 2;
- соединяют параллельной линейкой точки 1 и 2 и переносят это направление к центру номограммы;
- по внешней шкале считывают значение $ИП$ светила: если часовой угол восточный — по внутренней, если западный — по наружной одифровке шкалы.

Номограмма № 90199 особенно удобна для курсоуказания относительно направления на светило, так как она позволяет наглядно и быстро получать изменение $ИП$ светила с течением времени, помня, что каждые 4 мин времени западный часовой угол возрастает (восточный — уменьшается) на 1° . Перемена широты места или склонения влияет менее заметно, но также может учитываться по мере необходимости.

Таблица 26.2.5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПРАВКИ КОМПАСА ПО СВЕТИЛУ

Оценка точности определения поправки компаса

Расчет t_m и δ	
$T_{св-}$	08°10'
$N_{св+}$	11 E
Приб. $T_{гр}$	21 10
Дата	29 X
$T_{ср}$	9°05'07с
μ	+1 42
$T_{гр}$	21 06 49
t_t	139°03,7'
$\Delta_1 t$	142,2
$\Delta_2 t$	0,0
$t_{грE+}$	140 45,9
λ_{W-}	168 40,0
t_{M}°	—
τ^*	—
$t_{W'}$	309 25,9
t_E	50 34,1
δ_S	13 27,2

К примеру 26.2.1

30 октября

море Берингово

район м. Олюторский

 $T_c = 08^{\circ}10'$ $\varphi = 58^{\circ}46'$ N $N_c = 11$ E $\lambda = 168^{\circ}40'$ E $KK = 264^{\circ}$ $V = 18$ уз

Компас № 3 (Пелорус)

№	Запись наблюдений ☉		Моменты
	КП или ОКП	
1	131,0°	9°03'57с	
2	130,9	4 14	
3	131,3	4 35	
4	1,4	4 51	
5	1,6	5 06	
6	1,6	5 19	
7	1,5	5 40	
8	1,6	5 59	
9	131,6	9 06 19	
10			
11			
Ср.	131,4°	9°05'07с	

Изменение A за 1^м

$$m_{\Delta K} = \sqrt{m_{КП}^2 + m_{инстр}^2 + m_z^2 + m_{\lambda c}^2}$$

МТ-75 табл. 18	$\varphi = 58,8^{\circ}$ N $\lambda_{гр} = 131^{\circ}$
-------------------	--

За 10с . . . $\Delta A_T = 2,2'$ $\omega_{AT} = 0,22^{\circ}/\text{мин}$ $\tau_A - KK = 87^{\circ} - 264^{\circ} = -177^{\circ}; \quad g_A = 1,73$

(См. рис. 26.2.2)

МТ-75 табл. 16	
-------------------	--

 $\Delta h_{\gamma} = -0,3'$

X

 $g_A = 1,73$ $\Delta A_{\gamma} = -0,52'$ $\omega_{AZ} = -0,01^{\circ}/\text{мин}$ $\omega_A = \omega_{AT} + \omega_{AZ} = +0,21^{\circ}/\text{мин}$ $M_{св} = 6'$ $m_z = 0,7 g_A M_{св} = 7,2' = 0,12^{\circ}$

$$t_{св} = 1,65$$

$$t_{гн} = 0,12$$

МТ-75 табл. 6-а	
--------------------	--

$$m_{КП}^2 = 0,036$$

$$m_{инстр}^2 = 0,090$$

$$m_z^2 = 0,014$$

$$m_{\lambda c}^2 = 0,010$$

$$\Sigma = 0,150$$

$$m_{\Delta K} = \sqrt{\Sigma} = 0,4^{\circ}$$

Продолжение табл. 26.2.Б

Таблицы ТВА—57

Арг.	Задан.	Табл.	Задан.— табл.	A	130,3°	δ S	13°27,2'	T (t) + S (t)	58 301		
φ N	58°46,0'	59°	-14,0'	ΔA _φ	0,0°	t E	50 34,1		3 942		
δ S	13 27,2	13	+27,2	ΔA _δ	±0,2	x S	20 38,2	T (x)	62 243		
t E	50 34,1	51	-25,9	ΔA _t	±0,4	z N	58 46,0				
q	156°	h _г = 7°03,9'		ΣΔA	±0,6	90° + (x ~ φ _c)		169 24,2			
φ и δ: разномысленные				A _c N	130,9 E	A _c	49°11'	SE			
				A _c — $\frac{\Delta A_t}{2}$		h _c		ИП = 130,8°			

ΔK = ИП* — КП* = 130,9° — 131,4° = -0,5°

Примечания: 1. На рис. 26.2.2 показано графическое изображение градиента азимута g_A: по вертикальной оси отложено значение tg φ, а по направлению ИП светила — значение tg h. Отрезок, соединяющий полученные точки, является модулем градиента g_A. Азимут градиента τ_A получим, проведя из центра прямую, перпендикулярную направлению модуля градиента g_A.

2. При оценке точности принята m_{A,c} = 0,1° (для Таблиц ВАС—58).

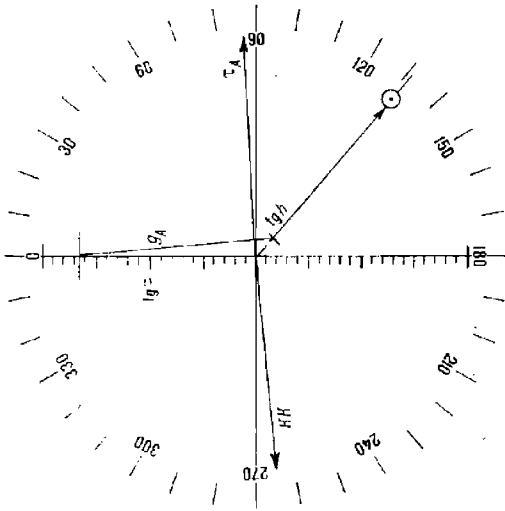


Рис. 26.22

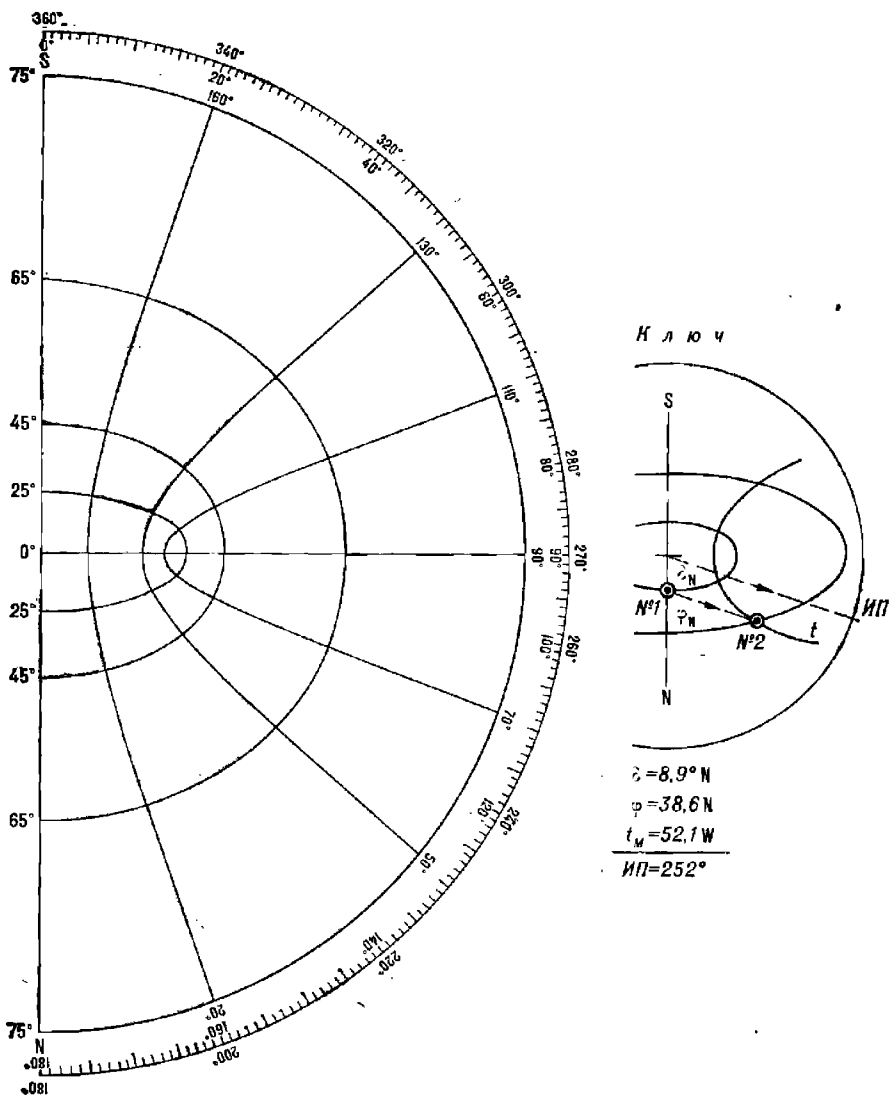


Рис. 26.2.3

Построение графика пеленгов. График пеленгов светила (рис. 26.2.4) строят по мере надобности в крупном масштабе и применяют для быстрого определения серии мгновенных ΔK , а также при невозможности наблюдать береговые ориентиры в ходе девиационных работ. График удобно строить при условии равномерного изменения азимута светила, что возможно при наблюдениях светила по направлениям,

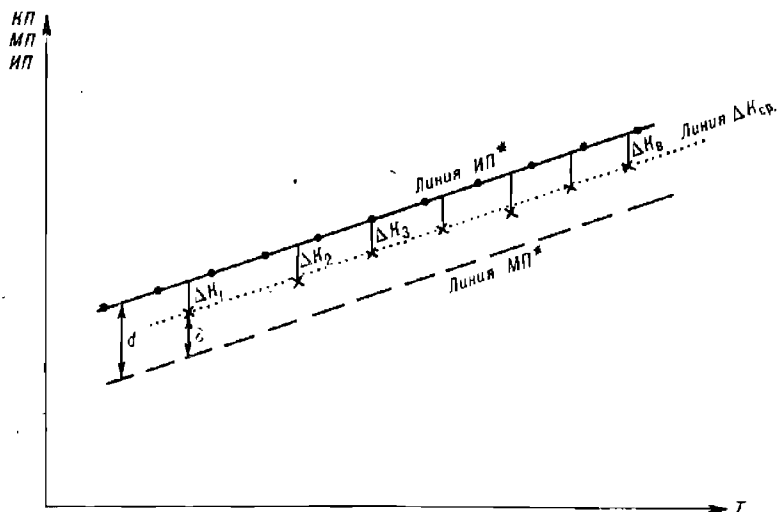


Рис. 26.2.4

близким к точкам Е или W горизонта на малых высотах. Вычисления азимута ведут на ПМК по программе, приведенной в табл. 26.2.3, или по Таблицам ВАС—58 (задаваясь малыми равноотстоящими интервалами времени) для точки, расположенной в середине намеченного района работ. Соединив на графике точки, соответствующие вычисленным азимутам, получают график $ИП^*$ светила; после учета магнитного склонения δ в районе работ на графике получается линия магнитных пеленгов светила $МП^*$.

В ходе работ наносят отметки измеренных $КП^*$ светила. Если эти отметки соединить осредняющей линией $\Delta K_{ср.}$, то можно быстро получить вероятнейшее значение поправки курсоуказателя $\Delta K_{ср.}$. При девиационных работах появляется возможность быстро получить величину девиации δ магнитного компаса.

Если в процессе работ корабль значительно удалится от расчетной точки, для которой вычислялись азимуты светила, то в получаемые по графику азимуты можно вводить поправку за смещение места наблюдений по некоторому направлению $П$ на расстояние S

$$\Delta A = S \operatorname{tg} \varphi \sin П + S \operatorname{tg} h \sin (A - П) = \Delta A_1 + \Delta A_2.$$

Величины ΔA_1 и ΔA_2 можно вычислять на ПМК или по табл. 1 ВАС—58.

§ 26.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПРАВКИ КУРСУКАЗАТЕЛЯ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ КОМПАСНОГО ПЕЛЕНГА И ВЫСОТЫ СВЕТИЛА

Если на корабле потеряна информация о точном времени, то поправку курсоуказателя можно определить, измерив $КП$ и высоту h

светила. Аналогично можно определить поправку курсоуказателя по $KП$ светила в момент его прихода на заранее известную высоту (напрямер, в момент восхода или захода).

Высота светила измеряется в общем случае секстаном и исправляется всеми необходимыми поправками по таблицам или по программе, приведенной в табл. 23.4.2. Для вычисления истинного пеленга светила в момент нахождения его на высоте h служит программа, помещенная в табл. 26.3.1. Организация вычислений приведена в табл. 26.3.2, где дано также решение примера. При вычислениях северные склонение и широта считаются положительными, южные — отрицательными. Для опознавания стороны горизонта (восточной или западной) при вычислениях $ИП$ светила в программе используется величина $KП$ светила; поэтому во избежание ошибки в оценке величины $ИП$ не следует пеленговать звезды вблизи точек N и S. При наблюдениях Солнца, Луны и планет в районах надводного плавания кораблей такая ошибка невозможна.

Таблица 26.3.1

Программа для вычисления поправки курсоуказателя ΔK по $KП$ и высоте h светила

Адрес	Команда	Код	Адрес	Команда	Код	Адрес	Команда	Код
	В/О/Ф/П/Р/Г		13	Fcos	1Г	28	2	02
00	ИП4	64	14	:	13	29	:	13
01	ИП3	63	15	ИП2	62	30	—	11
02	—	11	16	Fcos	1Г	31	$F_x > 0$	59
03	ИП5	65	17	:	13	32	37	37
04	:	13	18	ИП0	60	33	ИП7	67
05	ИП1	61	19	Ftg	1Е	34	ИПА	6—
06	×	12	20	ИП2	62	35	—	11
07	ИП3	63	21	Ftg	1Е	36	ПА	4—
08	+	10	22	×	12	37	ИПА	6—
09	ПС	4С	23	—	11	38	ИП6	66
10	ИПС	6С	24	Farcos	1—	39	—	11
11	Fsin	1С	25	ПА	4—	40	ПВ	4L
12	ИП0	60	26	ИП6	66	41	С/П	50
			27	ИП7	67			
							F АВТ	

Пример 26.3.1. 1 декабря измерили пеленг и высоту звезды α Льва: $KП = 40,0^\circ$, истинная высота $h = 18^\circ 56,7'$. Широта места наблюдения $\varphi = 50^\circ 05' S$. Вычислить ΔK .

Решение примера представлено в табл. 26.3.2. Ввод T_p для звезды не требуется, ее склонение выбирают из МАЕ на дату наблюдений и вводят по адресам П3 и П4; для светила Солнечной системы значение T_p достаточно находить по судовому времени T_c . В результате вычислений на табло высвечивается поправка ΔK и хранится в памяти по адресу ПВ. По адресу ПА хранится $ИП$ светила, а по адресу ПС — его склонение δ .

Определение поправки курсоуказателя по наблюдениям Солнца вблизи его восхода или захода является частным случаем рассматриваемого способа определения ΔK , когда высота светила заранее известна (рис. 26.3.1):

Таблица 26.3.2

Аргументы, константы	Адрес	Информация (с решением примера)	
		исходная	итоговая
φ_M	П0	-50,08333	
$T_{гр}$	П1	—	
h	П2	18,945	
δ_{00}	П3	12,078333	
δ_{24}	П4	12,078333	
24	П5	24	
КП	П6	40,0	
360	П7	360	
	ПА		$ИП = 40,97^\circ$
	ПВ		$\Delta K = +0,97^\circ$
	ПС	$\delta = 12,078333^\circ$	

а) при пеленговании Солнца в момент восхода (захода) его *верхнего края* в средних условиях можно принимать для высоты глаза наблюдателя $e=0$ м высоту $h^\odot = -50,3'$; для $e=12$ м (принята в МТ-75) высоту $h^\odot = -57,8'$;

б) при пеленговании Солнца в момент восхода (захода) его *нижнего края* в средних условиях можно принимать для $e=0$ м высоту $h^\odot = -18,3'$; для $e=12$ м высоту $h^\odot = -25,8'$.

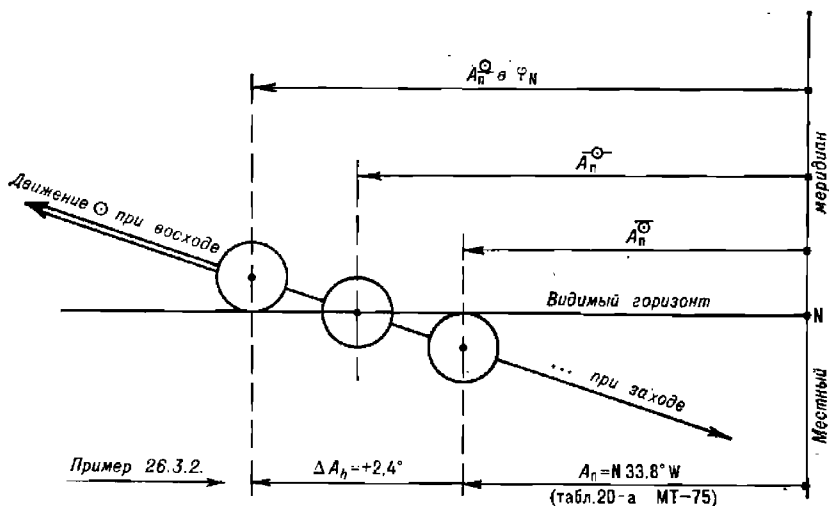


Рис. 26.3.1

Истинный пеленг в момент видимого восхода или захода Солнца можно вычислить на ПМК по программе, представленной в табл. 26.3.1, подставив соответствующее значение h^\odot . При наблюдениях с высоты глаза $e=12$ м ИП восхода или захода верхнего края Солнца можно

получить по табл. 20-а, б МТ—75, которые по широте места и склонению Солнца дают азмут в полукруговом счете.

Табл. 20-а, б МТ—75 можно воспользоваться и при условиях, отличных от принятых при составлении этих таблиц, для чего по формулам, приводимым ниже, необходимо вычислить изменения высоты Солнца относительно принятого в таблицах (§ 23.4) при пеленговании Солнца в момент восхода (захода)

$$\text{— его нижнего края } (\ominus) \dots \Delta h = -\Delta h_d + 6,1' + 2R^\odot + \Delta h_t + \Delta h_B$$

$$\text{— центра } (\odot) \dots \Delta h = -\Delta h_d + 6,1' + R^\odot + \Delta h_t + \Delta h_B$$

$$\text{— верхнего края } (\ominus) \text{ при } e \neq 12 \text{ м } \Delta h = -\Delta h_d + 6,1' + \Delta h_t + \Delta h_B$$

Далее по формуле

$$\Delta A_h = 0,0167 \Delta h \operatorname{tg} \varphi \operatorname{cosec} A_n \quad (26.3.1)$$

находят поправку к азмуту ΔA_h (в градусах) и вычисляют $A = A_n \pm \Delta A_h$. Знак ΔA_h одинаков со знаком Δh . Полученный A переводят в круговой счет по правилам, указанным в описании табл. 20-а, б МТ—75.

Приближенный способ определения поправки курсоуказателя ΔK по наблюдениям $KП$ восхода и захода Солнца изложен в гл. 32.

Пример 26.3.2. В широте $\varphi = 65^\circ 17' \text{ N}$ в момент касания горизонта нижним краем Солнца измерен его $KП = 323,4^\circ$. Высота глаза $e = 0,5 \text{ м}$; температура воздуха $t = +5^\circ \text{ C}$; атмосферное давление $B = 740 \text{ мм рт. ст.}$; в момент наблюдения $\delta^\odot = 19^\circ 24' \text{ N}$ (выбрано из МАЕ). Вычислить ΔK .

Решение. Из табл. 20-а МТ-75 для одноименных $\varphi = 65,3^\circ$ и $\delta = 19,4^\circ$:

— табличный азмут на ближайшие меньшие аргументы $A_T = 36,2^\circ$;

— поправка за склонение $\Delta A_\delta = \frac{\Delta A_T}{\Delta \delta_T} \Delta \delta = \frac{-1,9^\circ}{0,5} \cdot 0,4 = -1,5$;

— поправка за широту $\Delta A_\varphi = \frac{\Delta A_T}{\Delta \varphi_T} \Delta \varphi = \frac{-1,5^\circ}{0,5} \cdot 0,3 = -0,9$.

Полукруговой азмут в средних условиях:

$$A_n = N 33,8^\circ \text{ W}$$

Изменение высоты для приведения к условиям наблюдения: $\Delta h = -\Delta h_d + 6,1' + 32' + \Delta h_t + \Delta h_B = -1,2' + 6,1' + 32' - 1,1' + 1,0' = 36,8' \approx 37'$

Поправка азмута $\Delta A_h = 0,0167 \cdot 37 \operatorname{tg} 65,3^\circ \operatorname{cosec} 33,8^\circ = +2,4^\circ$

$$A_n = N 36,2^\circ \text{ W}$$

$ИП = 360^\circ - A_{NW} = 323,8^\circ$; $\Delta K = 323,8^\circ - 323,4^\circ = +0,4^\circ$.

Раздел VIII

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНЕЙШЕГО МЕСТА КОРАБЛЯ

Глава 27

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ПРАКТИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЕТА ВЕРОЯТНЕЙШЕГО МЕСТА КОРАБЛЯ

§ 27.1. ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНЕЙШЕГО МЕСТА КОРАБЛЯ ПО ИЗМЕРЕННЫМ ИЗБЫТОЧНЫМ НАВИГАЦИОННЫМ ПАРАМЕТРАМ

Теоретической основой определения вероятнейшего места корабля по трем и более навигационным параметрам, т. е. при наличии избыточной информации, является обобщенный метод наименьших квадратов. Сущность метода состоит в определении координат места из условия, при котором сумма квадратов отклонений линий положения (полученных по измеренным *НП*) от этого места является минимальной, т. е. из условия

$$F = \sum_{i,j}^N c_{ij} v_i v_j = \min, \quad (27.1.1)$$

где $v_i = l_i - (a_i \Delta\varphi + b_i \Delta\omega)$; }
 $v_j = l_j - (a_j \Delta\varphi + b_j \Delta\omega)$; } — погрешности i -го и j -го навигационных параметров;

$\Delta\varphi$ и $\Delta\omega$ — поправки к счислимым координатам в морских милях, т. е. поправки для перехода от счислимых координат к вероятнейшим;

$i, j = 1, 2, \dots, n$ — порядковые номера навигационных параметров (n — общее количество навигационных параметров или ориентиров);

$c_{ij} = \frac{A_{ij}}{m_{n_i} m_{n_j} |r|}$ — элементы матрицы, обратной по отношению к нормированной корреляционной матрице погрешностей навигационных параметров;

A_{ij} — алгебраическое дополнение ij -го элемента нормированной корреляционной матрицы;

$|r|$ — определитель нормированной корреляционной матрицы;

m_{n_i}, m_{n_j} — полные СКП i -го и j -го навигационных параметров;

N — общее количество слагаемых, равное числу сочетаний из n по два, включая пары $i = j$;

a_i и b_i — коэффициенты уравнения линии положения;

l_i — свободный член уравнения линии положения.

$$\left. \begin{aligned} a_i &= g_i \cos \tau_i; \\ b_i &= g_i \sin \tau_i; \\ l_i &= U_i - U_{c_i}, \end{aligned} \right\} \quad (27.1.2)$$

где g_i и τ_i — модуль и направление градиента i -го навигационного параметра;

U_i — наблюдаемый (измеренный и исправленный поправками) навигационный параметр;

U_{c_i} — счислимый навигационный параметр, т. е. параметр, вычисленный относительно счислимого места корабля.

Поправки $\Delta\varphi$ и $\Delta\omega$ (а следовательно, и координаты), найденные из условия (27.1.1), обладают максимальной плотностью распределения (минимальной дисперсией) и поэтому являются вероятнейшими.

Для нахождения искомых вероятнейших поправок $\Delta\varphi$ и $\Delta\omega$ к счислимым координатам из условия (27.1.1) необходимо взять частные производные функции F по параметрам $\Delta\varphi$ и $\Delta\omega$ и полученные выражения приравнять нулю:

$$\frac{\partial F}{\partial \Delta\varphi} = 0; \quad \frac{\partial F}{\partial \Delta\omega} = 0. \quad (27.1.3)$$

Эти уравнения называют нормальными (их количество соответствует числу неизвестных). Раскрыв их, будем иметь:

$$\left. \begin{aligned} \Delta\varphi \sum_{i,j}^N c_{ij} a_i a_j + \Delta\omega \sum_{i,j}^N c_{ij} a_i b_j &= \sum_{i,j}^N c_{ij} l_i a_j; \\ \Delta\varphi \sum_{i,j}^N c_{ij} a_i b_j + \Delta\omega \sum_{i,j}^N c_{ij} b_i b_j &= \sum_{i,j}^N c_{ij} l_i b_j. \end{aligned} \right\} \quad (27.1.4)$$

Множители при неизвестных величинах в нормальных уравнениях называются *коэффициентами нормальных уравнений*:

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= \sum_{i,j}^N c_{ij} a_i a_j; \\ B_1 = A_2 &= \sum_{i,j}^N c_{ij} a_i b_j; \\ B_2 &= \sum_{i,j}^N c_{ij} b_i b_j. \end{aligned} \right\} \quad (27.1.5)$$

Правые части уравнений (27.1.4) называются *свободными членами нормальных уравнений*:

$$\left. \begin{aligned} L_1 &= \sum_{i,j}^N c_{ij} l_i a_j; \\ L_2 &= \sum_{i,j}^N c_{ij} l_i b_j. \end{aligned} \right\} \quad (27.1.6)$$

Совместное решение нормальных уравнений (27.1.4) дает вероятнейшие поправки $\Delta\varphi$ и $\Delta\omega$:

$$\left. \begin{aligned} \Delta\varphi &= \frac{L_1 B_2 - L_2 B_1}{A_1 B_2 - A_2 B_1}; \\ \Delta\omega &= \frac{L_2 A_1 - L_1 A_2}{A_1 B_2 - A_2 B_1}. \end{aligned} \right\} \quad (27.1.7)$$

Вероятнейшие координаты рассчитываются по формулам:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_B &= \varphi_C + \Delta\varphi; \\ \lambda_B &= \lambda_C + \Delta\omega \sec \frac{\varphi_C + \varphi_B}{2}. \end{aligned} \right\} \quad (27.1.8)$$

Формулы (27.1.7) и (27.1.8) выражают общий алгоритм определения вероятнейших координат при любой зависимости и относительной точности навигационных параметров. От степени корреляционной взаимосвязи и относительной точности навигационных параметров будут меняться лишь коэффициенты и свободные члены нормальных уравнений.

При отсутствии корреляционной взаимосвязи погрешностей элементы c_{ij} обращаются в веса p_i ($i = j$) навигационных параметров. Вес навигационного параметра U_i равен $p_i = 1/m_{U_i}^2$. Формулы (27.1.5) и (27.1.6) при этом примут вид:

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= \sum_{i=1}^n p_i a_i^2; \\ B_1 &= A_2 = \sum_{i=1}^n p_i a_i b_i; \\ B_2 &= \sum_{i=1}^n p_i b_i^2; \\ L_1 &= \sum_{i=1}^n p_i l_i a_i; \\ L_2 &= \sum_{i=1}^n p_i l_i b_i. \end{aligned} \right\} \quad (27.1.9)$$

При равноточных независимых навигационных параметрах ($p_i = 1$):

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= \sum_{i=1}^n a_i^2; \\ B_2 &= A_2 = \sum_{i=1}^n a_i b_i; \\ B_2 &= \sum_{i=1}^n b_i^2; \\ L_1 &= \sum_{i=1}^n l_i a_i; \\ L_2 &= \sum_{i=1}^n l_i b_i. \end{aligned} \right\} \quad (27.1.10)$$

Средние квадратические погрешности найденных вероятнейших поправок (координат) рассчитываются по формулам:

$$\left. \begin{aligned} m_{\Delta\varphi} &= m_{\varphi_B} = m_{(1)} \sqrt{\frac{B_2}{A_1 B_2 - A_2 B_1}}; \\ m_{\Delta\omega} &= m_{(1)} \sqrt{\frac{A_1}{A_1 B_2 - A_2 B_1}}, \end{aligned} \right\} \quad (27.1.11)$$

где

$$m_{(1)} = \sqrt{\frac{N}{\sum_{i=1}^N c_{1i} v_i v_j}}. \quad (27.1.12)$$

При $n < 5$ значение $m_{(1)}$ принимается равным единице или оценивается по ранее полученным данным (по опыту).

Реализация обобщенного метода наименьших квадратов сопряжена с большим количеством вычислительных операций. Поэтому его применение целесообразно при наличии специализированной электронной вычислительной техники.

§ 27.2. РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ И СВОБОДНЫХ ЧЛЕНОВ УРАВНЕНИЙ ЛИНИИ ПОЛОЖЕНИЯ

При автоматизированном расчете вероятнейших координат места корабля методом линий положения в качестве исходных величин используются проекции градиентов — коэффициенты уравнений линий положения a и b и свободный член l для каждой линии положения.

Эти величины могут быть определены двумя способами: графоаналитическим — с помощью карт с сеткой навигационных изолиний и аналитическим.

Первый способ используется при нахождении вероятнейшего места корабля относительно фигуры погрешностей, второй — при решении задачи в общем случае.

При использовании карт с сеткой навигационных изолиний коэффициенты и свободный член уравнения линии положения вычисляются через градиент, который определяется с помощью имеющихся на карте изолиний.

Направление градиента τ соответствует направлению перпендикуляра к навигационной изолинии (вблизи счислимой точки) в сторону возрастания навигационного параметра.

Модуль градиента g рассчитывается по формуле $g = (U - U_0)/d$, где U_0 — параметр обсервованной изолинии;

U — параметр соседней с обсервованной изолинии, у которой $U > U_0$;

d — кратчайшее расстояние между изолиниями U_0 и U (измеряется по карте).

Коэффициенты уравнения линии положения a и b вычисляются по формулам (27.1.2), а свободный член l — по формуле

$$l = ng,$$

где n — перенос линии положения — длина перпендикуляра, опущенного из счислимой точки на навигационную изолинию (линию положения). Если величины n и g направлены в одну сторону (направление переноса определяется направлением от счислимой точки к линии положения), то величина l имеет знак *плюс*, если в противоположные, то знак *минус*.

При аналитическом расчете коэффициенты уравнения линии положения a и b вычисляются как функции расстояний и азимутов, соответствующих счислимому месту и месту ориентира. Формулы для расчета приведены в табл. 27.2.1.

Для выражения коэффициентов уравнения линии положения, соответствующей разности расстояний, в единицах РНП, их необходимо разделить на эквивалент единицы РНП, приведенной для каждой РНС в руководстве РТСНО.

Для определения свободного члена уравнения линии положения при аналитических расчетах используется третья формула (27.1.2). При этом счислимые навигационные параметры U_c вычисляются по формулам:

1. Расстояние до ориентира $U_c = D_c$,

где D_c — счислимое расстояние до ориентира.

Таблица 27.2.1

Формулы для расчета коэффициентов уравнения линии положения *a* и *b*

Навигационный параметр	Коэффициенты	
	<i>a</i>	<i>b</i>
Расстояние до ориентира	$-\cos A$	$-\sin A$
Разность расстояний до двух ориентиров	$\cos A_1 - \cos A_2$	$\sin A_1 - \sin A_2$
Пеленг на ориентир (рад/ед. длины): ортодромический (навигационная изолиния — изоазимута); локсодромический (навигационная изолиния — локсодромия $D < 300$ миль)	$\sin A \cos \varphi \cos D$ $(\sin A)/D$	$\sin \varphi \sin D - \cos A \cos \varphi \cos D$ $(-\cos A)/D$
Пеленг с ориентира на корабль (рад/ед. длины)	$\sin A/\sin D$	$-\cos A/\sin D$
Горизонтальный угол (рад/ед. длины)	$(\sin A_2)/D_2 - \sin A_1/D_1$	$(\cos A_1)/D_1 - (\cos A_2)/D_2$
Высота светила	$\cos A$	$\sin A$
Вертикальный угол (угловая высота видимого ориентира)	$\frac{\beta}{D} \cos A$	$\frac{\beta}{D} \sin A$

2. Разность расстояний до двух ориентиров:

а) фазовая РНС Декка

$$U_c = \psi_c = \frac{(D_{вщ} - D_{вм}) + D_B}{\lambda_T} - \left[\frac{(D_{вщ} - D_{вм}) + D_B}{\lambda_{гр}} \right] K + \psi_0, \quad (27.2.2)$$

где $D_{вщ}$ и $D_{вм}$ — числимые расстояния до ведущей и ведомой станций соответственно, мили; D_B — длина базы; λ_T — длина волны (в единицах длины, в которых выражены расстояния D), на которой формируются точные дорожки данной пары;

[] — символ целой части (целая часть дроби — номер зоны);

 $\lambda_{гр}$ — длина волны, на которой формируется зона для данной пары станций; K — количество точных дорожек в зоне: для красной пары $K = 24$, зеленой $K = 18$, фиолетовой $K = 30$; ψ_0 — начальный отсчет шкалы точной сети: красная пара $\psi_0 = 0$, зеленая $\psi_0 = 30$, фиолетовая $\psi_0 = 50$;

б) фазовая сверхдлинноволновая РНС

$$U_c = \psi_c = \frac{D_{вм} - D_{вщ}}{13,606911} + \Delta\psi_k + \Delta\psi_0, \quad (27.2.3)$$

где $\Delta\psi_k$ — кодовая задержка (приводится в руководстве РТСНО); $\Delta\psi_0$ — базовая задержка (приводится в руководстве РТСНО); $\Delta\psi_k + \Delta\psi_0 = 208$ ф. с.;

в) фазовая сверхдлинноволновая РНС «Омега»

$$U_c = \psi_c = \frac{D_1 - D_2}{15,911494} + 900, \quad (27.2.4)$$

где D_1 — расстояние до станции с меньшим «алфавитным» номером;

г) импульсно-фазовая РНС

$$U_c = T_c = \frac{D_{\text{ВМ}} - D_{\text{ВЩ}}}{C} + t_k + t_6, \quad (27.2.5)$$

где t_k — кодовая задержка, мкс (приводится в руководстве РТСНО);

t_6 — время прохождения радиосигнала от ведущей станции к ведомой, мкс (приводится в руководстве РТСНО);

C — линейный эквивалент единицы параметра (мили/мкс) для:

— РСДН-3 (4), Лоран-С, РНС «Марс-75» равен 0,16173326;

— РНС «Брас» равен 0,1617883.

3. Пеленг с корабля на ориентир $P_c = A_c$. (27.2.6)

4. Пеленг с ориентира на корабль $P'_c = A'_c$. (27.2.7)

5. Горизонтальный угол $\alpha_c = A_{c_2} - A_{c_1}$. (27.2.8)

6. Высота светила $h_c = 90^\circ - D_c$. (27.2.9)

где D_c — расстояние до полюса освещения, т. е. до точки, являющейся проекцией светила на землю.

Счислимые азимуты A_c и расстояния D_c , используемые при определении коэффициентов и свободных членов уравнений линий положения, находятся в результате решения обратной геодезической задачи и вычисляются по формулам, изложенным в § 1.6.

§ 27.3. РАСЧЕТ ВЕРОЯТНЕЙШЕГО МЕСТА КОРАБЛЯ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММИРУЕМОГО МИКРОКАЛЬКУЛЯТОРА И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАРТЫ С СЕТКОЙ ИЗОЛИНИЙ

Необходимость расчета вероятнейшего места корабля при использовании карты с сеткой изолиний возникает в том случае, если навигационные изолинии образовали фигуру погрешностей.

При определении места корабля по n навигационным параметрам с любой степенью взаимосвязи и равноточности и при обработке информации с помощью микрокалькулятора с программным управлением используется общий алгоритм обобщенного метода наименьших квадратов (27.1.5) и (27.1.6), в котором коэффициенты и свободные члены преобразованы к следующему виду:

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= \sum_{i=1}^n p_i a_i^2 - \frac{1}{\sum_{i=1}^n p_i} \left(\sum_{i=1}^n p_i a_i \right)^2; \\ B_1 &= A_2 = \sum_{i=1}^n p_i a_i b_i - \frac{1}{\sum_{i=1}^n p_i} \sum_{i=1}^n p_i a_i \sum_{i=1}^n p_i b_i; \\ B_2 &= \sum_{i=1}^n p_i b_i^2 - \frac{1}{\sum_{i=1}^n p_i} \left(\sum_{i=1}^n p_i b_i \right)^2; \\ L_1 &= \sum_{i=1}^n p_i a_i l_i - \frac{1}{\sum_{i=1}^n p_i} \sum_{i=1}^n p_i a_i \sum_{i=1}^n p_i l_i; \\ L_2 &= \sum_{i=1}^n p_i b_i l_i - \frac{1}{\sum_{i=1}^n p_i} \sum_{i=1}^n p_i b_i \sum_{i=1}^n p_i l_i. \end{aligned} \right\} \quad (27.3.1)$$

При графоаналитическом расчете градиентов с помощью карты с сеткой изолиний сначала рассчитываются суммы, входящие в формулы (27.3.1), а затем коэффициенты, свободные члены нормальных уравнений, величины $\Delta\varphi$ и $\Delta\psi$ и СКП места:

$$M = \sqrt{(A_1 + B_2) : (A_1 B_2 - A_2 B_1)}. \quad (27.3.2)$$

Автоматический расчет сумм формул (27.3.1) производится по следующей программе:

```

В/О  FПРГ
ИПА  F cos  ИПВ  ×  ИПС  :  Fx²  ИПО  +  ПО
ИПА  F cos  ИПВ  ×  ИПС  Fx²  :  ИП1  +  П1
ИПА  F sin  ИПВ  ×  ИПС  :  Fx²  ИП2  +  П2
ИПА  F sin  ИПВ  ×  ИПС  Fx²  :  ИП3  +  П3
ИПА  F cos  ИПА  F sin  ×  ИПВ  Fx²  ×  ИПС  Fx²
:  ИП4  +  П4  ИПА  F cos  ИПВ  ×  ИПД  ×
ИПС  Fx²  :  ИП5  +  П5  ИПА  F sin  ИПВ  ×
ИПД  ×  ИПС  Fx²  :  ИП6  +  П6  ИПД  ИПС
Fx²  :  ИП7  +  П7  ИПС  Fx²  F1/x  ИП8  +
П8  ИП9  1  +  П9  С/П (96 шагов)
    
```

FAVT.

После ввода программы производится ввод исходных данных. Исходные данные вводятся сериями, в каждую из которых входят: t_i ПА; g_i ПВ; m_i ПС; l_i ПД; В/О; С/П,

где i — номер навигационного параметра, m_i — частная СКП.

В результате обработки каждой серии на индикаторе (табло) высвечивается номер введенного навигационного параметра i .

После ввода всех n серий исходных данных, не выключая ПМК, производится ввод программы второго этапа:

```

В/О  FПРГ
ИПА  Fx²  F1/x  ИП8  +  П9  ИП1  Fx²  :  F1/x
/—/  ИПО  +  ПА  ИП2  ИП3  Fx²  ИП9  :  —
ПВ  ИП4  ИП1  ИП3  ×  ИП9  :  —  ПС  ИП5
ИП1  ИП7  ×  ИП9  :  —  ПД  ИП6  ИП3  ИП7
×  ИП9  :  —  П9  ИПД  ИПВ  ×  ИП9  ИПС
×  —  ИПА  ИПВ  ×  ИПС  Fx²  —  ПО  :
П1  ИП9  ИПА  ×  ИПД  ИПС  ×  —  ИПО  :
П2  ИПА  ИПВ  +  ИПО  :  F√  П3  С/П
    
```

(79 шагов)

FAVT.

Далее в регистр «А» вводится среднее квадратическое значение повторяющейся погрешности m_0 (при независимых навигационных параметрах $m_0 = 0,0000001$) и нажимаются клавиши В/О; С/П.

После отработки программы из памяти машины извлекаются искомые величины:

ИП1 → $\Delta\varphi$ (в минутах);

ИП2 $\rightarrow \Delta\omega$ (в минутах);

ИП3 $\rightarrow M$ (в милях).

Далее производится пошаговый расчет вероятнейшего места корабля:

φ_c° ИП1 60 : + $\rightarrow \varphi_b^\circ$ (в градусах и долях градуса);

φ_b° F cos F1/x ИП2 60 : $\times \lambda_c^\circ$ + $\rightarrow \lambda_b^\circ$ (в градусах и долях градуса).

Пример. $\varphi_c = 57^\circ 32,6' N$, $\lambda_c = 22^\circ 54,0' E$. Определили место корабля по трем радиопеленгам. При расчете локодромических радиопеленгов использовалась одна и та же поправка компаса, средняя квадратическая погрешность которой $m_{\Delta, ГК} = m_0 = 2,0^\circ$ (обсервация производилась после резкого маневрирования).

Элементы линий положения (определены по карте пеленгов) и их точность приведены в таблице:

Направление градиента τ , градус	Градиент g , $^\circ$ /миля	Частная погрешность m , градус	Повторяющаяся погрешность m_0 , градус	Перенос линии положения l , миля	Свободный член уравнения линии положения l , градус
318,0	1,0	1,4		+1,5	+1,5
356,0	2,0	1,2	2,0	-0,5	-1,0
75,0	1,6	0,8		+0,93	+1,5

где m — среднее квадратическое значение частной погрешности, определяемое по приложению 3 с учетом условий слышимости каждого радиомаяка;

m_0 — среднее квадратическое значение повторяющейся погрешности, определяемое по приложению 3.

Определить вероятнейшее место корабля и его СКП.

Решение. 1) В ПМК вводится программа первого этапа, поочередно вводятся исходные данные (τ , g , m , l) каждого параметра и производится автоматический расчет сумм (нажатием клавиш В/О С/П).

2) В ПМК вводится программа второго этапа (в регистр «А» записывается значение m_0) и производится автоматический расчет искомых поправок и СКП (нажатием клавиш В/О С/П).

3) Результат извлекается из следующих ячеек памяти:

ИП1 $\rightarrow \Delta\varphi = -1,1619403$;

ИП2 $\rightarrow \Delta\omega = +0,16123972$;

ИП3 $\rightarrow M_b = 1,2364089$ мили.

4) Пошаговым способом вычисляются вероятнейшие координаты: $\varphi_b = 57^\circ 31,4' N$; $\lambda_b = 22^\circ 54,3' E$.

При равноточных линиях положения автоматический расчет вероятнейшего места корабля можно производить по более короткой программе, изложенной в § 23.9. В этом случае вместо азимутов светил A следует использовать направления градиентов τ .

§ 27.4. РАСЧЕТ ВЕРОЯТНЕЙШИХ КООРДИНАТ МЕСТА КОРАБЛЯ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММИРУЕМОГО МИКРОКАЛЬКУЛЯТОРА МЕТОДОМ РАСЧЕТНЫХ ТОЧЕК (ГРАДИЕНТНЫМ МЕТОДОМ)

Задача определения вероятнейших координат места корабля в море упрощается, если использовать заранее выбранные по маршруту похода расчетные точки и расчеты производить в два этапа. В базе, до выхода корабля в море, для намеченных расчетных точек вычисляются счислимые навигационные параметры, проекции их градиентов и коэффициенты нормальных уравнений, а в море после измерения навигационных параметров вычисляются вероятнейшие координаты места

корабля. При этом используются предварительно вычисленные величины той расчетной точки, вблизи которой находился корабль.

Сущность расчетов основывается на использовании формул (27.1.7). Обозначив $A_1B_2 = A_2B_1 = D$; $B_2/D = k_1$; $B_1/D = k_2$ и $A_1/D = k_3$, эти формулы можно записать так:

$$\left. \begin{aligned} \Delta\varphi &= k_1L_1 - k_2L_2; \\ \Delta w &= k_3L_2 - k_2L_1. \end{aligned} \right\} \quad (27.4.1)$$

В базе для расчетных точек, в районе которых планируются наблюдения по намеченным ориентирам, рассчитываются счислимые навигационные параметры U_c , ожидаемые веса p_i и p_0 , коэффициенты уравнений линий положения a_i , b_i , коэффициенты k_1 , k_2 и k_3 и необходимые в дальнейшем для расчета величин L_1 и L_2 (формулы 27.3.1) суммы: $\sum p_i a_i$; $\sum p_i b_i$ и $(\sum p_i) + p_0$.

Расчет производится по следующей программе:

В/О РПРГ

ИПА	Fx ²	ИП2	×	ИП3	+	ПЗ	ИПА	ИП2	×
ИП4	+	П4	Fx ²	ИП2	ИП9	+	П9	ИП1	+
П6	:	—	П1	ИПВ	Fx ²	ИП2	×	ИП8	+
П8	ИПВ	ИП2	×	ИП5	+	П5	Fx ²	ИП6	:
—	ПС	ИП2	ИПА	×	ИПВ	×	ИП0	+	ПО
ИП4	ИП5	×	ИП6	:	—	ПД	С/П	ИПС	ИП1
ИПС	×	ИПД	Fx ²	—	ПА	:	П7	ИПД	ИПА
:	П8	ИП1	ИПА	:	П9	ИП1	ИПС	+	ИПА
:	FV [—]	ПВ	С/П	(84 шага)					

РАВТ.

Для выполнения расчета в ПМК поочередно вводятся данные каждой линии положения: a_i ПА; b_i ПВ; p_i П2; p_0 П1; В/О; С/П.

После ввода данных последней линии положения ($i=1, 2, \dots, n$) нажимается клавиша С/П и выписывается результат расчета: ИП4; ИП5; ИП6 — числа, выражающие суммы: $\sum p_i a_i$; $\sum p_i b_i$ и $(\sum p_i) + p_0$; ИП7 $\rightarrow k_1$, ИП8 $\rightarrow k_2$, ИП9 $\rightarrow k_3$ и ИПВ $\rightarrow M$ (априорная СКП вероятнейшего места корабля для принятых при предварительном расчете погрешностей навигационных параметров).

Вычисленные для всех расчетных точек данные сводятся в таблицу, форма которой приведена в табл. 27.4.1.

В море измеряются навигационные параметры относительно всех запланированных ориентиров, вычисляются свободные члены линий положения ($l_i = U_{q_i} - U_c$) и рассчитываются вероятнейшие координаты места корабля:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_s &= \varphi_j + \Delta\varphi; \\ \lambda_s &= \lambda_j + \Delta w \sec \varphi_s. \end{aligned} \right\} \quad (27.4.2)$$

где $\Delta\varphi$ и Δw определяются по формулам (27.4.1). Для расчета используются предварительно рассчитанные данные ближайшей к счислимому месту расчетной точки. Допустимое расстояние до расчетной точки: 10—20 миль при определении места по РНС РСДН-3 (4), Лоран-С, по высотам светил; 25—30 миль при определении места по РНС «Омега», РСДН-20.

Таблица 27.4.1

Расчетные точки	Вычисляемые элементы <i>лп</i>	Ориентиры		
		1 PHC... (PMK)...	2 PHC... (PMK)...	3 PHC... (PMK)...
$\varphi_1 = 69^\circ 50,0' N$ $\lambda_1 = 33^\circ 30,0' E$ $\Sigma p_i a_i = 2,4117087$ $\Sigma p_i b_i = 1,976537$ $(\Sigma p_i) + p_0 = 3,0171483$ $k_1 = 1,0074485; k_2 = -0,3861502$ $k_3 = 0,52125916; M_0 = 1,236$ мили	U_0 a b p	46,5° 0,743145 -0,669131 0,510	87,0° 1,995128 -0,139513 0,694	163,5° 0,414110 1,545481 1,562
$\varphi_2 =$ $\Sigma p_i a_i =$ $(\Sigma p_i) + p_0 =$ $k_1 =$ $k_3 =$	$\lambda_2 =$ $\Sigma p_i b_i =$ $k_2 =$ $M_0 =$			

Расчет производится по следующей программе:

В/О FПРГ

ИПА ИП2 × ИП3 × ИПД + ПД ИП2 ИП3
 × ИПС + ПС ИПВ ИП2 × ИП3 × ИПО
 + ПО ИП1 1 + П1 С/П ИПД ИП4 ИПС
 × ИП6 : - ПА ИПО ИП5 ИПС × ИП6
 : - ПД ИП7 ИПА × ИП8 ИПД × -
 ИПЗ : ИП1 + П1 ИП9 ИПД × ИП8 ИПА
 × - ИП3 : ИП1 Fcos : ИП2 + П2
 С/П (71 шаг)

F АВТ.

Перед использованием программы производится обнуление ячеек: ИПО; П1; ПС; ПД, затем в ПМК вводятся все величины, рассчитанные в базе для данной точки: $(\Sigma p_i a_i)$ П4; $(\Sigma p_i b_i)$ П5; $(\Sigma p_i + p_0)$ П6; k_1 П7; k_2 П8; k_3 П9.

После этого последовательно вводятся данные каждой линии положения: a_i ПА; b_i ПВ; p_i П2; l_i П3; В/О; С/П.

После обработки данных последней линии положения вводятся координаты расчетной точки: φ_j П1; λ_j П2; 60ПЗ и нажимается клавиша С/П.

В результате обработки программы получаем ответ: ИП1 $\rightarrow \varphi_0^\circ$; ИП2 $\rightarrow \lambda_0^\circ$.

Пример. Планируется определение места корабля по радиопеленгам. Для расчетной точки $\varphi_1 = 69^\circ 50,0' N$; $\lambda_1 = 33^\circ 30,0' E$ произвели предварительный расчет в базе и получили данные, показанные в вышеприведенной табл. 27.4.1.

В море, в районе выбранной расчетной точки, измерили три радиопеленга и рассчитали локсодромические пеленги: $U_{0_1} = \text{Лок } П_1 = 48,0^\circ$; $U_{0_2} = \text{Лок } П_2 = 86,0^\circ$; $U_{0_3} = \text{Лок } П_3 = 165,0^\circ$.

Определить вероятнейшее место корабля.

Решение. 1) По формуле $l = U_0 - U_1$ рассчитываются свободные члены: $l_1 = -1,5^\circ$, $l_2 = -1,0^\circ$, $l_3 = 1,5^\circ$.

2) Вводятся заранее вычисленные суммы и коэффициенты: 2,4117087П4; 1,976537П5; 3,0171483П6; 1,0074485П7; $-0,3861502П8$; 0,52125916П9.

3) Поочередно вводятся и обрабатываются данные каждой линии положения:

0,743145ПА; $-0,669131ПВ$; 0,51П2; 1,5П3; В/О; С/П;

1,995128ПА; $-0,139513ПВ$; 0,694П2; $-1П3$; В/О; С/П;

0,414110ПА; 1,545481ПВ; 1,562П2; 1,5П3; В/О; С/П.

4) После обработки программы по последним введенным данным в ПМК вводятся:

69,8333П1; 33,5П2; 60П3; С/П.

В результате получаем ответ: ИП1 $\rightarrow \varphi_0 = 69,81^\circ = 69^\circ 48,8' N$; ИП2 $\rightarrow \lambda_0 = 33,508^\circ = 33^\circ 30,5' E$.

Если планируются наблюдения по двум ориентирам, то расчеты упрощаются: предварительно для выбранной расчетной точки рассчитываются градиенты g_1 , g_2 , счислимые параметры U_{c1} , U_{c2} и коэффициенты:

$$k_1 = \frac{\sin \tau_2}{g_1 \sin \Delta\tau}; \quad k_2 = \frac{\sin \tau_1}{g_2 \sin \Delta\tau};$$

$$k_3 = \frac{\cos \tau_1}{g_2 \sin \Delta\tau}; \quad k_4 = \frac{\cos \tau_2}{g_1 \sin \Delta\tau},$$

где τ_i — направление градиента;

$\Delta\tau$ — угол между градиентами.

В море после измерения навигационных параметров относительно заранее выбранных ориентиров рассчитываются поправки к координатам ближайшей расчетной точки:

$$\Delta\varphi = k_1(U_{o1} - U_{c1}) - k_2(U_{o2} - U_{c2});$$

$$\Delta\omega = k_3(U_{o1} - U_{c1}) - k_4(U_{o2} - U_{c2});$$

$$M_0 = \frac{1}{\sin \Delta\tau} \sqrt{m_{\text{ли}1}^2 + m_{\text{ли}2}^2 - 2r m_{\text{ли}1} m_{\text{ли}2} \cos \Delta\tau}.$$

Поскольку при расчете СКП наблюдения используются априорные данные, то величина M_0 для выбранных ориентиров и стандартных точек может быть рассчитана заранее, до выхода корабля в море.

§ 27.5. РАСЧЕТ ВЕРОЯТНЕЙШЕГО МЕСТА КОРАБЛЯ С ПОМОЩЬЮ НАВИГАЦИОННОЙ ЭКВМ «СПИКА»

С помощью электронной клавишной вычислительной машины (ЭКВМ) «Спика» вероятнейшее (по n линиям положения) или obserвованное (по двум линиям положения) место корабля может определяться двумя способами:

— по элементам линий положения, автоматически вычисленным машиной, по счислимым координатам и координатам ориентиров;

— по элементам линий положения, измеренным по результатам графической прокладки навигационных изолиний (линий положения) на карте.

При использовании первого способа вероятнейшие или obserвованные координаты рассчитываются без карты в два этапа. На первом этапе по координатам счислимого места, снятым на момент измерения навигационных параметров с автосчислителя (автопрокладчика), по координатам ориентиров и по obserвованным навигационным параметрам с помощью ЭКВМ вычисляются элементы линий положения — направления градиентов и переносы (τ и n^*). На втором этапе автомати-

* Клавиша переноса линии положения на машине обозначена буквой l .

чески вычисляются вероятнейшие координаты и точность вероятнейшего (обсервованного) места.

Элементы линий положения рассчитываются путем решения следующих задач:

— гиперболические линии положения (РНС РСДН-3 (4), Лоран-С, «Марс-75», «Брас», РСДН-20, «Омега») — задача 1;

— гиперболические линии положения (РНС Декка) — задача 2;

— азимутальные линии положения (компасные пеленги, радиопеленги, радиолокационные и гидроакустические пеленги) — задача 3;

— стадиометрические линии положения (расстояния, измеренные РЛС, гидроакустической станцией или вычисленные по измеренным вертикальным углам) — задача 4;

— высотные линии положения с ручным вводом эфемерид светил — задача 5;

— высотные линии положения (Солнце и звезды) с автоматическим вычислением эфемерид — задача 6;

— высотные линии положения (Луна и планеты) с полуавтоматическим вычислением эфемерид — задача 7.

Общий алгоритм вычисления элементов линий положения (наземные ориентиры):

НУ задача ... $лп$... (порядковый номер линии положения);

$\varphi_c \dots$
 $\lambda_c \dots$ } — координаты счислимого места;

$B1 \dots$
 $L1 \dots$ } — координаты ориентира (наземной станции);

$B2 \dots$
 $L2 \dots$ } — координаты второй наземной станции (при использовании разностно-дальномерных РНС);

$\psi (П, D) \dots$ — обсервованное значение навигационного параметра;

$m \dots$ — частная СКП навигационного параметра;

$C \dots$ — линейный эквивалент радионавигационного параметра (только при использовании РНС — из руководства РТСНО);

$t_k \dots$ — кодовая задержка (из руководства РТСНО);

ПУСК.

После отработки программы на индикаторе ЭКВМ высвечивается сначала перенос линии положения в метрах, затем направление градиента в градусной мере (градусы, минуты, секунды). Вторичный вызов этих данных: НУ l ПУСК — перенос в метрах; lM ПУСК — перенос в милях; t ПУСК — направление градиента (клавиша НУ при вызове данных нажимается только при вызове первой величины). Фиксация (вызов) результатов решения необходима только для контроля правильности решения задачи. Нереальные (большие) для выбранной счислимой точки переносы будут свидетельствовать о неверном решении задачи.

Аналогичным образом поочередно вычисляются элементы всех линий положения.

После расчета элементов последней линии положения определяются вероятнейшие (обсервованные) координаты — второй этап вычисления:

НУ задача 8 $лп \dots$ (номера всех линий положения — 1, 2, 3, ...; общее число совместно обрабатываемых линий положения не должно быть больше четырех);

$K \dots$ коэффициент корреляции навигационных параметров, вычисляемый по формуле

$$K = \frac{m_0^2}{m_0^2 + m_{\text{ср}}^2},$$

где $m_{\text{ср}}$ — среднее арифметическое значение СКП частных (независимых) погрешностей навигационных параметров;

m_0 — среднее квадратическое значение повторяющейся погрешности;

ПУСК.

В результате решения (на индикаторе знак Γ) поочередно высвечиваются вероятнейшие (обсервованные) широта и долгота. Показатели точности полученного места — СКП или элементы среднего квадратического эллипса — вызываются на табло нажатием следующих клавиш:

НУ (только при вызове первой величины);

М ПУСК (на индикаторе СКП места в метрах);

ММ ПУСК (на индикаторе СКП места в милях);

а ПУСК (на индикаторе большая полуось среднего квадратического эллипса погрешностей в метрах);

б ПУСК (на индикаторе малая полуось в метрах);

аМ ПУСК (на индикаторе большая полуось в милях);

бМ ПУСК (на индикаторе малая полуось в милях);

т ПУСК (на индикаторе направление большой полуоси эллипса погрешностей).

Повторный вызов вероятнейших координат производится путем нажатия клавиш: φ_0 ПУСК, λ_0 ПУСК.

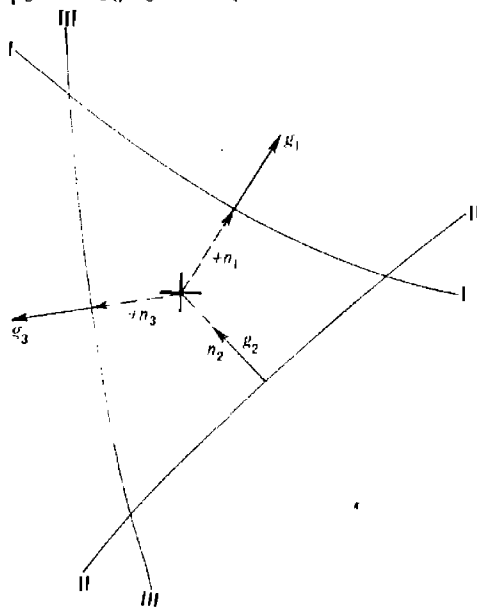


Рис. 27.5.1

Следует иметь в виду, что оценка точности вероятнейшего места с помощью ЭКВМ «Слика» рассчитывается во всех случаях без учета корреляции.

При использовании второго способа вероятнейшие координаты места корабля рассчитываются по элементам линий положения, изме-

ренным по карте, на которой были проложены навигационные изолинии или линии положения. При этом прокладка этих линий производилась не методом линий положения, а каким-то другим методом, без привлечения элементов линий положения, например методом непосредственной прокладки навигационных изолиний (пеленгов, расстояний) относительно ориентиров, табличным методом (для РНС) или методом отыскания обсервованной навигационной изолинии на карте с сеткой изолиний.

Для каждой навигационной изолинии относительно счислимого места корабля или любой точки, расположенной в окрестности счислимого места, по карте измеряются ее элементы — направление градиента τ и величина переноса l .

Градиент направлен перпендикулярно навигационной изолинии (в точке, расположенной на кратчайшем расстоянии от счислимой или выбранной расчетной точки) в сторону увеличения навигационного параметра.

Перенос измеряется в милях как кратчайшее расстояние между счислимым местом (расчетной точкой) и навигационной изолинией. При этом если перенос (счисляемое место — навигационная изолиния) направлен в сторону градиента, то он берется со знаком *плюс* (рис. 27.5.1), если в обратную сторону, то со знаком *минус*.

Кроме элементов линий положения необходимо рассчитывать средние квадратические погрешности линий положения $m_{\text{лп}} = m_0/g$ (m_0 — частные СКП навигационных параметров, g — градиенты навигационных параметров).

Вычисление вероятнейших (обсервованных) координат места корабля производится следующим образом:

НУ задача 10

$\varphi_c \dots \lambda_c \dots$;

$m \dots$ СКП линии положения, в минутах и секундах;

$l \dots$ перенос l линии положения, в минутах и секундах;

$\tau \dots$ направление градиента, в градусах и минутах;

ПУСК — на индикаторе порядковый номер введенной линии положения.

Вторая и последующие линии положения (их в этом случае может быть сколько угодно) вводятся без нажатия первых клавиш — ввод начинается сразу со значений m и далее.

После ввода элементов последней линии положения нажимаются клавиши:

Задача 11 К... ПУСК — (на индикаторе последовательно высвечиваются широта и долгота). СКП места вызывается на табло так же, как и при использовании первого способа.

Точность второго способа расчета ниже первого, так как во втором способе вычисления производятся без итерации, в результате чего рассчитанные координаты могут иметь методическую ошибку за счет неучета фактической кривизны навигационных изолиний. Величина этой ошибки тем больше, чем больше кривизна навигационных изолиний и чем больше величина переноса.

При обработке *взаимозависимых неравноточных* навигационных параметров, измеренных относительно навигационных ориентиров, расположенных в одной половине горизонта, вероятнейшее место обоими способами рассчитывается с методической погрешностью тем большей, чем больше коэффициент корреляции. При $r \leq 0,3$ эта погрешность пренебрежимо мала.

ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНЕЙШЕГО МЕСТА КОРАБЛЯ ПО ТРЕМ И БОЛЕЕ НАВИГАЦИОННЫМ ИЗОЛИНИЯМ (ЛИНИЯМ ПОЛОЖЕНИЯ)

§ 28.1. ОБЩАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНЕЙШЕГО МЕСТА КОРАБЛЯ ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИМИ СПОСОБАМИ

Каждый измеренный и обработанный навигационный параметр содержит случайную погрешность. Поэтому проведенные на карте три и более навигационные изолинии (линии положения) в общем случае в одной точке не пересекаются, а образуют фигуру погрешностей. Размеры фигуры погрешностей зависят от величины погрешностей линий положения. Задача состоит в том, чтобы найти вероятнейшее место корабля, т. е. место, которое имело бы минимальную дисперсию относительно истинного его положения.

Графоаналитические способы нахождения вероятнейшего места корабля при больших фигурах погрешностей* зависят от степени корреляционной взаимосвязи погрешностей навигационных параметров, определяемой соотношением повторяющихся и частных (независимых) погрешностей.

Если в навигационных параметрах преобладают независимые случайные погрешности (среднее квадратическое значение повторяющейся погрешности m_0 составляет менее одной трети частной (независимой) погрешности m_{\min} , т. е. $m_0 \leq 1/3m_{\min}$), то вероятнейшее место корабля всегда внутри фигуры погрешностей и находится центрографическим способом. Практически погрешности независимы при неблагоприятных условиях измерения и надежно известной общей поправке, а также при разнородных навигационных параметрах. Суждение о соотношении повторяющейся и частных (независимых) погрешностей можно составить по данным табл. п. VI приложения 3.

При использовании центрографического способа за вероятнейшее место корабля принимается центр тяжести фигуры погрешностей, определяемый по весам p_{ij} точек пересечения i -й и j -й линий положения: $p_{ij} = p_{\lambda_i} p_{\lambda_j} \sin^2 \theta_{ij}$. Сначала находится центр тяжести (точка d) двух произвольных точек пересечения, например a и b (рис. 28.1.1). Эта точка делит отрезок ab на части, обратно пропорциональные весам точек a и b , т. е. отстояние точки d от точек a и b рассчитывается по формулам:

$$ad = ab \frac{p_b}{p_a + p_b}; \quad bd = ab \frac{p_a}{p_a + p_b}. \quad (28.1.1)$$

* Фигура погрешностей считается большой, если отстояние ее сторон от геометрического центра фигуры превышает допустимую погрешность в месте корабля при данных условиях плавания. За геометрический центр фигуры принимается точка, равноудаленная от всех ее сторон.

Затем полученная точка d с весом $p_d = p_a + p_b$ соединяется с любой третьей точкой пересечения линий положения (например, с точкой c) и на полученном отрезке dc аналогичным образом отыскивается центр тяжести точек d и c .

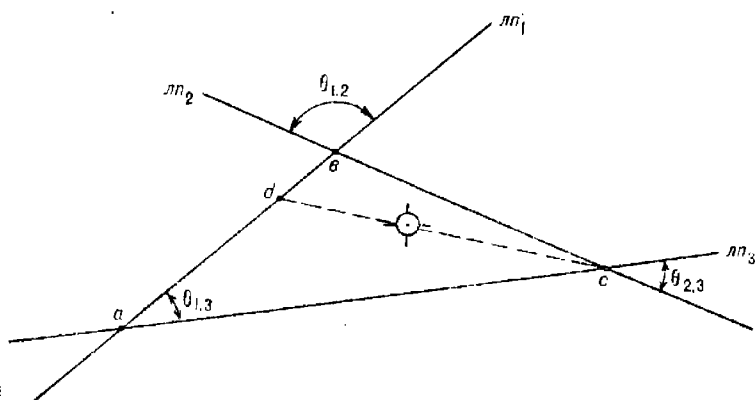


Рис. 28.1.1

Центр тяжести, полученный в результате последовательного объединения всех точек пересечения линий положения, и будет вероятнейшим местом корабля.

Средняя квадратическая погрешность этого места рассчитывается по формуле

$$M_o = m_{\text{лп}(1)} \sqrt{\frac{\sum p_{\text{лп}i}}{\sum p_{\text{лп}i} p_{\text{лп}j} \sin^2 \theta_{ij}}}, \quad (28.1.2)$$

где $m_{\text{лп}(1)}$ — средняя квадратическая погрешность линии положения, приходящаяся на единицу веса;

θ_{ij} — угол пересечения i -й и j -й линий положения.

При $n < 5$ $m_{\text{лп}(1)} = 1$. При $n \geq 5$ она равна

$$m_{\text{лп}(1)} = \sqrt{\frac{\sum p_{\text{лп}i} v_i^2}{n-1}}, \quad (28.1.3)$$

где $p_{\text{лп}i}$ — вес i -й линии положения, $p_{\text{лп}i} = 1/m_{\text{лп}i}^2$;

v_i — расстояние по перпендикуляру от вероятнейшего места до i -й линии положения;

n — количество линий положения.

С достаточной для практики степенью приближения вместо формулы (28.1.2) можно использовать более простую формулу

$$M_o = \frac{1,4 m_{\text{лпср}}}{\sin \theta_{\text{ср}} \sqrt{n-1}}, \quad (28.1.4)$$

где $m_{\text{лпср}}$ и $\theta_{\text{ср}}$ — осредненные (средние арифметические) значения средних квадратических погрешностей линий положения и острых углов между линиями положения соответственно.

Если навигационные параметры содержат преобладающую повторяющуюся погрешность, то вероятнейшее место корабля находится в точке пересечения разностных изолиний (линий положения). При расположении ориентиров в одной половине горизонта (сектор, в котором расположены ориентиры, меньше 180°) разностные линии положения пересекутся вне фигуры погрешностей. При расположении ориентиров по всему горизонту (в секторе, превышающем 180°) — разностные линии положения пересекутся внутри фигуры погрешностей. Признаком преобладания повторяющейся погрешности являются: благоприятные условия измерения и ориентировочное представление об общей поправке, которой исправляются все навигационные параметры. При этом $m_0 > 3 m_{\max}$. При $n > 3$ и при $m_0 \geq 3 m_{\max}$ все разностные линии положения пересекаются в одной ограниченной области.

Для определения вероятнейшего места корабля при существенном преобладании повторяющейся погрешности выполняются следующие построения (рис. 28.1.2):

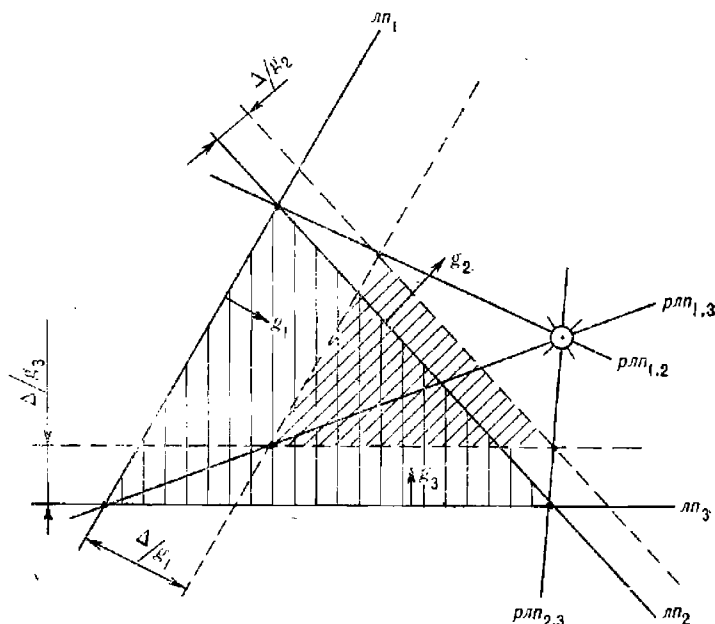


Рис. 28.1.2

— для каждой линии положения указывается направление градиента — перпендикулярно линии положения в сторону возрастания навигационного параметра;

— линии положения смещаются по направлениям своих градиентов на величины Δ/g_i , где Δ — произвольная постоянная для всех линий положения величина, а g_i — градиент данной i -й линии положения;

— через соответствующие точки пересечения каждой пары исходных и смещенных линий положения проводятся разностные линии положения, точка пересечения которых и будет вероятнейшим местом корабля.

Так как разностные линии положения свободны от повторяющихся погрешностей, а частные (независимые) погрешности отсутствуют или

пренебрежимо малы по условию, то полученное место теоретически является безошибочным.

В реальных условиях наиболее вероятным является случай, когда *навигационные параметры содержат и частные (независимые), и повторяющиеся погрешности*. Совместное существование этих погрешностей обуславливает взаимозависимость навигационных параметров, характеризуемую коэффициентом корреляции.

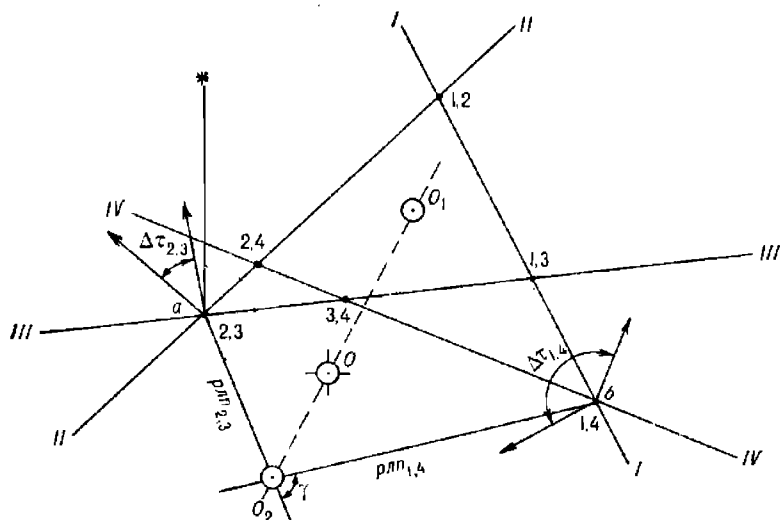


Рис. 28.1.3

Вероятнейшее место корабля при корреляционной взаимозависимости навигационных параметров определяется комбинированным способом на основе идеи проф. В. В. Каврайского, реализованной для *общего случая* проф. Н. М. Груздевым.

Сначала делается предположение о том, что навигационные параметры содержат только независимые погрешности и центрографическим способом отыскивается точка O_1 внутри фигуры погрешностей (рис. 28.1.3).

Данная точка содержит погрешность, обусловленную влиянием независимых и повторяющейся ошибок и оценивается средним квадратическим значением

$$M_{o_1} = \sqrt{\left(\frac{\sum p_{анl}}{\sum p_{lj}}\right)^2 + \left(\frac{1,4m_{г,n}}{\sum g_l}\right)^2} \quad (28.1.5)$$

или приближенно

$$M_{o_1} = 1,4 \sqrt{\frac{m_{ансп}^2}{(n-1) \sin^2 \theta_{сп}} + \frac{m_0^2}{g_{сп}^2}}, \quad (28.1.6)$$

где m_0 — среднее квадратическое значение повторяющейся погрешности навигационных параметров;

- $m_{\text{рлп, ср}}$ — осредненное (среднее арифметическое) значение частных (независимых) погрешностей линий положения;
 $\theta_{\text{ср}}$ — средний арифметический угол между $лп$ (рассчитывается по острым углам θ_{ij});
 $g_{\text{ср}}$ — осредненный (средний арифметический) градиент;
 n — число линий положения.

После этого делается предположение о том, что навигационные параметры содержит только повторяющуюся погрешность и способом двух разностных линий положения ($рлп$) отыскивается точка O_2 . При $n > 3$ точка O_2 определяется по независимым $рлп$. Две разностные линии положения взаимонезависимы, если в их образовании не участвует одна и та же (общая) исходная линия положения. Из нескольких пар независимых $рлп$ выбираются те две разностные линии положения, которые пересекаются почти под прямым углом γ и СКП которых минимальные. Для расчета СКП разностных линий положения используется формула

$$m_{\text{рлп, } ij} = \sqrt{(m_{U_i}^2 + m_{U_j}^2)/(g_i^2 + g_j^2 - 2g_i g_j \cos \Delta\tau_{ij})}, \quad (28.1.7)$$

где i и j — номера исходных линий положения.

Средняя квадратическая погрешность положения точки O_2 рассчитывается по формуле

$$M_{O_2} = \frac{1}{\sin \gamma} \sqrt{m_{\text{рлп, } 1}^2 + m_{\text{рлп, } 2}^2} \quad (28.1.8)$$

или по приближенной формуле

$$M_{O_2} = \frac{m_{\text{лп, ср}}}{\sin \gamma \sin \frac{\Delta\tau_{\text{ср}}}{2}}, \quad (28.1.9)$$

где $\Delta\tau'_{\text{ср}}$ — осредненное значение угла между градиентами исходных линий положения, через точки пересечения которых проведены выбранные независимые разностные линии положения.

Анализируя эту формулу, можно заключить, что при четырех линиях положения, образующих две независимые разностные линии, наивыгоднейшие условия ($\Delta\tau'_{\text{ср}} = 180^\circ$ и $\gamma = 90^\circ$) обеспечиваются при расположении ориентиров равномерно по всему горизонту.

Найденные точки O_1 и O_2 соединяются прямой. Вероятнейшее место корабля — точка O находится на отрезке O_1O_2 в расстояниях от его концов, обратно пропорциональных их весам:

$$OO_1 = O_1O_2 \frac{p_{O_2}}{p_{O_1} + p_{O_2}} = O_1O_2 \frac{M_{O_1}^2}{M_{O_1}^2 + M_{O_2}^2};$$

$$OO_2 = O_1O_2 \frac{p_{O_1}}{p_{O_1} + p_{O_2}} = O_1O_2 \frac{M_{O_2}^2}{M_{O_1}^2 + M_{O_2}^2},$$

где p_{O_1} и p_{O_2} — веса точек O_1 и O_2 , соответственно равные: $p_{O_1} = 1/M_{O_1}^2$; $p_{O_2} = 1/M_{O_2}^2$. Вес вероятнейшего места равен сумме весов точек O_1 и O_2 , т. е.

$$p_O = p_{O_1} + p_{O_2} = \frac{M_{O_1}^2 + M_{O_2}^2}{M_{O_1}^2 M_{O_2}^2}. \quad (28.1.10)$$

Следовательно,

$$M_0 = \frac{1}{\sqrt{P_0}} = \frac{M_{0_1} M_{0_2}}{\sqrt{M_{0_1}^2 + M_{0_2}^2}}. \quad (28.1.11)$$

Чем теснее группируются точки O_1 и O_2 , тем точнее и надежнее определяется вероятнейшее место. Отрезок $O_1 O_2$ минимален, когда обе точки O_1 и O_2 находятся внутри фигуры погрешностей, т. е. при условии расположения ориентиров по всему горизонту.

Степень надежности вероятнейшего места зависит от размеров фигуры погрешности и от расстояния между точками O_1 и O_2 . Уменьшение размеров фигуры погрешностей достигается повышением точности измерения и обработки навигационных параметров. Ограничение расстояния между точками O_1 и O_2 достигается тремя способами:

- измерением разнородных, а следовательно, и независимых навигационных параметров (вероятнейшее место в точке O_1);
- уменьшением повторяющейся погрешности Δ_0 и, следовательно, m_0 путем систематического определения общих поправок;
- выбором ориентиров, расположенных равномерно по всему горизонту.

Таким образом, способ нахождения вероятнейшего места в фигуре погрешностей зависит от величины коэффициента корреляции, т. е. от соотношения частных и повторяющейся погрешностей:

— при $m_0 < 1/3 m_{\min}$ (коэффициент корреляции $r < 0,3$ — навигационные параметры практически взаимонезависимы) вероятнейшее место корабля определяется центрографическим способом*. При любом расположении ориентиров оно всегда внутри фигуры погрешностей;

— при $m_0 > 3 m_{\max}$ (коэффициент корреляции $r \geq 0,9$ — навигационные параметры практически функционально взаимозависимы) вероятнейшее место определяется способом разностных линий положения (при равнооточных линиях положения — в точке пересечения биссектрис углов между градиентами);

— при $1/3 m < m_0 < 3m$ (коэффициент корреляции $0,3 < r < 0,9$ — навигационные параметры корреляционно взаимозависимы) вероятнейшее место определяется комбинированным способом и совпадает с центром тяжести отрезка $O_1 O_2$, концами которого является точка, найденная без учета повторяющейся погрешности, и точка, найденная без учета частных (независимых) погрешностей.

§ 28.2. ПРИБЛИЖЕННЫЕ УПРОЩЕННЫЕ СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНЕЙШЕГО МЕСТА КОРАБЛЯ ПО ТРЕМ НАВИГАЦИОННЫМ ИЗОЛИНИЯМ (ЛИНИЯМ ПОЛОЖЕНИЯ)

При определении места корабля по навигационным параметрам, содержащим погрешности, за истинное место принимается его оценка — вероятнейшее место. Это место в общем случае не совпадает с истинным, но оно обладает минимальной средней квадратической погрешностью. Если погрешности навигационных параметров случайные, то вероятность совпадения вероятнейшего и истинного мест увеличивается по мере увеличения числа линий положения. При трех линиях положения вероятнейшее место — лишь приближенная оценка истинного места. Поэтому в тех случаях, когда необходимо быстро оценить навигационную обстановку (командирский контроль навигационной

* При независимых трех навигационных параметрах место корабля может быть найдено также способом противомедиап.

безопасности плавания), в открытом море допустимо использовать приближенные упрощенные приемы определения места относительно фигуры погрешностей.

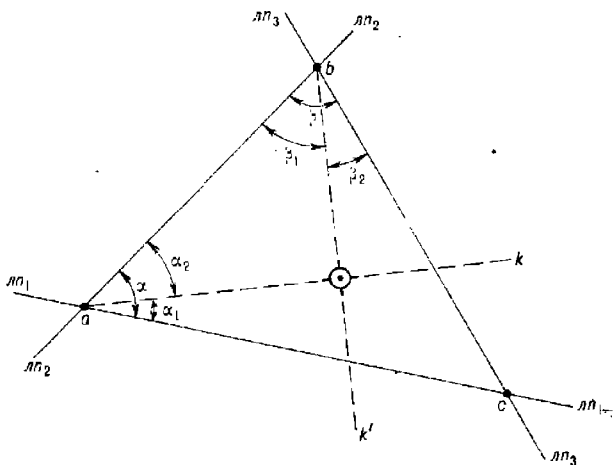


Рис. 28.2.1

При расположении навигационных ориентиров по всему горизонту в секторе $\omega > 180^\circ$ вероятнейшее место всегда внутри треугольника погрешностей. Независимо от характера погрешностей его приближенное положение находится в точке пересечения так называемых квазибиссектрис ak и bk' любых двух острых внутренних углов α и β (рис. 28.2.1) треугольника погрешностей abc . Квазибиссектриса ak делит угол α на два угла α_1 и α_2 , которые рассчитываются по формулам:

$$\alpha_1 = \alpha m_{лп_1}^2 / (m_{лп_1}^2 + m_{лп_2}^2); \quad \alpha_2 = \alpha m_{лп_2}^2 / (m_{лп_1}^2 + m_{лп_2}^2).$$

Аналогично:

$$\beta_1 = \beta m_{лп_2}^2 / (m_{лп_2}^2 + m_{лп_3}^2); \quad \beta_2 = \beta m_{лп_3}^2 / (m_{лп_2}^2 + m_{лп_3}^2).$$

Методическая погрешность этого способа, рассчитанная относительно вероятнейшего места, найденного строгим математическим методом, не превышает 20 % от стороны треугольника с максимальной длиной. СКП места без учета методической погрешности рассчитывается по формуле

$$M = m_{лп_{ср}} / \sin \theta_{ср}, \tag{28.2.1}$$

где $m_{лп_{ср}}$ — среднее арифметическое значение полной СКП линий положения;

$\theta_{ср}$ — средний арифметический угол, рассчитанный по острым углам пересечения линий положения.

При расположении ориентиров в одной половине горизонта в секторе $\omega < 180^\circ$ и при углах пересечения линий положения $\theta \geq 30^\circ$ положение вероятнейшего места относительно фигуры погрешностей зависит от степени корреляции погрешностей навигационных параметров.

1. Погрешности навигационных параметров взаимовезависимы. Практически это наиболее вероятно при определении места следующими способами (средствами):

- по секторным радиомаякам;
- по радиомаякам кругового излучения в ночных условиях;
- по радиолокационным расстояниям;
- по высотам звезд и планет, если наклонение горизонта измерено наклономером, а поправка индекса секстана определена с высокой степенью точности непосредственно перед измерением высот светил;
- по РНС «Омега» и Лоран-С при отсутствии общей для всех пар опорной наземной станции;
- по разнородным навигационным параметрам.

Во всех этих случаях вероятнейшее место корабля находится внутри треугольника погрешностей. Его *приближенное* положение определяется в точке пересечения двух квазибиссектрис внутренних острых углов треугольника, а СКП рассчитывается по формуле (28.2.1), в которой $m_{\text{лпср}}$ вычисляются по частным (независимым) СКП навигационных параметров.

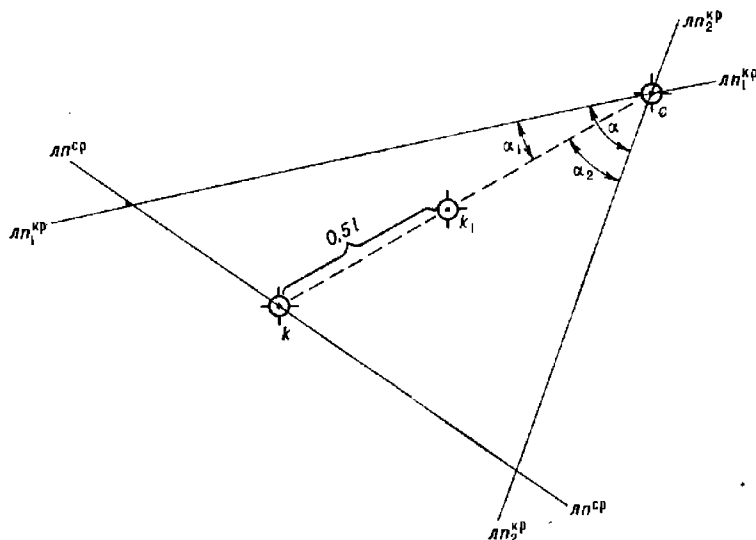


Рис. 28.2.2

2. Погрешности навигационных параметров взаимозависимы и имеют коэффициент корреляции, равный 0,4—0,6. Практически это наиболее вероятно при определении места следующими способами (средствами):

- по радиомаякам кругового излучения в дневных условиях;
- по гирокомпасным пеленгам на видимые ориентиры;
- по РНС Декка;
- по РНС «Омега» и Лоран-С при наличии одной общей наземной станции;
- по высотам звезд и планет, если используется табличное значение наклонения горизонта;

- по радиолокационным и гидроакустическим пеленгам;
- по навигационным гидроакустическим системам.

Во всех этих случаях вероятнейшее место *приближенно* принимается на отрезке ck квазибиссектрисы угла α (рис. 28.2.2), образованного линиями положения крайних ориентиров (линиями положения, градиенты которых являются крайними лучами сектора, составленного из направленных градиентов). Положение вероятнейшего места на этом отрезке зависит от угла α , в котором находятся все ориентиры (градиенты), и от отношения СКП линии положения среднего ориентира $m_{лп}^{ср}$ к среднему арифметическому значению СКП крайних линий положения $\bar{m}_{лп}^{кр}$, которое вычисляется по формуле

$$\bar{m}_{лп}^{кр} = 0,5 (m_{лп_1}^{кр} + m_{лп_2}^{кр}).$$

Вероятнейшее место при равнооточных навигационных параметрах находится с помощью таблицы, в которой приведены удаления его (в долях величины $l=ck$) от точки k , являющейся точкой пересечения квазибиссектрисы ck с линией положения среднего ориентира.

$\omega \leq 90^\circ$			$90^\circ < \omega \leq 180^\circ$		
$m_{лп}^{ср} / \bar{m}_{лп}^{кр}$			$m_{лп}^{ср} / \bar{m}_{лп}^{кр}$		
<1,0	1,0—1,5	>1,5	<1,4	1,5—2,3	>2,3
0 (точка k)	0,5 l (точка k_1)	l (точка c)	0 (точка k)	0,5 l (точка k_1)	l (точка c)

СКП полученного места рассчитывается по формуле (28.2.1).

Вероятнейшее место корабля по трем взаимозависимым навигационным изолиниям *приближенно* может быть найдено также *табличным способом*.

Сущность табличного способа, разработанного проф. В. Т. Кондрахиным, состоит в определении по табл. 28.2.1 коэффициентов K_1 и K_2 . По коэффициенту K_1 рассчитывается отстояние вероятнейшего места O (рис. 28.2.3) от точки O_1 , найденной в предположении независимости навигационных параметров, $OO_1 = K_1 \cdot O_1O_2$. Направление отрезка OO_1 совпадает с направлением луча O_1O_2 (O_2 — точка пересечения разностных линий положения).

Коэффициент K_2 используется для вычисления СКП вероятнейшего места: $M_a = K_2 m_{лп}$, где $m_{лп}$ — среднее арифметическое значение СКП линий положения, обусловленных влиянием только частных (независимых) погрешностей, т. е. $m_{лп} = 1/3 (m_{лп_1} + m_{лп_2} + m_{лп_3})$. Осреднение частных погрешностей и является причиной приближенности данного способа.

Аргументами для входа в таблицу служат отношение средних квадратических значений повторяющейся и частной погрешностей — m_o/m (или соответствующий этому отношению коэффициент корреляции r) и меньшие углы ω_1 и ω_2 между направлениями на ориентиры (или углы между градиентами навигационных параметров). При неравнооточных навигационных параметрах $m = 1/3 (m_{U_1} + m_{U_2} + m_{U_3})$, где m_U — СКП навигационного параметра.

Пример. Измерены три навигационных параметра (три пеленга) и проведены три соответствующие им навигационные изолинии (рис. 28.2.3). Углы между градиентами (между направлениями на ориентиры) $\omega_1 = 30^\circ$, $\omega_2 = 120^\circ$. Определить вероятнейшее место корабля и оценить его точность, если $m_0 = 1,0^\circ$. Средние квадратические значения частных погрешностей навигационных параметров; $m_{U_1} = 0,5^\circ$; $m_{U_2} = 1,4^\circ$; $m_{U_3} = 0,8^\circ$. Градиенты: $g_1 = 1,2^\circ/\text{мили}$; $g_2 = 1,6^\circ/\text{мили}$; $g_3 = 0,8^\circ/\text{мили}$.

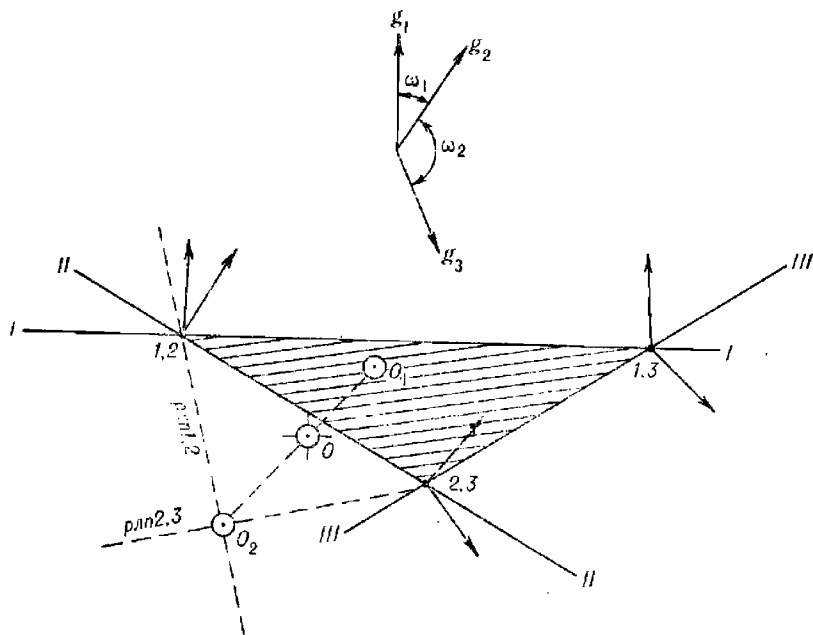


Рис. 28.2.3

Решение:

- центрографическим способом определяется точка O_1 ;
- способом разностных линий положения определяется точка O_2 ;
- измеряется длина отрезка O_1O_2 , равная 4,2 мили;
- рассчитывается отношение

$$m_0/m = \frac{3 \cdot 1,0}{0,5 + 1,4 + 0,8} = 1,1;$$

— по $m_0/m = 1,1$ и $\omega_1 = 30^\circ$, $\omega_2 = 120^\circ$ из табл. 28.2.1 выбираются коэффициенты $K_1 = 0,4$; $K_2 = 2,2$;

— рассчитывается положение точки O (вероятнейшее место) относительно точки O_1 : $OO_1 = K_1 \cdot OO_2 = 0,4 \cdot 4,2 \text{ мили} \approx 1,7 \text{ мили}$;

— рассчитывается СКП точки O , для чего предварительно вычисляется осредненное значение $m_{\text{лп}}$.

$$m_{\text{лп}} = \frac{1}{3} \left(\frac{0,5}{1,2} + \frac{1,4}{1,6} + \frac{0,8}{0,8} \right) \approx 0,8 \text{ мили, а затем величина } M_0 = K_2 \cdot m_{\text{лп}} = 2,2 \cdot 0,8 \approx 1,8 \text{ мили.}$$

Таблица 28.2.1

Коэффициенты K_1 и K_2

ω_1	$\frac{m_0}{m}; (r)$	ω_2									
		30°		60°		90°		120°		150°	
		K_1	K_2	K_1	K_2	K_1	K_2	K_1	K_2	K_1	K_2
30°	0,5 (0,2)	0	1,6	0	1,5	0	1,4	0,1	1,8	0,3	2,6
	1,0 (0,5)	0	1,9	0,1	1,7	0,2	1,9	0,4	2,2	0,7	2,7
	2,0 (0,8)	0	2,6	0,2	2,5	0,4	2,6	0,7	2,7	0,9	2,8
60°	0,5 (0,2)			0,1	1,4	0,2	1,4	0,3	1,5	0,4	1,6
	1,0 (0,5)			0,2	1,6	0,5	1,6	0,7	1,6	0,7	1,6
	2,0 (0,8)			0,6	2,1	0,8	1,8	0,9	1,6	0,9	1,6
90°	0,5 (0,2)					0,3	1,3	0,4	1,2	0,4	1,2
	1,0 (0,5)					0,7	1,4	0,7	1,2	0,7	1,2
	2,0 (0,8)					0,9	1,4	0,9	1,2	0,9	1,2
120°	0,5 (0,2)							0,4	1,2	0,4	1,2
	1,0 (0,5)							0,8	1,2	0,7	1,2
	2,0 (0,8)							0,9	1,2	0,9	1,2

§ 28.3. ВЫЯВЛЕНИЕ ПРОМАХОВ В ЛИНИЯХ ПОЛОЖЕНИЯ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ВЕРОЯТНЕЙШЕГО МЕСТА КОРАБЛЯ

Из-за погрешностей измерения и неточности определения поправок навигационных параметров соответствующие им навигационные изолинии (линии положения) в одной точке, как правило, не пересекаются и образуют фигуру погрешностей. В общем случае чем больше погрешности, тем больше размеры фигуры погрешностей и, следовательно, тем хуже качество наблюдения и тем ниже степень доверия к ней.

При правильном опознании ориентиров причиной появления фигуры погрешностей может быть также грубая ошибка (промах) в одной или в нескольких навигационных изолиниях. При наличии четырех и более навигационных изолиний промахи выявляются по отстояниям изолиний от вероятнейшего места, найденного по результатам всех измерений*. При трех навигационных изолиниях этот способ не годится, так как вероятнейшее место, найденное по трем навигационным параметрам до исключения промахов, будет неверным и поэтому не может служить критерием промаха.

Появление промаха при нормальном функционировании системы измерения навигационного параметра является событием, не вытекающим из природы случайного распределения погрешностей. Это событие не согласуется с закономерностью, свойственной случайным погрешностям, и является свидетельством сбоя системы измерения. Поэтому любая ошибка, существующая превышающая предельную погрешность, обусловленную законом случайного распределения, должна быть отнесена

* Критерии промахов даны в приложении 3.

к категории грубых, а измерение с такой погрешностью считается промахом. В отличие от повторяющейся погрешности грубая ошибка отягощает не все навигационные изолинии данной совокупности, а лишь некоторые из них, чаще всего одну. Эти отличия грубых ошибок от случайных и повторяющейся погрешностей являются логической основой изложенных ниже методов выявления промахов при измерении трех навигационных параметров.

В общем случае промахам, как и значительным случайным и неучтенным систематическим погрешностям, сопутствует большой треугольник погрешностей. Треугольник погрешностей считается большим, если отстояния его сторон от точки пересечения биссектрис не могут быть приняты в данных условиях плавания за пренебрежимо малые величины. Проведя на карте три навигационные изолинии, соответствующие измеренным и исправленным поправками навигационным параметрам, и получив большой треугольник погрешностей, следует прежде всего убедиться в правильности опознавания ориентиров, а затем произвести повторные измерения навигационных параметров относительно тех же ориентиров.

После прокладки навигационных изолиний, соответствующих повторно измеренным навигационным параметрам, производится анализ нового треугольника. При этом могут быть следующие варианты:

а) треугольник погрешностей уменьшился до пренебрежимо малых размеров — делается вывод о том, что предыдущая серия измерений была некачественной. Вероятнейшее место определяется по результатам второй серии измерений;

б) конфигурация и размеры нового треугольника погрешностей существенно не изменились. При этом для всех навигационных параметров соблюдается условие

$$|U_i^* - (U_i + \Delta U_{i1})| \leq 3m_{U_i}, \quad (28.3.1)$$

где U_i и U_i^* — результаты измерения i -го навигационного параметра в первой и второй сериях соответственно;

m_{U_i} — полная средняя квадратическая погрешность i -го навигационного параметра, обусловленная неточностью измерения и принятой поправки;

ΔU_{i1} — поправка за приведение навигационного параметра U_i^* к моменту его повторного измерения;

$$\Delta U_{i1} = V t_i g_i \cos(\tau_i - \Pi V) / 60 + 15 t_i \cos \varphi \sin A,$$

где V — скорость корабля в узлах;

t_i — интервал приведения в минутах;

g_i и τ_i — модуль и направление градиента;

φ — широта счислимго места;

A — азимут светила.

Второе слагаемое данной формулы учитывается только при измерении высот светил.

Соблюдение условия (28.3.1) — факт, позволяющий сделать суждение о том, что отличия результатов второй серии измерений от первой укладываются в допустимые законом распределения пределы их случайной вариации. Следовательно, правомерно заключение об отсутствии промахов.

Отсутствие резкого изменения конфигурации и размера треугольника погрешностей при однородных навигационных параметрах является свидетельством наличия в них повторяющейся погрешности.

Чем ближе к нулю левая часть равенства (28.3.1), тем больше повторяющаяся погрешность. При $U_i' - (U_i + \Delta U_i) \approx 0$ (для всех параметров) делается заключение о том, что в навигационных параметрах преобладает повторяющаяся погрешность.

Отсутствие резкого изменения конфигурации и размера треугольника погрешностей при разнородных навигационных параметрах является свидетельством наличия по крайней мере в одном из них неучтенной систематической погрешности;

в) конфигурация или размер нового треугольника погрешностей изменились существенно. При этом для всех навигационных параметров условие (28.3.1) не соблюдается.

Резкое изменение треугольника погрешностей свидетельствует о преобладании в навигационных параметрах частных (независимых) погрешностей, т. е. погрешностей, обусловленных неточностью измерения.

Несоблюдение условия (28.3.1) — признак наличия промаха, но поскольку промахи одновременно во всех навигационных параметрах — событие маловероятное, то делается вывод о несоответствии принятых в расчет СКП навигационных параметров их фактическим значениям (учтенные СКП меньше действительных). Для определения вероятнейшего места в этом случае целесообразно использовать осредненные навигационные параметры: $U_i = 0,5 (U_i' + \Delta U_{ni} + U_i'')$;

г) новый треугольник погрешностей существенно не уменьшился, условие (28.3.1) не соблюдается лишь для одного навигационного параметра. Навигационная изолиния, соответствующая этому параметру, исключается как содержащая грубую ошибку (промах).

При обсервационном счислении, а также в случаях, когда счисление ведется с помощью абсолютного лага или часто контролируется надежными обсервациями, навигационная изолиния с грубой ошибкой может быть обнаружена сравнением кратчайшего расстояния v_i между счислимым местом и i -й навигационной изолинией с предельной суммарной погрешностью этого расстояния. Промах содержится в той навигационной изолинии, для которой не соблюдается неравенство

$$v_i \leq 3 \sqrt{m_{ni}^2 + (0,7 M_{сч})^2},$$

где $M_{сч}$ — СКП счислимого места.

После выявления и исключения промахов вероятнейшее место корабля в общем случае определяется вышеизложенными аналитическими или графоаналитическими способами.

§ 28.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНЕЙШЕГО МЕСТА КОРАБЛЯ ПУТЕМ ОБЪЕДИНЕНИЯ ОБСЕРВАЦИЙ

Две или несколько обсерваций, приведенные к одному моменту и месту, не совпадающие из-за наличия в них случайных погрешностей, могут быть объединены или осреднены в одно вероятнейшее место.

При объединении мест одного корабля, полученных в различные моменты времени на интервале t (в часах) менее $0,5 M_0$ (в милях), они предварительно приводятся к одному моменту (обычно к моменту последней обсервации T_n) путем смещения каждой обсервации по линии пути на величину $S_i = V (T_n - T_i)$, где T_i — время производства приводимой обсервации.

При объединении мест различных кораблей при совместном плавании они предварительно приводятся к одному моменту и затем к месту того корабля, вероятнейшие координаты которого определяются. Приведение к одному месту производится смещением приводящего места по пеленгу на тот корабль, место которого определяется, на величину $S_i = D_i$, где D_i — расстояние между этими кораблями.

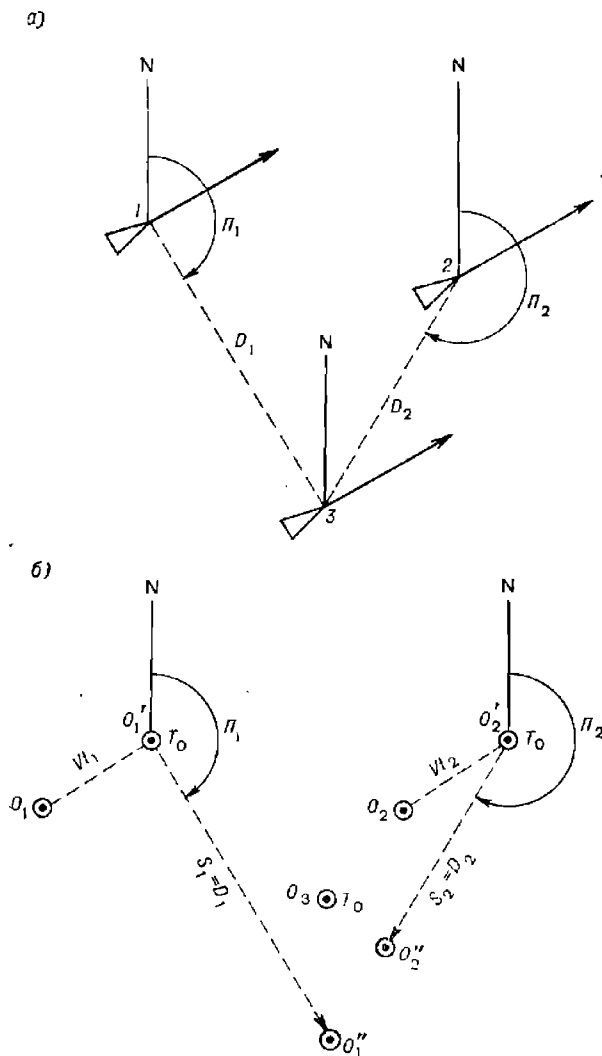


Рис. 28.4.1

На рис. 28.4.1, а) показано фактическое положение кораблей в порядке. В различные моменты времени были получены и нанесены на

карту наблюдения кораблей O_1, O_2 и O_3 (рис. 28.4.1, б). Предположим, что определяется вероятнейшее место корабля 3 на момент T_0 , получившая его обсервованного места. Для этого сначала места кораблей 1 и 2 приводятся к моменту T_0 : точка O_1 смещается по курсу на величину Vt_1 в точку O'_1 , а точка O_2 — на величину Vt_2 в точку O'_2 (t_1 и t_2 — интервалы между наблюдениями первого и третьего, второго и третьего кораблей соответственно). Затем точка O'_1 смещается по пеленгу Π_1 на величину D_1 , а точка O'_2 по пеленгу Π_2 на величину D_2 . Вероятнейшее место корабля 3 на момент T_0 находится объединением точек O'_1, O'_2 и O_3 .

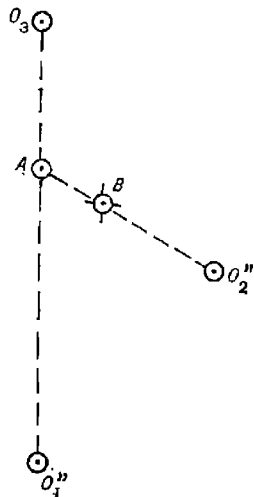


Рис. 28.4.2

Объединение мест производится поочередно по правилам, изложенным в § 13.1. Сначала объединяются любые две обсервации, например O_3 и O'_1 (рис. 28.4.2), затем полученная точка A объединяется со следующей обсервацией O'_2 . В результате объединения всех обсерваций находится вероятнейшее место — точка B .

При большом числе объединяемых мест координаты вероятнейшего места могут быть рассчитаны по формулам:

$$\varphi_B = \frac{\sum_{i=1}^N p_i \varphi_i}{\sum_{i=1}^N p_i}; \Delta w_B = \frac{\sum_{i=1}^N p_i \Delta w_i}{\sum_{i=1}^N p_i}; \lambda_B = \lambda_c + \Delta w_B \operatorname{ссc} \varphi, \quad (28.4.1)$$

где $p_i = 1/M_{0_i}^2$ — вес i -й объединяемой обсервации;

$\varphi_i, \Delta w_i$ — широта и отстояние (последнее относительно счислимого места) i -й обсервации;

λ_c — долгота счислимого места.

Точность вероятнейшего места, найденного путем объединения $N < 5$ независимых мест, оценивается СКП, равной

$$M_B = 1 / \sqrt{\sum_{i=1}^N p_i}. \quad (28.4.2)$$

При $N \geq 5$ используется формула

$$M_B = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N p_i d_i^2}{(N-1) \sum_{i=1}^N p_i}}, \quad (28.4.3)$$

где d — расстояние между вероятнейшим и i -м объединяемым местом.

Если обсервации получены с помощью одной и той же навигационной системы, то они, как правило, являются равноточными и взаимозависимыми. В этом случае $p_i = 1$ и координаты вероятнейшего места вычисляются по формулам:

$$\varphi_B = \left(\sum_{i=1}^N \varphi_i \right) / N; \lambda_B = \left(\sum_{i=1}^N \lambda_i \right) / N. \quad (28.4.4)$$

Средняя квадратическая погрешность вероятнейшего места при взаимозависимых равноточных наблюдениях оценивается величиной

$$M_{\text{в}} = \frac{M_0}{\sqrt{N}} \sqrt{1 + (N-1)R}, \quad (28.4.5)$$

где M_0 — СКП единичной наблюдения;

R — коэффициент корреляции наблюдений.

Коэффициент R определяется по формуле

$$R = \frac{r(n-1)(1 - \cos \Delta\tau)}{(1-r) + r(n-1)(1 - \cos \Delta\tau)}, \quad (28.4.6)$$

где r — коэффициент корреляции навигационных параметров;

$$r = m_0^2 / m_{\text{п}}^2;$$

m_0 — среднее квадратическое значение повторяющейся погрешности навигационного параметра;

$m_{\text{п}}$ — среднее квадратическое значение полной погрешности навигационного параметра; m_0 и $m_{\text{п}}$ определяются согласно приложению 3;

$\Delta\tau$ — среднее арифметическое значение угла между градиентами навигационных параметров;

n — среднее арифметическое число линий положения, приходящихся на одну объединяемую наблюдение.

Графическое объединение равноточных наблюдений производится их последовательным объединением. При этом (рис. 28.4.3) каждая

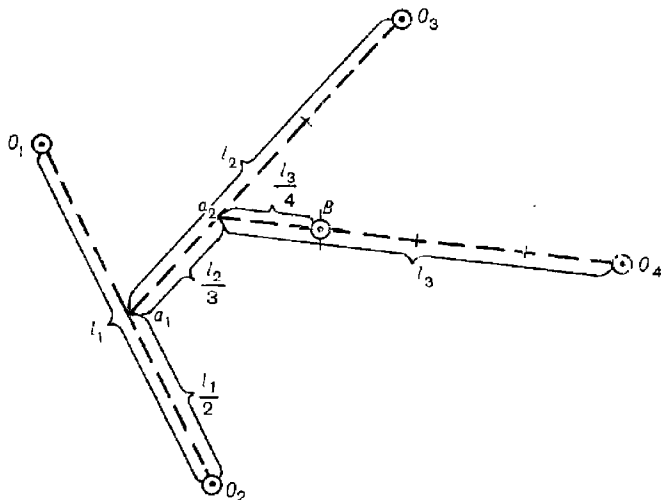


Рис. 28.4.3

последующая объединенная точка a_k находится на отрезке, соединяющем объединяемые точки, на расстоянии от предыдущей объединенной точки, равном $l_k / (k+1)$, где l_k — расстояние между объединяемыми точками, а k — номер объединенной точки.

Определение вероятнейшего места и оценка его точности путем объединения одновременно получаемых независимых наблюдений корабля с помощью ПМК производится:

а) при количестве наблюдений $N < 5$ по следующей программе:

В/О	F ПРГ									
ИПЗ	$F x^2$	$F 1/x$	ПС	ИП8	+	П8	ИП2	ИП5	×	
ИП4	$F \cos$	×	ИП0	+	П9	ИПС	×	ИП6	+	
П6	ИП8	:	ПА	ИП2	ИП5	×	ИП4	$F \sin$	×	
ИП1	+	ПД	ИПС	×	ИП7	+	П7	ИП8	:	
ПВ	ИП8	$F \sqrt{\quad}$	$F 1/x$	С/П	(45 шагов)					

ФАВТ.

Реализация программы:

— в ПМК последовательно вводятся исходные данные каждой наблюдения: $\Delta\varphi_i$ П0; $\Delta\omega_i$ П1; t_i П2; M_{oi} П3; ПУ П4; V П5 и после каждого ввода нажимаются клавиши В/О С/П;

здесь $\Delta\varphi_i$ и $\Delta\omega_i$ — приращения широты и отстояния i -й наблюдения относительно считаемого места или любой выбранной точки, мили;

t_i — интервал приведения к одному моменту i -й наблюдения, ч;

V — скорость корабля, уз;

M_{oi} — СКП i -й наблюдения, мили;

— после обработки данных последней наблюдения на индикаторе высвечивается СКП вероятнейшего места M_b и нажатием клавиш из памяти ПМК извлекаются поправки координат ИПА $\rightarrow \Delta\varphi_b$; ИПВ $\rightarrow \Delta\omega_b$ (в милях), которые необходимо прибавить к считаемым координатам (или к координатам выбранной точки) для получения вероятнейших координат;

б) при количестве наблюдений $N \geq 5$ вместо априорной используется апостериорная оценка точности вероятнейшего места M_b .

Для этого при вычислении поправок координат для получения вероятнейшего места по программе, указанной в п. «а», после обработки данных по каждой наблюдению из памяти ПМК извлекаются и записываются приведенные значения: ИП9 $\rightarrow \Delta\varphi'_i$ и ИПД $\rightarrow \Delta\omega'_i$.

Затем, не выключая ПМК, вводится новая программа для вычисления M_b :

В/О	F ПРГ									
ИПЗ	$F x^2$	$F 1/x$	ПС	ИПА	ИП9	—	$F x^2$	ИПВ	ИПД	
—	$F x^2$	+	ИПС	×	ИП0	+	П0	ИП1	1	
+	П1	С/П	ИП0	ИП1	1	—	:	ИП8	:	
$F \sqrt{\quad}$	П5	С/П	(33 шага)							

ФАВТ.

Реализация программы:

— в ПМК последовательно вводятся исходные данные: M_{oi} П3; $\Delta\varphi'_i$ П9; $\Delta\omega'_i$ ПД; 0 П0; 0 П1 (нули в ячейки П0 и П1 записываются только при вводе первой наблюдения); В/О С/П;

— после обработки данных последней наблюдения нажимается клавиша С/П и на индикаторе (из памяти ячейки П5) высвечивается СКП вероятнейшего места M_b .

Пример. Путь корабля $ПУ=300^\circ$, его скорость $V=12$ уз; в разные моменты получено 5 обсерваций. Определить вероятнейшее место корабля путем объединения обсерваций на момент последней обсервации; рассчитать апостериорное значение СКП вероятнейшего места. Исходные данные представлены в графах 1—5 табл. 28.4.1. При этом $\Delta\varphi_i$ и $\Delta\psi_i$ измерены на карте относительно координат первой обсервации:

Таблица 28.4.1

№ обсервации	$\Delta\varphi_i$, мили ПО	$\Delta\psi_i$, мили П1	t_i , ч П2	M_{0i} , мили ПЗ	Данные для расчета апостериорной M_a	
					ИП9 $\rightarrow \Delta\varphi_i$	ИПД $\rightarrow \Delta\psi_i$
1	2	3	4	5	6	7
1	0	0	1,2	1,3	+7,2'	-12,470766'
2	+2,6	-3,0	0,9	0,6	+8,0	-12,353075
3	+5,9	-7,8	0,4	1,0	+8,3	-11,956922
4	+7,0	-10,4	0	1,6	+7,0	-10,4
5	+5,6	-11,0	0	2,3	+5,6	-11,0

Решение:

— в ПМК вводят указанные в п. «а» программу и затем последовательно исходные данные каждой обсервации; после обработки каждой очередной обсервации нажатием клавиш на индикаторе высвечивают приведенные приращения координат: ИП9 $\rightarrow \Delta\varphi_i$ и ИПД $\rightarrow \Delta\psi_i$, которые записывают в графы 6 и 7 табл. 28.4.1;

— после обработки последней (пятой) обсервации нажатием клавиш на индикаторе высвечиваются приращения координат вероятнейшего места: ИПА $\rightarrow \Delta_a = +7,7943721'$ и ИПВ $\rightarrow \Delta\psi_a = -12,081268'$; эти приращения придают к координатам первой обсервации и получают координаты вероятнейшего места корабля на момент последней обсервации;

— для расчета M_a , не выключая ПМК, вводят указанную в п. «б» новую программу и затем последовательно исходные данные по каждой обсервации (графы 5—7 табл. 28.4.1) и 0 в ячейки ПО и П1 после первой обсервации;

— после обработки данных последней обсервации нажимают клавишу С/П и на индикаторе высвечивается искомая $M_a = 0,41286793$ мили.

Раздел IX

**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ НАВИГАЦИИ В РАЗЛИЧНЫХ
УСЛОВИЯХ ПЛАВАНИЯ**

ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАВИГАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПЛАВАНИЯ В СЛОЖНЫХ В НАВИГАЦИОННОМ ОТНОШЕНИИ РАЙОНАХ, А ТАКЖЕ В ОГРАНИЧЕННУЮ ВИДИМОСТЬ И В ШТОРМОВЫХ УСЛОВИЯХ

§ 29.1. СЛОЖНЫЕ В НАВИГАЦИОННОМ ОТНОШЕНИИ РАЙОНЫ И ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К КОРАБЛЕВОЖДЕНИЮ В НИХ

Сложными в навигационном отношении районами считаются акватории, в которых ограничена свобода маневра корабля близлежащими навигационными опасностями — берегами, малыми глубинами, банками, минными заграждениями, бонами, молами и прочими объектами, представляющими препятствие для прохода корабля.

К таким районам относятся гавани, рейды, бухты, прибрежные мелководные районы, каналы, проливы, шхеры (архипелаги малых и больших островов, окаймляющих побережье некоторых морей и заливов), фьорды (узкие глубоководные заливы) и районы с минными или сетевыми заграждениями.

Каждый выход корабля в море сопряжен с пребыванием в тех или иных сложных в навигационном отношении районах. Поэтому, готовясь к выходу в море, необходимо быть готовым и к плаванию в таких районах.

Навигационные условия в сложных в навигационном отношении районах характеризуются следующими особенностями:

- наличием большого количества видимых (надводных) и невидимых (подводных) навигационных опасностей, ограничивающих свободное для плавания пространство;
- ограниченными возможностями в выборе курсов;
- извилистостью участков свободного прохода;
- значительными и переменными по направлению течениями;
- резкими перепадами глубин;
- высокой интенсивностью мореплавания в некоторых районах, особенно при подходах к портам и базам.

Эти особенности предопределяют два основных требования к кораблевождению в сложных в навигационном отношении районах: оно должно осуществляться с повышенной точностью, а все операции по ведению навигационной прокладки — измерения навигационных параметров, их обработка, графические построения и анализ навигационной обстановки — должны производиться наиболее быстрыми способами и приемами.

В наибольшей степени этим требованиям удовлетворяет автоматизированное кораблевождение, основанное на использовании специализированной вычислительной техники и управляющих систем.

Безопасность кораблевождения в районах со сложными навигационными условиями плавания, помимо общего комплекса предварительных мероприятий, проводимых перед выходом корабля в море (гл. 9), обеспечивается:

— подготовкой морских карт для плавания в сложных в навигационном отношении районах (§ 29.2), а также подбором информационно-справочных карт (§ 4.2);

— использованием в процессе кораблевождения специальных средств навигационного оборудования (§ 29.3);

— применением способов счисления и определения места, обеспечивающих требуемые точность и быстроту ведения навигационной прокладки, в частности способов непрерывных обсерваций и ориентирования (§ 12.1).

§ 29.2. ПОДГОТОВКА МОРСКИХ КАРТ ДЛЯ ПЛАВАНИЯ В СЛОЖНЫХ В НАВИГАЦИОННОМ ОТНОШЕНИИ РАЙОНАХ

Для решения навигационных задач в сложных в навигационном отношении районах используются карты, масштаб которых обеспечивает требуемую точность кораблевождения (погрешности графических построений пренебрежимо малы по сравнению с погрешностями определения места) и удобство ориентирования по видимым на местности ориентирам (ориентиры, по которым на данном участке маршрута производится определение места, должны находиться в пределах данного листа карты).

При плавании в гаванях используются планы масштаба до 1 : 25 000; на рейдах, в бухтах, шхерах и прибрежных районах — частные карты масштабов 1 : 50 000—1 : 75 000; при подходе к ним со стороны моря — путевые карты масштабов 1 : 100 000—1 : 300 000.

В период подготовки к выходу в море (после выполнения предварительной прокладки) производится *подъем карт*, предназначенных для плавания в сложных в навигационном отношении районах, с целью выделения на них сведений, которые имеют важное значение для обеспечения безопасности кораблевождения по заданному маршруту. Подъем карт производится в соответствии с рекомендациями, изложенными в § 9.6.

Проведенные при подъеме карт *ограждающие изолинии* используются для быстрого определения положения корабля относительно навигационной опасности: по измерению одного навигационного параметра контролируется нахождение корабля в безопасной зоне.

Ограждающие изолинии, если позволяют размеры акватории, проводятся на расстоянии от ближайшей опасности, равном диаметру циркулярия корабля, сложенному с предельной погрешностью обсервационной изолинии в районе опасности. Каждая ограждающая изолиния цифровывается своим численным значением, определяемым по карте.

В качестве ограждающих изолиний используются (рис. 29.2.1):

- изолиния пеленга — прямая линия;
- изолиния расстояния и вертикального угла — окружность (изостадия);
- изолиния горизонтального угла — окружность (изогона);
- изолиния глубины — кривая (изобата);
- изолиния разности расстояний — гипербола.

В хорошую видимость в качестве ограждающей изолинии чаще всего используется линия пеленга, в малую видимость — линия радиолокационного расстояния. Реже используются изолинии, соответствующие горизонтальному и вертикальному углам.

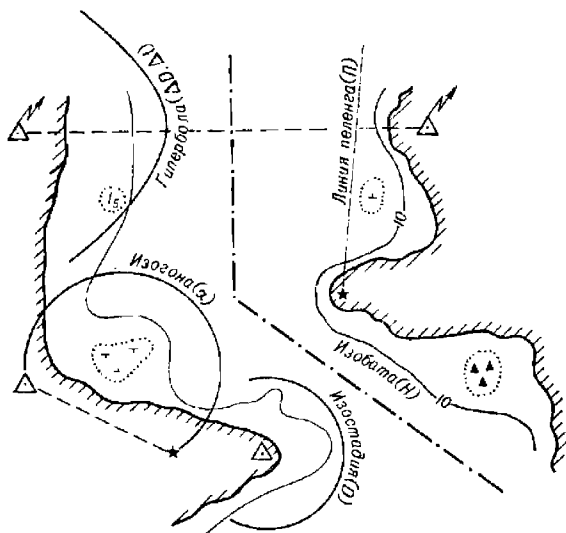


Рис. 29.2.1

Для наиболее сложных участков плавания на картах или планах проводятся *сетки навигационных изолиний*, существенно уыстряющие процесс определения места корабля в узкости. При необходимости

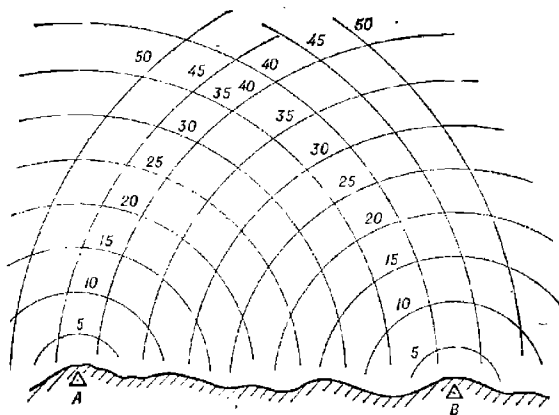


Рис. 29.2.2

планшеты с сетками изолиний заказываются в гидрографическом подразделении.

Сетки изолиний строятся относительно двух или трех ориентиров. Изолинии выбранных ориентиров на заданном участке маршрута

должны пересекаться под углами, отличающимися от прямого на величину не более 30° . Каждое семейство изолиний проводится своим отличительным цветом. Расстояние между смежными изолиниями должно находиться в пределах 5—10 мм. Такие интервалы не сильно затеяют обстановку на карте и обеспечивают возможность уверенной интерполяции между изолиниями на глаз.

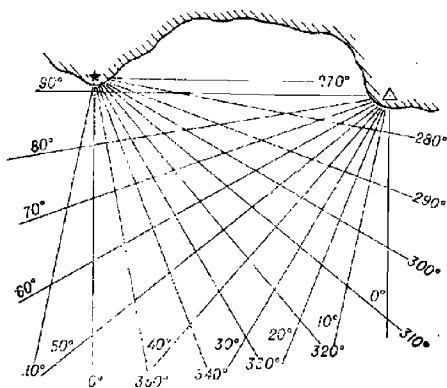


Рис. 29.2.3

— азимутальная сетка (рис. 29.2.3) — совокупность линий пеленгов, проведенных относительно двух (трех) визуально наблюдаемых ориентиров; используется при определении места по компасным пеленгам;

В зависимости от требуемой точности определения места, а также от наблюдаемых ориентиров и от имеющихся на корабле технических средств навигации строятся следующие сетки навигационных изолиний:

— стадиометрическая сетка (рис. 29.2.2) — совокупность изостадий, проведенных относительно двух (трех) наблюдаемых на экране РЛС ориентиров;

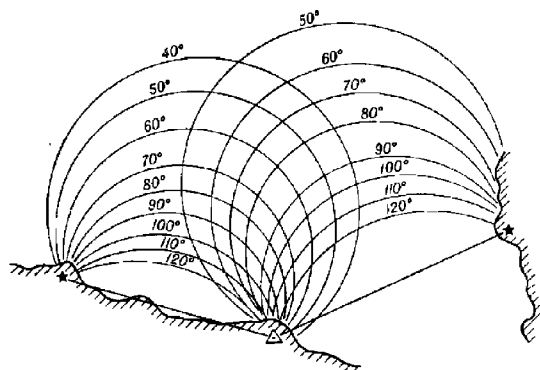


Рис. 29.2.4

— гониометрическая сетка (рис. 29.2.4) — совокупность изогон, проведенных относительно двух пар навигационных ориентиров; используется при определении места корабля по горизонтальным углам;

— гиперболическая сетка (рис. 29.2.5) — совокупность гипербол, проведенных относительно двух пар наземных станций; используется при определении места корабля по радионавигационной системе;

— комбинированная сетка (рис. 29.2.6) — совокупность семейств разнородных изолиний, например линий пеленга и изостадий, проведенных относительно одного ориентира.

Сетки изолиний в виде окружностей или всера пеленгов штурманом изготавливаются, как правило, самостоятельно, а сетки, включающие изолинии в виде гипербол, рассчитываются и вычерчиваются специалистами гидрографических служб.

Сущность использования сеток изолиний состоит в следующем: после измерения и исправления навигационных параметров соответствующими поправками на карте с сеткой изолиний отыскиваются изо-

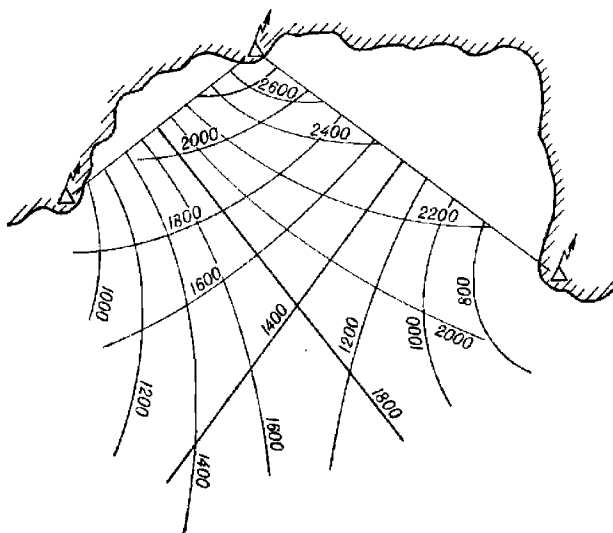


Рис. 29.2.5

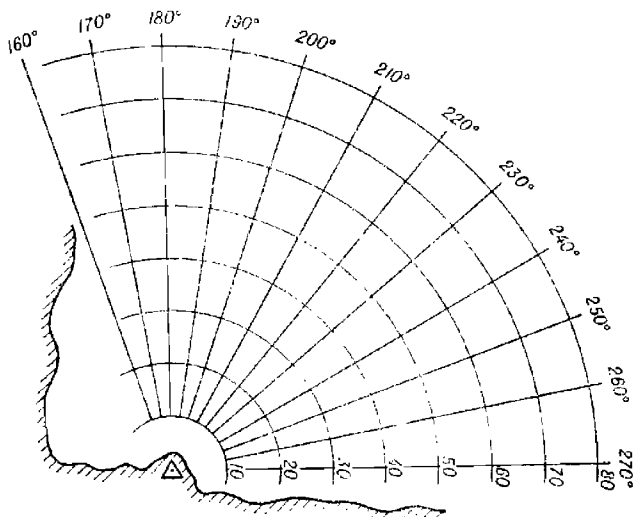


Рис. 29.2.6

линии, оцифрованные значениями, равными исправленным навигационным параметрам (при необходимости производится интерполяция изолиний), и в точке пересечения изолиний принимается наблюдаемое место корабля.

§ 29.3. НАВИГАЦИОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ СЛОЖНЫХ В НАВИГАЦИОННОМ ОТНОШЕНИИ РАЙОНОВ

Для обеспечения безопасности плавания в сложных в навигационном отношении районах наряду с обычными средствами навигационного оборудования дополнительно используются следующие средства.

1. Створные знаки (створы) — два или три знака, расположенные на линии, совпадающей с направлением рекомендованного или безопасного пути (рис. 29.3.1). Линия, на которой расположены знаки, называется линией створа. При нахождении корабля на линии створа знаки усматриваются по одному направлению, лежащему в вертикальной плоскости. В этом случае говорят, что знаки находятся в створе. При смещении корабля с линии створа (с рекомендованного пути) створные знаки будут наблюдаться под каким-то углом. Чем больше смещение, тем больше этот угол.

Человеческий глаз обладает определенной разрешающей способностью и поэтому расстворение знаков обнаруживается лишь при каком-то угле γ между ними (рис. 29.3.1). Боковое смещение p , в пределах которого наблюдатель не обнаруживает расстворение створных знаков, называется *линейной чувствительностью створа*.

Чем меньше величина p , тем чувствительнее створ. Обозначив через D расстояние от корабля до переднего створного знака и через d — расстояние между створными знаками, можно вывести формулу для расчета p

$$p = D \left(\frac{D}{d} + 1 \right) \gamma \operatorname{arc} 1', \quad (29.3.1)$$

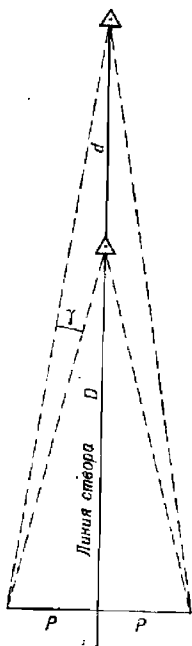


Рис. 29.3.1

где γ — в минутах дуги.

Невооруженный человеческий глаз различает угол между створными знаками $\gamma \approx 1'$. Тогда возможное незамеченное смещение корабля с линии створа окажется равным

$$p = D \left(\frac{D}{d} + 1 \right) \operatorname{arc} 1'.$$

При наблюдении створных знаков с помощью оптических средств эта величина уменьшается пропорционально кратности увеличения оптики

$$p = \frac{D}{k} \left(\frac{D}{d} + 1 \right) \gamma \operatorname{arc} 1', \quad (29.3.2)$$

где k — кратность увеличения оптического средства.

Анализируя полученную формулу, можно заключить, что точность удержания корабля на линии створа повышается при приближении к створным знакам. Из двух створов следует предпочесть тот, у которого больше расстояние между створными знаками.

Таким образом, линейная погрешность места корабля по направлению, перпендикулярному линии створа, не выходит за пределы величины p . При этом равновероятно иметь любую погрешность, не выходящую за эти пределы. Следовательно, погрешность места корабля по перпендикуляру к линии створа подчиняется закону равномерной плот-

ности. Средняя квадратическая погрешность смещения корабля с линии створа в этом случае определяется величиной $m = p/\sqrt{3}$. В реальных условиях $m = 10 \dots 20$ м.

Различают *ведущие створы* — линия створа направлена по рекомендованному пути или фарватеру — и *секущие створы* — линия створа составляет какой-то угол с направлением рекомендованного пути. Первые предназначены для обеспечения плавания по заданной линии пути, вторые — для определения точек поворота, а также для контроля поправки системы курсоуказания. Для обеспечения безопасности плавания в ночное время на створных знаках устанавливаются огни.

2. Береговые радиолокационные станции и навигационного ориентирования — несколько береговых РЛС, зоны действия которых перекрывают наиболее сложные участки плавания, управляемых с одного берегового информационного поста. По запросу с корабля береговые РЛС одновременно измеряют расстояния или пеленги относительно корабля и передают их на береговой информационный пост. Там производится обработка информации, в результате которой определяются координаты и элементы движения корабля. В некоторых случаях информация о месте корабля и элементах его движения может передаваться непосредственно от береговой РЛС. В зависимости от оснащённости корабля техническими средствами навигации и от условий видимости возможны два варианта навигационного ориентирования кораблей с помощью береговых РЛС:

— на корабль передаются географические или полярные координаты относительно заранее обусловленной точки. По этим данным на корабле корректируется курс и производится расчет плавания;

— на корабль передаются курс и скорость, которыми он должен следовать, т. е. береговой информационный пост управляет элементами движения корабля, направляя его перемещение по заданному пути. На корабле при этом принимаются все возможные меры контроля навигационной безопасности.

Точность определения места и элементов движения корабля береговыми РЛС зависит от типа радиолокаторов, от расстояния до корабля и от метода обработки навигационной информации.

3. Ведущий кабель — укладываемый на грунт вдоль рекомендованного пути или по оси фарватера кабель, через который пропускается электрический ток. Вокруг кабеля возникает электромагнитное поле. Вертикальная составляющая напряжённости этого поля E_v зависит от положения рассматриваемой точки относительно кабеля: над кабелем она равна нулю (рис. 29.3.2), а по мере удаления от вертикали кабеля возрастает. По одну сторону от кабеля вертикальная составляющая направлена вверх, а по другую — вниз.

На корабле устанавливается индикатор вертикальной составляющей напряжённости электромагнитного поля. При нахождении корабля над кабелем вертикальная составляющая отсутствует и стрелка индикатора стоит неподвижно в нулевом центральном положении. При уклонении корабля от кабеля стрелка индикатора, реагируя на вертикальную составляющую, отходит от вертикального положения. Сторона наклона стрелки от вертикали зависит от знака вертикальной составляющей, т. е. от стороны смещения корабля. Следуя вдоль кабеля, управляют рулем так, чтобы стрелка индикатора постоянно находилась в нулевом положении.

Средняя квадратическая погрешность смещения корабля от кабеля характеризуется величиной 4—12 м.

Береговые РЛС и ведущий кабель используются в основном при плавании в малую видимость.

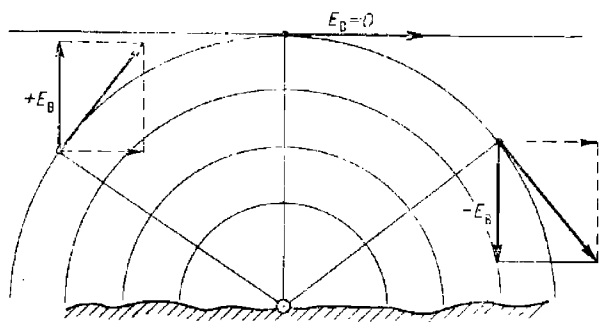


Рис. 29.3.2

4. Плавающие предостерегательные знаки — плавающие маяки, буи, вежи и баканы, предназначенные для ограждения навигационных опасностей и для обозначения линий рекомендованных путей, фарватеров, границ каналов и других безопасных проходов. Плавающие предостерегательные знаки опознаются по внешнему виду. В ночных условиях и в ограниченную видимость плавающие маяки и буи опознаются по характеристике их огней. Иногда плавающие предостерегательные знаки оборудуются пассивными радиолокационными отражателями или радиолокационными маяками-ответчиками.

5. Радионавигационные системы высокой точности (гл. 19).

§ 29.4. СПОСОБЫ КОРАБЛЕВОЖДЕНИЯ И МЕРЫ ПРЕДОСТОРОЖНОСТИ ПРИ ПЛАВАНИИ В УЗКОСТЯХ И ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНАХ

Близость навигационных опасностей и частая смена курсов придают кораблевождению в узкостях сложный и напряженный характер.

Плавание в узкостях осуществляется, как правило, по фарватерам и рекомендованным курсам (путям).

Безопасность плавания корабля в узкостях и в прибрежных районах обеспечивается предварительной подготовкой, включающей изучение и анализ навигационно-гидрографических и гидрометеорологических условий в районе плавания, расчеты на составление предварительной прокладки, расчеты допустимой и ожидаемой точности плавания.

В узкостях ведется автоматическая навигационная прокладка с помощью автопрокладчика и навигационной цифровой вычислительной машины, работающей в режиме обсервационного счисления. Параллельно для контроля навигационной безопасности используются методы ориентирования (створы, ограждающие изолинии, контроль глубины и тенденции ее изменения) и непрерывных обсерваций, выполняемых на карте с сеткой навигационных изолиний. При этом обсервации производятся наиболее простыми и быстрыми способами, обеспечивающими требуемую точность определения места корабля.

Любой маневр в узкости выполняется на основе измерений и расчета. Плавающие предостерегательные знаки используются только для ориентировки относительно опасностей, но не для обсерваций, так как они могут быть смещены со своих штатных мест.

При плавании в узкостях следует соблюдать следующие рекомендации и предосторожности.

1. При подходе к узкости или к ненаблюдаемой навигационной опасности со стороны моря курс подхода должен быть перпендикулярен линии, соединяющей наиболее узкий участок входа в стесненный для плавания район. При этом необходимо убедиться, что радиус \hat{M} предельной погрешности места корабля на момент прохода узкости (рис. 29.4.1) меньше расстояния до ближайшей опасности. Для уменьшения погрешности места интервал счисления между последней обсервацией и проходом узкости должен быть по возможности минимальным.

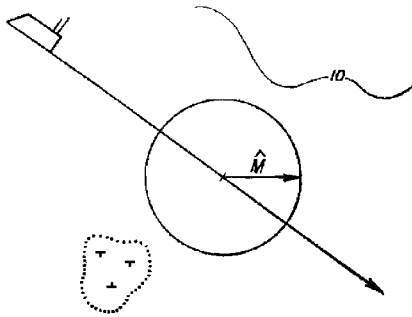


Рис. 29.4.1

Начало рекомендованного пути для входа в узкость со стороны моря, как правило, обозначается буйем. Выход корабля к бую производится на основе надежных обсерваций. При подходе к бую по счислению можно воспользоваться ближайшим радиомаяком (рис. 29.4.2): измерить по карте значение радиопеленга, проходящего через радиомаяк и буй, и выйти на линию этого пеленга в расстоянии d от бую,

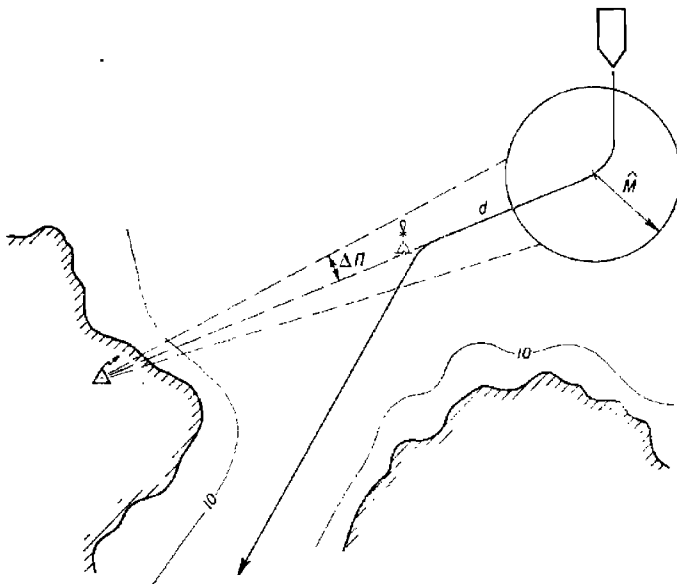


Рис. 29.4.2

превышающем предельную погрешность места корабля \hat{M} . Далее корабль следует по линии радиопеленга до бую, где, уточнив свое место с помощью РЛС или высокоточной РНС, поворачивает на линию рекомендованного пути.

Допустимая погрешность радиопеленга (в градусах), обеспечивающая обнаружение буя на расстоянии D_0 , рассчитывается по формуле

$$\Delta\Pi_k = \frac{57,3 \cdot 0,7D_0}{D} = 40 \frac{D_0}{D}, \quad (29.4.1)$$

где D — расстояние от радиомаяка до буя.

Уточнение счислимого места при подходе к узкости с моря может быть произведено по измеренным глубинам, если рельеф морского дна обеспечивает такое уточнение.

2. В узкости корабль удерживается на рекомендованной линии пути с помощью створа или ведущего кабеля. При отсутствии этих средств корабль управляется по пеленгу на приметный ориентир, расположенный на линии безопасного пути. Курс корабля при этом рассчитывается с учетом суммарного сноса. Управление рулем путем удержания ориентира прямо по носу или прямо по корме при наличии сноса недопустимо, так как корабль при этом неизбежно сойдет с намеченной безопасной линии пути (рис. 29.4.3).

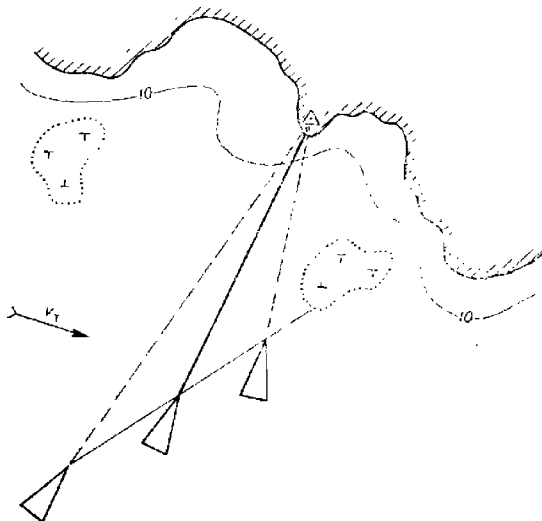


Рис. 29.4.3

3. Контроль безопасности плавания производится по заранее рассчитанному плану обсерваций. Наиболее быстро и точно выполняются обсервации по карте с сеткой изолиний. Для этого используются высокоточные радионавигационные системы, радиолокация и пеленгаторы гироскопических компасов. Определение места по горизонтальным углам применимо при наличии подготовленных наблюдателей, способных по команде штурмана быстро и точно измерять горизонтальные углы секстаном.

Если береговая черта четко выделяется на экране РЛС, то для контроля безопасности плавания используется блок совмещения РЛС с картой.

Интервалы между обсервациями не должны превышать заранее рассчитанных (метод расчета допустимых интервалов между обсервациями t_d изложен в § 9.8). При любой рассчитанной дискретности обсерваций они производятся перед каждым поворотом на новый курс

и после каждого поворота. Предповоротная обсервация производится с расчетом, чтобы после нанесения ее на карту успеть уточнить время поворота и значение навигационного параметра поворота на видимый ориентир. Для этого предповоротная обсервация производится за t_n минут до намеченного времени начала поворота

$$t_n = t_o + t_y + \frac{K_c t}{2V}, \quad (29.4.2)$$

где t_o — продолжительность производства обсервации (измерения навигационных параметров, их обработки и графических построений на карте), мин;

t_y — время, необходимое для уточнения поворотных данных (момента начала поворота, отсчета лага и поворотного навигационного параметра), мин;

K_c — коэффициент точности счисления (для кораблей с относительным лагом $K_c \approx 1,0$);

V — скорость корабля, уз;

t — время, в течение которого корабль проходит расстояние от последней имеющейся на карте обсервации до точки поворота, мин.

При изменении курса через 1—3 мили пути скорость корабля рассчитывается с учетом возможности производства на каждом курсе не менее двух следующих одна за другой обсерваций, т. е. скорость корабля (в узлах) должна соответствовать неравенству

$$V \leq \frac{6S}{2(t_o + t_y) + t_r}, \quad (29.4.3)$$

где S — расстояние, пройденное по курсу, кбт;

t_r — время, необходимое для графического отображения пути на карте после поворота и для оценки степени его безопасности, мин.

В интервалах между обсервациями производится измерение одних навигационных параметров с целью контроля безопасности плавания корабля путем их сравнения с местоположением средств навигационного оборудования, ограждающих навигационные опасности.

Во избежание повторяющихся погрешностей измерение навигационных параметров производится различными техническими средствами.

4. Время начала поворота на очередной курс рассчитывается по первой обсервации на курсе, предшествующем повороту, и затем уточняется по последующим обсервациям. Расчет времени производится с точностью до 0,1 мин. Учет фактического временного интервала от последней обсервации до начала поворота производится по секундомеру.

Если на курсе, предшествующем повороту на новый курс, обсервацию произвести невозможно, то перед поворотом измеряется пеленг Π , по возможности параллельный новой линии пути, и счислимое место C , соответствующее моменту измерения пеленга, по перпендикуляру переносится на линию этого пеленга в точку O (рис. 29.4.4). При правильном дальнейшем счислении такое уточнение положения корабля обеспечит его выход на новую линию пути независимо от того, в какой из точек O_i на линии пеленга находилось фактическое место корабля. Однако при этом должно быть обеспечено, чтобы предельная линейная погрешность места \hat{m} на всем протяжении линии пути не превышала минимального расстояния $D_{оп}$ до ближайшей навигационной опасности.

Чем меньше длина пути от линии измеренного пеленга до точки поворота, тем точнее корабль выйдет на новую линию пути. Наиболее благоприятным с этой точки зрения является случай, когда поворот совершается на пеленге, параллельном новой линии пути.

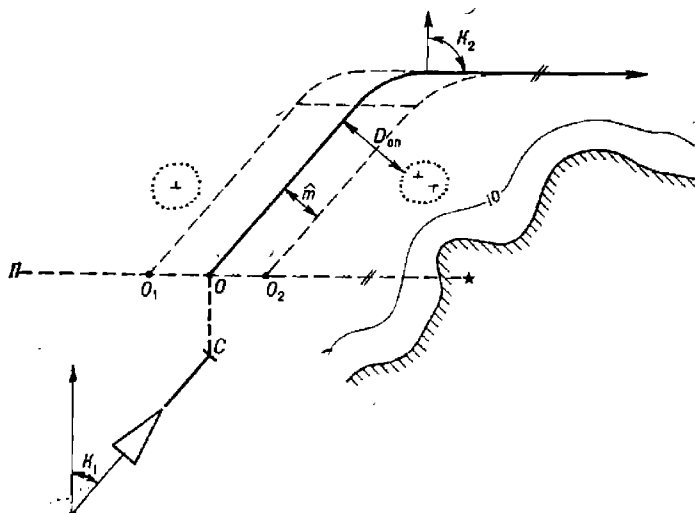


Рис. 29.4.4

Команда на руль об изменении курса подается с упреждением, т. е. с учетом времени, потребного на выполнение команды рулевым и исполнительным двигателем рулевого устройства.

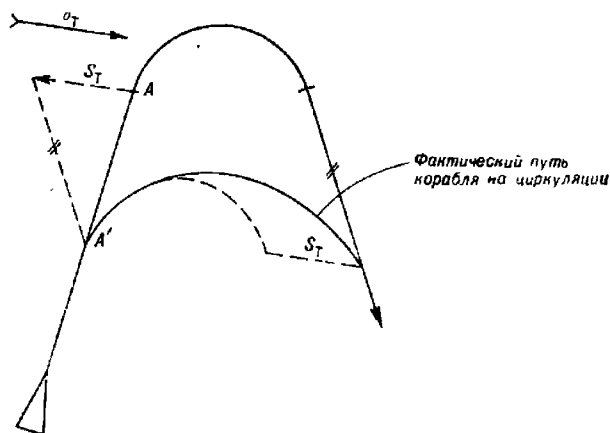


Рис. 29.4.5

5. При больших углах поворота ($\alpha > 60^\circ$) точка начала поворота рассчитывается с учетом сноса корабля течением и ветром во время выполнения циркуляции. Для этого из точки A — точки начала поворота, рассчитанной без учета сноса, — в сторону, противоположную направлению течения (рис. 29.4.5), откладывается отрезок $S_T = v_T t_c$, соот-

ветствующий сносу корабля за время циркуляции. Через конец этого отрезка проводится прямая, параллельная новой линии пути, до пересечения с прежней линией пути. Полученная точка A' и будет точкой начала поворота.

При поворотах в узкостях учитывается и воздействие ветра: если поворот совершается на ветер, то диаметр циркуляции за счет дрейфа корабля уменьшается, если поворот под ветер, то диаметр циркуляции увеличивается. Изменение диаметра циркуляции при дрейфе определяется опытным путем.

Поворот в непосредственной близости от навигационной опасности совершается с учетом угла дрейфа на циркуляции — отклонения диаметральной плоскости корабля от направления кривой циркуляции.

Непосредственно перед поворотом убеждаются в отсутствии на линии нового пути плавающих объектов. Во время циркуляции штурман контролирует угол перекаладки руля, своевременность команд для одержания циркуляции и правильность выхода корабля на заданный курс. При повороте на линию створа ведется зрительное наблюдение за створными знаками и при необходимости корректируется угол перекаладки руля.

При повороте в узкостях с целью сокращения времени на прохождение команд, подаваемых на руль, и исключения их искажения дублирование команд должно быть сведено к минимуму.

6. В районах, где берега и надводные навигационные опасности обладают высокой отражающей способностью, навигационная безопасность, особенно в ограниченную видимость, может быть обеспечена с помощью блока совмещения карты с радиолокационным изображением надводной обстановки.

Для этого производится дополнительный подъем элементов содержания крупномасштабной карты: проводится четкая линия безопасного пути, выделяются границы допустимого подхода к навигационным опасностям, обводятся или оттеняются контуры береговой черты.

Сущность использования блока совмещения при плавании в узкостях состоит в согласовании масштабов карты и радиолокационного изображения (с помощью неподвижных кругов дальности) и в непрерывном совмещении береговой черты и точечных надводных ориентиров на карте с их эхо-отображением. При этом место корабля совпадает с центральной светящейся точкой (в точке начала развертки). При отклонении этой точки от намеченной линии пути производится корректура курса. Величина корректуры зависит от конкретной навигационной обстановки.

7. При плавании в прибрежной зоне и вблизи берегов с периодическими наблюдениями производится контроль направления невязок. При расположении последовательных невязок в секторе величиной до 70° делается предположение о наличии неучтенного систематического сноса. В этом случае по полученным невязкам, превышающим предельные погрешности предыдущей и данной обсерваций, определяются элементы сноса:

— при равноточных (или примерно равноточных) обсервациях:

$$v_{\text{сн}} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i t_i}{\sum_{i=1}^n t_i^2}; \quad K_{\text{сн}} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i C_i^2}{\sum_{i=1}^n C_i^2}, \quad (29.4.4)$$

где $v_{\text{сн}}$ и $K_{\text{сн}}$ — скорость и направление сноса;
 C_i — модуль i -й невязки ($i = 1, \dots, n$), мили;

t_i — интервал счисления между i -й и $(i-1)$ -й наблюдениями;

α_i — направление i -й невязки;

— при равнооточных и ритмичных ($t = \text{const}$) наблюдениях

$$v_{\text{сн}} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{in},$$

где n — общее количество наблюдений на ограниченном интервале времени.

8. При плавании в узкостях и прибрежных зонах в интересах навигационной безопасности необходимо:

— использовать фарватеры, районы с установленными зонами разделения движения и рекомендованные пути; назначать скорость, не превышающую безопасную для расхождения с судами и обеспечивающую своевременное определение места корабля при подходах к навигационным опасностям, перед поворотом и после поворота;

— учитывать элементы течения и дрейфа;

— использовать ограждающие навигационные изолинии, являющиеся границами безопасного района плавания. С приближением корабля к границе района безопасного плавания измеряют навигационный параметр и сравнивают с его значением, надписанным на ограждающей изолинии. По результатам сравнения делается вывод о нахождении корабля в той или иной стороне относительно ограждающей изолинии;

— заранее спланированные наблюдения производить с частотой, не меньшей рассчитанной (§ 9.8 и формулы п. 63 приложения 3). При плавании в наиболее сложных районах для быстрого нанесения наблюдений используются карты или планшеты с сетками изолиний;

— глубины измерять непрерывно и вести наблюдение за тенденцией их изменения по самописцу эхолота; вести также сравнение измеренных и исправленных поправками глубин с глубинами в счислимых и обсервованных точках;

— прокладывать курсы в расстояниях от навигационных опасностей, превышающих предельные погрешности места корабля, предварительно рассчитанные для вероятности не менее 0,997;

— использовать створы (искусственные и естественные) для удержания корабля на заданной линии пути и для определения поправок систем курсоуказания;

— дублировать автоматическую навигационную прокладку ручной графической прокладкой;

— сравнивать пройденные расстояния по лагу с пройденными расстояниями, рассчитанными по времени и скорости корабля; допустимое расхождение контролируют, используя формулу (7.3.7);

— контроль работы лагов и учитываемых элементов сноса путем сравнения пройденных расстояний между наблюдениями с расстояниями, рассчитываемыми по счислению; допустимое расхождение этих расстояний рассчитывается по формуле

$$\Delta S \leq 3 \sqrt{0,5(M_{0_i}^2 + M_{0_n}^2) + t^2 m_V^2} \quad (29.4.5)$$

где M_{0_i} и M_{0_n} — СКП наблюдений;

t — интервал счисления между наблюдениями;

m_V — СКП путевой скорости (§ 7.4);

— производить анализ невязок. Количественный анализ производится по правилам, изложенным в п. 62 приложения 3. Качественный

анализ состоит в определении сектора, в котором располагаются невязки. Неизменность сектора свидетельствует о наличии систематической составляющей сноса. Если при изменении курса корабля изменяется и направление невязок, то делается вывод о наличии систематических погрешностей в автономной системе счисления: при расположении невязок до и после поворота по линии курса наиболее вероятна систематическая погрешность в показаниях лага, при невязках траверзного направления (до и после изменения курса) систематическая погрешность содержится в системе курсоуказания;

— при проходе узкости по счислению (когда отсутствуют возможности определения места корабля) погрешность счислимого места рассчитывать по большему из двух коэффициентов точности счисления, один из которых вычислен по невязкам, а другой по погрешностям в элементах счисления;

— если при наличии сноса или дрейфа рассчитанная линия истинного курса для плавания по заданной линии пути проходит через навигационную опасность или в непосредственной близости от нее, то проходить данный участок по счислению недопустимо. Безопасность кораблевождения в этом случае должна контролироваться с помощью серии обсерваций;

— значения поворотных навигационных данных (например, пеленга и времени поворота) определять на основе надежных обсерваций, производимых непосредственно перед поворотом;

— чередовать обсервации (если позволяют условия плавания), выполняемых с помощью различных ТСН. Расхождение полученных обсерваций на величину

$$d > 2,1 \sqrt{M_0^2 + M_0^2} \quad (29.4.6)$$

свидетельствует о наличии систематических погрешностей в измерениях, используемых для обсерваций, поэтому необходимо принять меры к их определению;

— применять принцип преемственности ориентиров: в каждой обсервации по новому ориентиру использовать не менее двух навигационных параметров, измеренных относительно старых, уже опознанных ориентиров. Отклонение изолинии *НП*, измеренного относительно нового ориентира, от места, полученного по опознанным ориентирам, на величину, превышающую

$$\Delta = 3 \sqrt{(0,7M)^2 + (m_n/g)^2} \quad (29.4.7)$$

свидетельствует об ошибке в опознании нового ориентира или о промахе в измерении нового навигационного параметра (*M* — СКП места, полученного по старым, ранее опознанным ориентирам; *m_v* и *g* — СКП и градиент навигационного параметра, измеренного относительно нового ориентира).

9. При плавании в прибрежной зоне любое место корабля, найденное в виде точки, должно оцениваться площадью, в пределах которой вероятно нахождение этой точки.

При предварительном расчете надежности кораблевождения в узкостях и при автоматизированной обработке навигационной информации в море с помощью навигационной цифровой вычислительной машины площадь вероятного местонахождения корабля оценивается эллипсом с центром в точке, соответствующей месту корабля.

Элементы среднего квадратического эллипса погрешностей рассчитываются по формулам п. 28—35 приложения 3.

Вероятность нахождения истинного места корабля в пределах эллипса с заданными полуосями a и b рассчитывается по формуле п. 36 приложения 3 с помощью табл. 1-а МТ—75: по $x=A^2/2a^2$ (a — большая полуось среднего квадратического эллипса) из таблицы выбирается величина e^{-x} , вычитание ее из единицы даст необходимую вероятность.

При плавании в открытых районах моря или вблизи берегов площадь вероятного местонахождения корабля оценивается средней квадратической погрешностью. СКП счислимго места рассчитывается по формуле п. 47 приложения 3; СКП обсервации рассчитывается по общим формулам п. 40—42, 46, 50—56 приложения 3 или по формулам, приведенным в изложении способов определения места.

Вероятность нахождения истинного места корабля в пределах круга с радиусом $M_3=\hat{M}=RM$ (с центром в точке, соответствующей принятому месту корабля) рассчитывается по формуле п. 44 приложения 3 с помощью табл. 1-в МТ—75 (по $R=M_3/M$ и $e=b/a=1$). Неучет фактического соотношения полуосей эллипса b/a дает пренебрежимо малую погрешность, не превышающую 3% (для $R \geq 1,5$).

Для оценки точности места, полученного по двум навигационным параметрам с преобладающей повторяющейся погрешностью, используется отрезок с центром в точке, соответствующей месту корабля.

Полудлина и направление этого отрезка рассчитываются по формулам п. 34 приложения 3. Вероятность нахождения истинного места корабля в пределах симметричного (относительно вероятнейшего места) отрезка длиной $l=ca_0$ (a_0 — среднее квадратическое смещение места корабля при преобладании повторяющейся погрешности) рассчитывается с помощью табл. 1-а МТ—75.

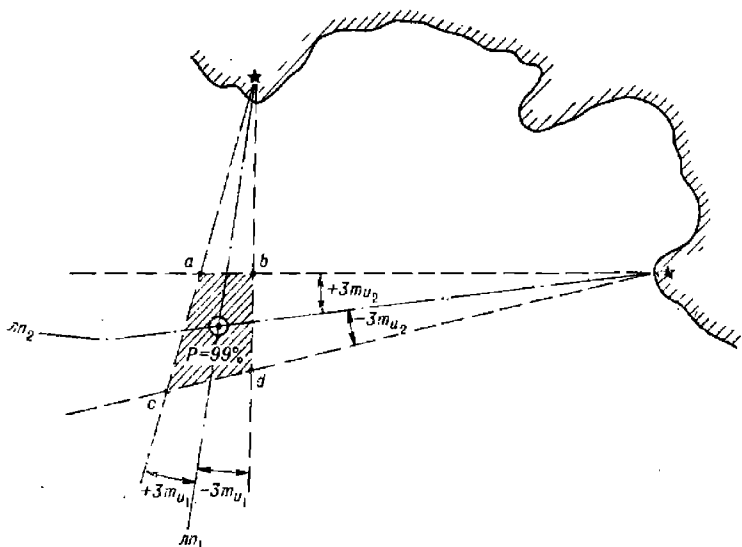


Рис. 29.4.6

В общем случае при определении места корабля по двум навигационным параметрам площадь вероятного местонахождения корабля

наиболее быстро оценивается фигурой $abcd$ (рис. 29.4.6), образованной навигационными изолиниями, соответствующими навигационным параметрам:

$$U_{o_1} + 3m_{U_1}; U_{o_1} - 3m_{U_1};$$

$$U_{o_2} + 3m_{U_2}; U_{o_2} - 3m_{U_2}.$$

Вероятность нахождения истинного места корабля в такой фигуре составляет свыше 99,4 %.

При отсутствии ориентиров на данной карте фигура $abcd$ вероятного местонахождения корабля наиболее быстро определяется путем параллельного смещения навигационных изолиний (рис. 29.4.7) на величины $\pm 3m_{лп}$, где $m_{лп} = mv/g$; СКП навигационного параметра m_U определяется опытным путем или с помощью приложения 3; градиент g рассчитывается по формулам п. 24 приложения 3.

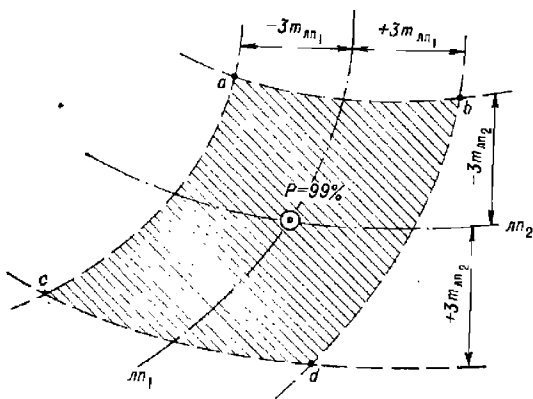


Рис. 29.4.7

Среднее квадратическое смещение места корабля по заданному направлению — по направлению навигационной опасности — рассчитывается по формулам п. 45 приложения 3. Вероятность заданного смещения Δ_L по избранному направлению определяется с помощью табл. 1-6 МТ—75 по аргументу

$$z = \frac{\Delta_L}{m_L}.$$

§ 29.5. НАВИГАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОСТАНОВКИ КОРАБЛЯ НА ЯКОРЬ

С точки зрения навигационной безопасности якорное место должно удовлетворять следующим требованиям:

— глубина якорного места с учетом колебания уровня моря не должна превышать одну треть от общей длины якорной цепи. В отдельных случаях допускается стоянка на якоре при глубине, не превышающей 2/3 длины якорной цепи. Это обеспечит нужную держащую силу якорного устройства. Наиболее удобными для постановки на якорь являются глубины, в 2—3 раза превышающие осадку корабля;

— грунт якорного места должен прочно удерживать якорь в неподвижном положении. Лучше всего держит якорь глина, затем ил, песок, мелкий камень; хуже всего — плитняк, крупный камень, галька;

— якорное место должно быть защищено от воздействия господствующих ветров и от волнения; скорость течения должна быть минимальной (течения с большими скоростями затрудняют выход корабля в якорную точку и могут вызвать снос корабля);

— подходы к якорному месту должны быть свободны от навигационных опасностей и иметь искусственные или естественные ориентиры для обеспечения выхода корабля в якорную точку и для контроля за отсутствием дрейфа при стоянке на якоре;

— свободная от навигационных опасностей акватория для якорной стоянки одного корабля должна вмещать окружность с радиусом, равным расстоянию от точки отдачи якоря до наиболее удаленной от нее точки корабля после приведения корабля на вытравленную якорь-цепь и с учетом погрешности определения места отдачи якоря, т. е.

$$R = L + l + 3M,$$

где L — длина корабля;

l — длина вытравленной якорной цепи (с учетом самых неблагоприятных погодных условий);

M — средняя квадратическая погрешность определения места якорной точки.

Площадь этой окружности не должна пересекать линии створов фарватеров и рекомендованных путей, а также площади возможного нахождения на якоре других кораблей.

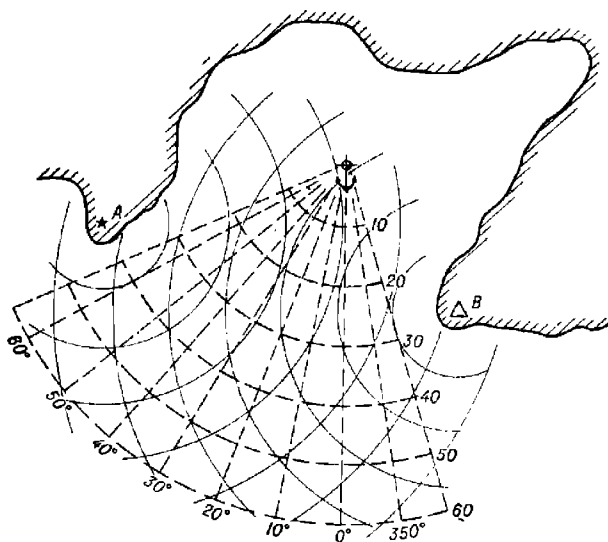


Рис. 29.5.1

Для обеспечения выхода корабля в якорную точку рекомендуется на крупномасштабной карте (плане) или на планшете вычертить две сетки изолиний (рис. 29.5.1): сетку, состоящую из линий курсов и расстояний, построенную относительно якорной точки (на рисунке эта сетка изображена пунктирными линиями), и другим цветом сетку изолиний относительно навигационных ориентиров. Первая сетка служит для определения курса выхода в якорную точку и расстояния до места

отдачи якоря; с помощью второй сетки производится нанесение обсерваций на карту при подходе корабля к якорной точке.

Курс подхода к якорной точке должен проходить в безопасном расстоянии от навигационных препятствий и от кораблей, стоящих на рейде. Наиболее благоприятным курсом подхода является тот, который направлен против ветра (течения). При подходе к району якорного места, сообразуясь с глубинами, штурман информирует ходовой мостик (ходовую рубку) о необходимости подъема выступающих забортовых устройств.

За 60—50 кбт до якорной точки проверяется прямая связь штурмана с пунктом управления кораблем. Примерно с этого же расстояния производятся обсервации на карте с сетками изолиний. В начальный период обсервации производятся через 1—2 мин, а затем по мере приближения к якорной точке через каждые 30—40 с. После нанесения каждой обсервации на карту по сетке курсов и расстояний контролируется правильность движения корабля по направлению и определяется расстояние до места отдачи якоря. Расстояние до якорной точки после каждой обсервации докладывается на пункт управления кораблем («До якорной точки ... кабельтовых»), при необходимости в эти же моменты докладывается корректура курса (« 10° влево по компасу, курс выхода в якорную точку ... градусов»). При расчете курса или его корректуре учитывается суммарный снос корабля, определяемый по обсервациям.

На курсе выхода в якорную точку непрерывно измеряется глубина. Скорость хода корабля уменьшается постепенно по мере приближения к якорной точке и с учетом инерционных свойств корабля, наличия течения и силы ветра. С приходом корабля в якорную точку («Корабль в якорной точке») гасится инерция корабля, и в момент остановки корабля отдается якорь. В момент отдачи якоря определяется место корабля самым точным способом и обсервованные координаты места постановки корабля на якорь записываются в навигационный журнал. После прихода корабля на якорь-цепь производится повторная обсервация и определяются контрольные навигационные параметры, по которым вахтенная служба будет в дальнейшем контролировать отсутствие дрейфа корабля.

Если курс подхода к якорной точке не совпадает с направлением ветра и течения, то корабль выходит в упрежденную точку — в точку поворота, отделенную от якорной точки циркуляцией на ветер с учетом сноса течением.

При отсутствии на карте сетки изолиний для нанесения обсерваций выход в якорную точку осуществляется по искусственным или естественным створам. Контроль перемещения корабля по ведущему створу производится с помощью измерения секущих пеленгов (ориентир на траверзных курсовых углах) или расстояний (ориентир на острых курсовых углах).

При четком изображении береговой черты на экране радиолокатора выход корабля в якорную точку может осуществляться с помощью блока совмещения радиолокационного изображения с крупномасштабной картой. Расстояния до якорной точки в этом случае определяются по неподвижным калибровочным кругам дальности.

Если якорное место задано относительно стоящего на якорю другого корабля (например, относительно флагманского корабля), то для выхода корабля в якорную точку используется планшет или крупномасштабная карта с двумя сетками изолиний. Первая сетка — пеленги и расстояния относительно стоящего на якорю корабля — служит для определения места корабля относительно другого корабля, вторая сетка —

курсы и расстояния относительно привязанной к стоящему кораблю якорной точки — служит для определения курсов выхода в якорную точку и расстояний до нее. Контроль навигационной безопасности в этом случае производится обычными способами в зависимости от навигационных условий в районе якорной стоянки.

На больших кораблях при определении места отдачи якоря учитывается отстояние определяемой точки корабля от его клюзов (полуклюзов).

§ 29.6. КОРАБЛЕВОЖДЕНИЕ ПРИ ПЛАВАНИИ ПО ФАРВАТЕРАМ

Общие положения. В районах, изобилующих навигационными опасностями или расположенных вблизи минных заграждений, плавание кораблей осуществляется по фарватерам.

В военный период времени прибрежное плавание, а также выход (выход) из пунктов базирования совершаются в основном по контролируемым фарватерам (ФВК). Контроль фарватеров осуществляется постоянным наблюдением за ними и периодическим их тралением.

Элементами фарватера являются: длина, ширина, глубина, направление оси и средства навигационного оборудования, служащие для удержания корабля на оси фарватера.

Длина фарватера зависит от географических условий района и от характера навигационной и минной опасности. Ширина фарватера определяется условиями местности (в узкости) и назначением фарватера; она колеблется в пределах 2—20 кбт (прибрежные фарватеры) и 3—5 миль (морские фарватеры).

Навигационное оборудование фарватера должно обеспечивать гарантированную безопасность плавания на всей протяженности фарватера. Для удержания корабля на оси прибрежного фарватера используются створы, в том числе телевизионные и лазерные створы, ведущие кабели, береговые РЛС и радионавигационные системы высокой точности. Для обеспечения безопасности плавания по морским фарватерам используются радионавигационные системы.

Элементы фарватеров показываются на навигационных картах и приводятся в руководствах для плавания.

Предварительный расчет надежности кораблевождения по фарватеру. Надежность кораблевождения по фарватеру определяется вероятностью безопасного прохода корабля по фарватеру.

Для вероятностного анализа надежности кораблевождения по фарватеру, а также для обоснования плана коррекции счисления перед выходом корабля в море производится расчет ожидаемых и допустимых средних квадратических погрешностей места, ожидаемой вероятности безопасного плавания, допустимых интервалов между двумя последовательными наблюдениями.

Расчет ожидаемой средней квадратической погрешности места. При строгом анализе безопасности плавания по фарватеру рассчитываются эллиптические погрешности места, характеризующие ожидаемую точность по различным направлениям.

Элементы среднего квадратического эллипса погрешностей при определении места корабля по трем и более независимым навигационным параметрам определяются на основе выводов из теории эквивалентных линий положения. Расчет элементов эллипса погрешностей производится в следующей последовательности:

— по величинам средних квадратических погрешностей навигационных параметров m_{U_i} и по их градиентам g_i рассчитываются веса линий положения $p_i = g_i^2/m_{U_i}^2$;

— по весам линий положения и направлениям их градиентов τ_i вычисляются проекции весов линий положения на меридиан и параллель $p_{x_i} = p_i \cos 2\tau_i$; $p_{y_i} = p_i \sin 2\tau_i$;

— рассчитываются алгебраические суммы проекций весов на меридиан и параллель

$$\sum_{i=1}^n p_{x_i} \text{ и } \sum_{i=1}^n p_{y_i};$$

— вычисляется геометрическая сумма проекций весов линий положения

$$\sum_{i=1}^n \vec{p}_i = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n p_{x_i}\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n p_{y_i}\right)^2};$$

— определяются экстремальные веса — веса эквивалентных линий положения, направленных по главным осям эллипса погрешностей:

$$p_{\max} = \frac{1}{2} \left(\sum_{i=1}^n p_i + \sum_{i=1}^n \vec{p}_i \right); \quad p_{\min} = \frac{1}{2} \left(\sum_{i=1}^n p_i - \sum_{i=1}^n \vec{p}_i \right); \quad (29.6.1)$$

— рассчитываются средние квадратические погрешности эквивалентных линий положения — главные полуоси среднего квадратического эллипса погрешностей:

$$a_0 = \frac{1}{\sqrt{p_{\min}}}; \quad b_0 = \frac{1}{\sqrt{p_{\max}}}; \quad (29.6.2)$$

— вычисляется направление малой полуоси эллипса относительно меридиана в четвертом счете

$$T_b = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \frac{\sum_{i=1}^n p_{y_i}}{\sum_{i=1}^n p_{x_i}}. \quad (29.6.3)$$

Четверть угла $2T_b$ определяется по сочетанию знаков числителя и знаменателя отношения, стоящего под функцией тангенса.

По элементам среднего квадратического эллипса рассчитываются ожидаемые средние квадратические погрешности обсервованного места по перпендикуляру к оси фарватера — m^\perp (рис. 29.6.1) и по направлению оси — m^0

$$m^\perp = \sqrt{a_0^2 \cos^2 \psi + b_0^2 \sin^2 \psi}; \quad m^0 = \sqrt{a_0^2 \sin^2 \psi + b_0^2 \cos^2 \psi}, \quad (29.6.4)$$

где ψ — острый угол между большой полуосью эллипса и перпендикуляром к оси фарватера, численно равный разности направления оси фарватера K_Φ и направления малой полуоси эллипса T_b , т. е. $\psi = |K_\Phi - T_b|$.

Элементы среднего квадратического эллипса a , b , T_b , а также СКП места M и средние квадратические погрешности места вдоль и перпендикулярно оси фарватера — m^0 и m^\perp при определении места корабля

330, 36°; модули градиентов g (рассчитали по формулам или по данным карты с сеткой навигационных изолиний) — 1,0; 2,0; 2,0. Средние квадратические погрешности навигационных параметров — 2,0; 1,0 и 2,0 ед. параметра.

Вычислить элементы среднего квадратического эллипса и ливнейные СКП места по направлению и перпендикулярно к оси фарватера.

Решение:

- вводятся константы: 40 П0; 360 П7; 180 П8; 90 П9;
- поочередно вводятся и обрабатываются данные каждой линии положения: 260†1†2 В/О С/П; 330†2†1 В/О С/П; 36†2†2 В/О С/П;
- после отработки программы по данным последней линии положения нажимается клавиша С/П;

Ответ: на индикаторе $\rightarrow m^1 = 0,6089$; $\overleftarrow{xy} \rightarrow m^0 = 0,9156$; ИПА $Fy \rightarrow a_0 = 0,956$; ИПВ $Fy \rightarrow b_0 = 0,487$; ИПС $\rightarrow T_0 = 155,25^\circ$; ИП2 $\rightarrow \varphi \rightarrow 205,25^\circ$; ИП3 $\rightarrow M = 1,099$.

Если обсервация получена по двум линиям положения, то для определения величин m^1 и m^0 можно обойтись и без расчета элементов эллипса. В этом случае:

$$\left. \begin{aligned} m^1 &= \sqrt{m_{t_1}^2 \cos^2 \psi_1 + m_{t_2}^2 \cos^2 \psi_2}; \\ m^0 &= \sqrt{m_{t_1}^2 \sin^2 \psi_1 + m_{t_2}^2 \sin^2 \psi_2}, \end{aligned} \right\}$$

где m_{t_1} и m_{t_2} — векториальные СКП одной линии положения по направлению к другой; $m_{t_1} = m_{\text{пл}_1} / \sin \theta$; $m_{t_2} = m_{\text{пл}_2} / \sin \theta$; ψ_1 и ψ_2 — углы, образованные перпендикуляром к оси фарватера с векториальными погрешностями m_{t_1} и m_{t_2} соответственно.

В любой точке, отделенной от планируемой обсервованной точки интервалом счисления $t < 2$ ч, величины m^0 и m^1 квадратически складываются со средней квадратической погрешностью счисления $m_c = 0,7M_c(t) = 0,5K_c t$. Ожидаемые средние квадратические погрешности этих точек по перпендикулярно к оси и по оси фарватера будут равны:

$$\left. \begin{aligned} m_1^1 &= \sqrt{(m^1)^2 + 0,25K_c^2 t^2}; \\ m_1^0 &= \sqrt{(m^0)^2 + 0,25K_c^2 t^2}. \end{aligned} \right\} \quad (29.6.5)$$

Ожидаемая средняя квадратическая погрешность места $M_{\text{сч}}$, полученного по счислению через интервал $t < 2$ ч после обсервации со средней квадратической погрешностью M_0 , рассчитывается по формуле

$$M_{\text{сч}} = \sqrt{M_0^2 + 0,5K_c^2 t^2}. \quad (29.6.6)$$

Расчет допустимой средней квадратической погрешности места. Допустимая погрешность $\Delta_{\frac{1}{2}}$ по направлению, перпендикулярному оси фарватера, рассчитывается по двум критериям:

- невыхода корабля за пределы ширины $Ш_1$ фарватера, по которому в данный момент следует корабль;
- невыхода корабля за пределы ширины $Ш_2$ следующего колена фарватера, ось которого составляет с осью предыдущего колена угол α (рис. 29.6.2), в предположении, что имеется линейная погрешность места по оси фарватера — величина Δ° .

Допустимая погрешность места корабля $\Delta_{д1}^{\pm}$ по первому критерию определяется исходя из ширины фарватера $Ш_1$ и рассчитывается по формуле

$$\Delta_{д1}^{\pm} = 0,5Ш_1. \quad (29.6.7)$$

Для перехода к допустимой средней квадратической погрешности используется общее соотношение между погрешностью и ее вероятностным

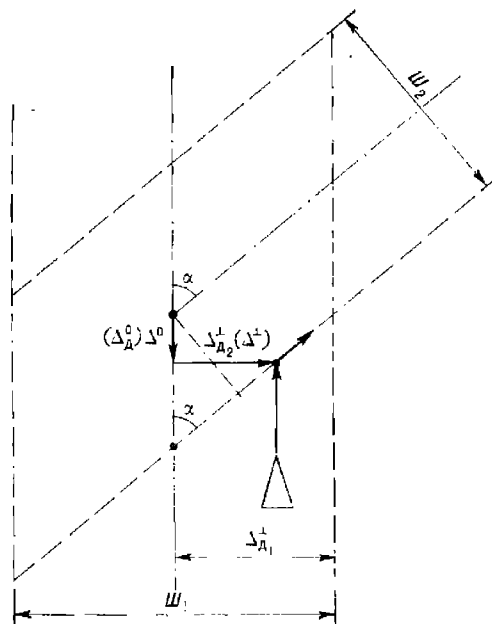


Рис. 29.6.2

значением: $\Delta = z\sigma$, где z — коэффициент нормального закона распределения, определяемый по заданной вероятности безопасного плавания с помощью табл. 1-6 МТ-75. На основании этого соотношения

$$m_{д1}^{\pm} = \Delta_{д1}^{\pm}/z = 0,5Ш_1/z. \quad (29.6.8)$$

Допустимая погрешность места корабля $\Delta_{д2}^{\pm}$ по второму критерию определяется из геометрических соображений, вытекающих из рассмотрения рис. 29.6.2:

$$\Delta_{д2}^{\pm} = 0,5Ш_2/\cos \alpha - \Delta^{\circ} \operatorname{tg} \alpha. \quad (29.6.9)$$

Отсюда

$$m_{д2}^{\pm} = 0,5Ш_2/z \cos \alpha - m^{\circ} \operatorname{tg} \alpha, \quad (29.6.10)$$

где m° — среднее квадратическое значение линейной погрешности места по направлению оси фарватера.

Из двух погрешностей $m_{д1}^{\pm}$ и $m_{д2}^{\pm}$ перед поворотом на очередное колено фарватера за допустимую принимается меньшая из них.

При $m^0 > 0,5W_2/z \sin \alpha$ результат расчета по формуле (29.6.10) будет отрицательным. Это означает, что при такой погрешности m^0 обеспечить навигационную безопасность плавания с заданной вероятностью $P = \Phi(z)$ невозможно. В этом случае следует или повысить точность места по направлению оси фарватера (уменьшить величину m^0 путем измерения хотя бы одного навигационного параметра, линия положения которого перпендикулярна оси фарватера), или произвести предповоротную обсервацию.

При $m^0 = 0,5W_2/z \sin \alpha$ допустимая СКП $m_{\Delta}^{\perp} = 0$. Это значит, что при такой погрешности m^0 корабль перед поворотом на очередное колено должен находиться строго на оси фарватера (предыдущего колена).

Допустимая погрешность Δ_{Δ}^0 по направлению оси фарватера рассчитывается по критерию невыхода корабля (после его поворота на очередное колено) за пределы ширины W_2 , в предположении, что имеется линейная погрешность места Δ^{\perp} по перпендикуляру к оси фарватера на его предповоротном участке.

Из геометрических построений, указанных на рис. 29.6.2, следует

$$\Delta_{\Delta}^0 = 0,5W_2 / \sin \alpha - \Delta^{\perp} \operatorname{ctg} \alpha. \quad (29.6.11)$$

Отсюда

$$m_{\Delta}^0 = 0,5W_2 / z \sin \alpha - m^{\perp} \operatorname{ctg} \alpha, \quad (29.6.12)$$

где m^{\perp} — среднее квадратическое значение линейной погрешности места по перпендикуляру к оси фарватера.

Если $m^{\perp} = 0$, т. е. корабль следует строго по оси фарватера, то

$$m_{\Delta}^0 = 0,5W_2 / z \sin \alpha. \quad (29.6.13)$$

Если $\alpha = 0$, т. е. корабль следует по прямолинейному одноколенчатому фарватеру, то

$$m_{\Delta}^{\perp} = 0,5W/z; \quad m_{\Delta}^0 = \infty. \quad (29.6.14)$$

Допустимая СКП места в точке поворота с одного колена фарватера на другое рассчитывается по формуле

$$M_{\Delta} = \sqrt{[(\Delta_{\Delta}^{\perp})^2 + (\Delta_{\Delta}^0)^2] / [-\ln(1-P)]} = \frac{r}{R}, \quad (29.6.15)$$

где Δ_{Δ}^{\perp} — меньшая из двух погрешностей, вычисленных по формулам (29.6.7) и (29.6.9).

Пример. Ширина первого колена фарватера $W_1 = 4$ мили, второго колена фарватера $W_2 = 2$ мили. Линейные СКП места перед поворотом с одного колена на другое $m^0 = 0,2$ мили и $m^{\perp} = 0,5$ мили. Угол поворота с одного колена фарватера на другое $\alpha = 60^{\circ}$.

Рассчитать допустимые линейные СКП места m_{Δ}^0 и m_{Δ}^{\perp} , обеспечивающие нахождение корабля в пределах ширины фарватера с вероятностью $P = 0,997$, а также допустимую СКП места M_{Δ} в точке поворота.

Решение:

— из табл. 1-6 МТ-75 по $P = 0,997$ определяется $z = 3,0$;

— по формулам (29.6.8) и (29.6.10) рассчитываются допустимые СКП места по перпендикуляру к оси фарватера:

$$m_{\Delta_1}^{\perp} = 0,5 \cdot 4 / 3 = 0,667 \text{ мили};$$

$$m_{\Delta_2}^{\perp} = 0,5 \cdot 2 / 3 \cos 60^{\circ} = 0,2 \operatorname{tg} 60^{\circ} = 0,32 \text{ мили}.$$

Следовательно, $m_{\Delta}^{\perp} = 0,32$ мили (меньшая из двух рассчитанных);

— по формуле (29.6.12) рассчитывается $m_{\Delta}^{\circ} = 0,5 \cdot 2/3 \sin 60^{\circ} - 0,5 \operatorname{ctg} 60^{\circ} = 0,096 \approx \approx 0,1$ мили;

— по формуле (29.6.15) вычисляется допустимая СКП места M_{Δ} в точке поворота. Для этого используется табл. 1-в МТ—75: по $P = 0,997$ из таблицы выбирается величина $R = 2,4$, тогда, учитывая, что $\Delta_{\Delta} = z m_{\Delta}$,

$$M_{\Delta} = r/R = \sqrt{[(\Delta_{\Delta}^{\perp})^2 + (\Delta_{\Delta}^{\circ})^2]}/2,4 = 1/2,4 = 0,42 \text{ мили } (\Delta_{\Delta} = z m_{\Delta}).$$

Расчет ожидаемой вероятности безопасного плавания. О надежности обеспечения безопасности плавания при использовании выбранных навигационных средств и методов можно составить суждение, сопоставляя допустимые и ожидаемые средние квадратические погрешности места. Если $m^{\perp} \leq m_{\Delta}^{\perp}$ и $m^{\circ} \leq m_{\Delta}^{\circ}$, то безопасность плавания по фарватеру обеспечивается с вероятностью, не меньшей той, которая была принята для расчетов. При невыполнении хотя бы одного из указанных неравенств безопасность плавания с заданной вероятностью не обеспечивается. В этом случае рассчитывается ожидаемая вероятность навигационной безопасности плавания. Для этого сначала вычисляются величины z_1 и z_2 :

$$z_1 = \Delta_{\Delta}^{\perp}/m^{\perp}; \quad z_2 = \Delta_{\Delta}^{\circ}/m^{\circ}. \quad (29.6.16)$$

Затем по z_1 и z_2 с помощью табл. 1-б МТ—75 определяются вероятности P_1 и P_2 . Так как для безопасности плавания должны одновременно соблюдаться неравенства $\Delta^{\perp} \leq \Delta_{\Delta}^{\perp}$ и $\Delta^{\circ} \leq \Delta_{\Delta}^{\circ}$, то, считая погрешности взаимонезависимыми, ожидаемая вероятность безопасного плавания будет равна

$$P = P_1 P_2. \quad (29.6.17)$$

Если используется СКП места, то сравниваются величины M и M_{Δ} . При $M \leq M_{\Delta}$ заданная вероятность безопасности плавания обеспечивается, в противном случае рассчитывается ожидаемая вероятность

$$P = 1 - \exp \left\{ - \frac{(\Delta_{\Delta}^{\perp})^2 + (\Delta_{\Delta}^{\circ})^2}{M^2} \right\}. \quad (29.6.18)$$

Формула решается с помощью табл. 1-в МТ—75, в которую входят с аргументами

$$R = r/M = \sqrt{(\Delta_{\Delta}^{\perp})^2 + (\Delta_{\Delta}^{\circ})^2}/M \text{ и } e = 1.$$

Поскольку погрешности места M не учитывают различие линейных погрешностей места по разным направлениям, то расчет вероятности безопасного плавания по фарватеру, основанный на использовании СКП места M , носит приближенный характер.

Пример. Ширина первого колена фарватера $Ш_1 = 3,0$ мили, второго — $Ш_2 = 4,0$ мили. Угол поворота с первого колена на второе $\alpha = 38^{\circ}$. Планируется обсервация с погрешностями $m^{\perp} = 0,5$ мили, $m^{\circ} = 0,8$ мили. Определить вероятность безопасного плавания P .

Решение:

— по формулам (29.6.7), (29.6.9) и (29.6.11) рассчитываются допустимые линейные погрешности Δ_{Δ}^{\perp} и Δ_{Δ}° . Так как фактические погрешности места Δ^{\perp} и Δ° неизвестны,

то вместо них используются предельные погрешности $\widehat{m}^{\perp} \approx \Delta^{\perp} = 3m^{\perp} = 1,5$ и $\widehat{m}^{\circ} = \Delta^{\circ} = 3m^{\circ} = 2,4^{\circ}$;

$$\Delta_{\Delta}^{\perp} = 0,5 \cdot 3,0 = 1,5 \text{ мили};$$

$$\Delta_{\text{д}}^{\perp} = 0,5 \cdot 4,0 / \cos 38^{\circ} - 2,4 \operatorname{tg} 38^{\circ} = 0,66 \text{ мили};$$

$$\Delta_{\text{д}}^{\circ} = 0,5 \cdot 4,0 / \sin 38^{\circ} - 1,5 \operatorname{ctg} 38^{\circ} = 1,33 \text{ мили}.$$

Из двух $\Delta_{\text{д}}^{\perp}$ в дальнейший расчет принимается меньшая $\Delta_{\text{д}}^{\perp} = 0,66$ мили;

— рассчитывается ожидаемая вероятность безопасного плавания по линейным СКП:

$$z_1 = 0,66/0,5 = 1,32. \text{ По табл. 1-6 МТ-75 определяется } P_1 = 0,813;$$

$$z_2 = 1,33/0,8 = 1,66. \text{ По табл. 1-6 МТ-75 определяется } P_2 = 0,903.$$

По формуле (29.6.17) рассчитывается искомая вероятность $P = P_1 P_2 = 0,813 \cdot 0,903 = 0,734$;

— рассчитывается ожидаемая вероятность безопасного плавания по СКП места:

$$r = \sqrt{0,66^2 + 1,33^2} = 1,48; M = \sqrt{(m^{\perp})^2 + (m^{\circ})^2} = \sqrt{0,5^2 + 0,8^2} = 0,94; R = 1,48/0,94 = 1,57. \text{ Из табл. 1-в МТ-75 по } R = 1,57 \text{ определяется } P = 0,91.$$

Расчет допустимых интервалов времени между наблюдениями.

При использовании эллиптических погрешностей допустимый интервал между наблюдениями определяется из условия равенства ожидаемой и допустимой линейных погрешностей, т. е. из условия $m_{\text{д}}^2 = m_{\text{исх}}^2 + m_{\text{с}}^2$, где $m_{\text{исх}}$ — линейная средняя квадратическая погрешность исходной точки счисления (в милях). Подставляя в последнее равенство значение $m_{\text{с}} = 0,5 K_{\text{с}} t$ и решая его относительно временного интервала t (в часах), получим

$$t_{1,2} = \frac{2,0}{K_{\text{с}}} \sqrt{m_{\text{д}}^2 - m_{\text{исх}}^2}. \quad (29.6.19)$$

По этой формуле рассчитываются интервалы t_1 (по $m_{\text{д}}^{\perp}$ и $m_{\text{исх}}^{\perp}$) и t_2 (по $m_{\text{д}}^{\circ}$ и $m_{\text{исх}}^{\circ}$). За допустимый интервал принимается меньшее из значений t_1 и t_2 .

Аналогичным образом определяется допустимый интервал при использовании СКП мест: задаваясь условием $M = M_{\text{с}}$, можно написать $M_{\text{д}}^2 = M_{\text{исх}}^2 + M_{\text{с}}(t)^2$. Подставляя сюда среднюю квадратическую погрешность счисления для $t < 2$ ч, т. е. принимая $M_{\text{с}}(t) = 0,7 K_{\text{с}} \sqrt{t}$ и решая полученное равенство относительно t (в часах), найдем

$$t = \frac{1,4}{K_{\text{с}}} \sqrt{M_{\text{д}}^2 - M_{\text{исх}}^2}. \quad (29.6.20)$$

Плавание по фарватеру. Выход корабля в точку начала фарватера производится курсом, близким к направлению оси первого колена фарватера. Перед подходом к фарватеру производится обсервация, СКП которой не должна превышать величины

$$M = 0,7 \sqrt{(Ш_{\text{л}}/z)^2/2 - (K_{\text{с}} t)^2}, \quad (29.6.21)$$

где t — время плавания от обсервации до фарватера, ч.

Фарватер — это узкость. Поэтому кораблевождение по нему осуществляется способами, применяемыми при плавании в узкостях (§ 29.4). Производится непрерывный контроль нахождения корабля в пределах ширины ФВК. Для этого выполняются обсервации и измеряются навигационные параметры, линии положения которых составляют острые углы с осью ФВК.

При подходе к точке поворота на новое колено ФВК контролируется положение корабля относительно точки начала поворота. Для этого

в интервалах между наблюдениями измеряются навигационные параметры, линии положения которых составляют с осью ФВК углы, близкие к прямым.

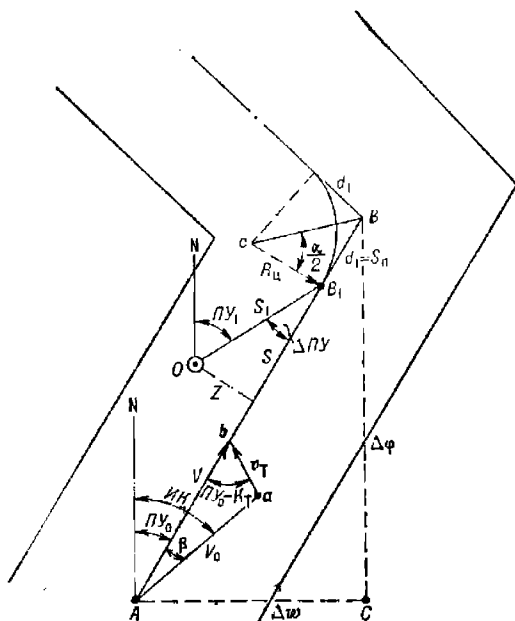


Рис. 29.6.3

При наличии на корабле специализированной навигационной вычислительной техники в процессе плавания по фарватеру автоматически решаются следующие задачи:

— по текущим координатам точки A (рис. 29.6.3), автоматически выработаемым в результате решения задачи счисления, и по введенным в машину координатам конечной точки B данного колена фарватера, на основе решения треугольника ABC вырабатывается путь корабля для следования по оси фарватера

$$ПУ_0 = \text{arctg} \frac{\Delta\psi}{\Delta\varphi},$$

где $\Delta\psi$ — отстояние, соответствующее точкам A и B ;

$\Delta\varphi$ — разность широт этих точек;

— при наличии течения, действующего по направлению K_T со скоростью v_T , определяется угол сноса. Его значение получается в результате решения треугольника Aab по теореме синусов

$$\beta = \arcsin \frac{v_T \sin(K_T - ПУ_0)}{V_0};$$

— рассчитывается компасный курс для следования по оси фарватера

$$KK = ПУ_0 - \beta - \Delta K;$$

— определяется расстояние до очередной точки поворота

$$S = \sqrt{\Delta\varphi^2 + \Delta\omega^2} - d_1,$$

где d_1 — отстояние точки поворота B_1 от точки B ; определяется по радиусу циркуляции R_α и углу поворота α решением треугольника $сB_1B$

$$d_1 = R_\alpha \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2};$$

— по $S_\pi = d_1$ определяется момент начала поворота;

— по автоматически рассчитываемым координатам обсервованного места определяется смещение корабля с оси фарватера

$$z = S_1 \sin(\Pi U_0 - \Pi U_1),$$

где S_1 — расстояние от обсервованного места O до точки B_1 ;

ΠU_1 — путь выхода из обсервованной точки в точку начала поворота.

Значение $Z' > \text{Ш}/2$ свидетельствует о выходе корабля на кромку фарватера.

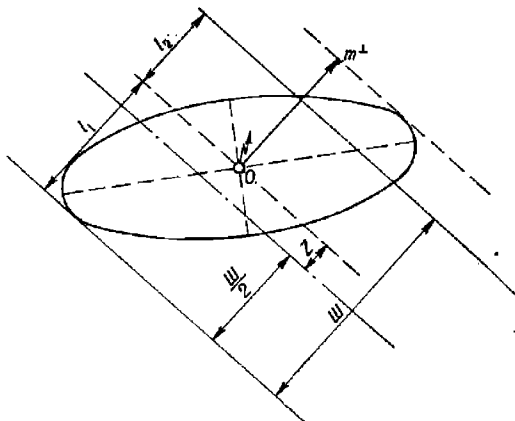


Рис. 29.6.4

Если требуется определить вероятность нахождения корабля в пределах полосы фарватера в случае, когда обсервованное место O (рис. 29.6.4) не совпало с осью фарватера, то производятся следующие расчеты:

— вычисляются величины:

$$z' = \frac{l_1}{m^\perp} \text{ и } z'' = \frac{l_2}{m^\perp},$$

где l_1 — отстояние обсервации от левой кромки фарватера; $l_1 = 0,5\text{Ш} + Z$;

l_2 — отстояние обсервации от правой кромки фарватера; $l_2 = 0,5\text{Ш} - Z$.

При оценке точности обсервации эллиптической погрешностью значение m^\perp вычисляется по формуле (29.6.4), при оценке точности обсервации круговой погрешностью $m^\perp = 0,7M_0$;

— по z' и z'' из табл. 1-6 МТ—75 выбираются вероятности P' и P'' .
Так как табл. 1-6 рассчитана по двойному интегралу вероятностей с пределами от 0 до z , то искомая вероятность равна полусумме значений P' и P'' , т. е.

$$P = \frac{1}{2} (P' + P'').$$

§ 29.7. КОРАБЛЕВОЖДЕНИЕ ПО РЕКОМЕНДОВАННЫМ ПУТЯМ И В РАЙОНАХ РАЗДЕЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ

В районах с высокой интенсивностью движения судов и кораблей с целью обеспечения навигационной безопасности плавания устанавливаются рекомендованные пути и системы разделения движения кораблей.

Рекомендованные пути, как правило, обеспечивают наиболее благоприятный с гидрометеорологической точки зрения и безопасный с навигационной точки зрения проход кораблей через районы со сложными условиями плавания. Рекомендованные пути могут быть предназначены для одностороннего и двустороннего движения. В районах, в которых имеются глубины, ограничивающие плавание кораблей и судов с большой осадкой, рекомендованные пути их движения выделяются отдельно. На картах рекомендованные пути обозначаются линиями со стрелками, указывающими направление движения.

Двусторонние рекомендованные пути обозначены линией с двумя стрелками.

Системы разделения движения предназначены для разделения встречных потоков судов и кораблей и устанавливаются в районах с интенсивным судоходством — при подходе к портам, в каналах, проливах, в районах с навигационными опасностями и др.

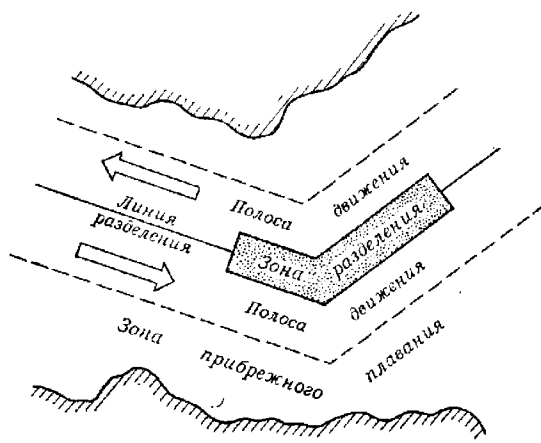


Рис. 29.7.1

Различают следующие системы разделения движения:

1) Разделение движения зонами или линиями. Это наиболее простой и эффективный метод разделения движения. В районах, где плавание не стеснено навигационными препятствиями, устанавливается зона разделения (рис. 29.7.1) — запретная для плавания полоса, отделяющая

друг от друга районы движения в противоположных направлениях. Ширина зоны разделения устанавливается с учетом размеров акватории и величины возможной погрешности в месте корабля. В узких проходах и других стесненных для плавания районах вместо зоны устанавливается линия разделения.

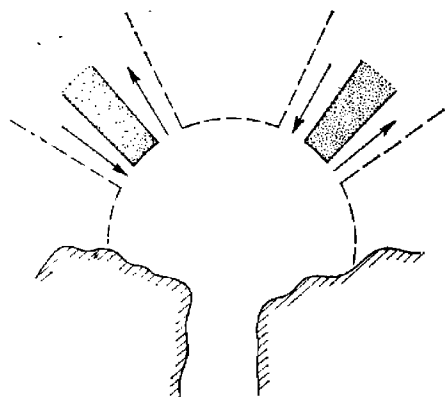


Рис. 29.7.2

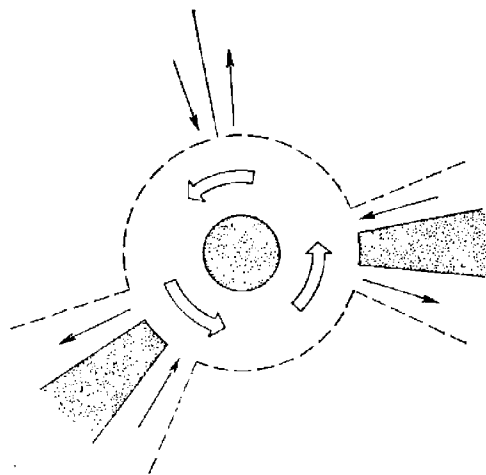


Рис. 29.7.3

В полосе движения корабли следуют справа от зоны или линии разделения, не выходя за границы полосы. Иногда зоны, линии разделения и полосы движения обозначаются на местности буйами с радиолокационными отражателями, баканами или вехами.

Корабли, совершающие прибрежное плавание, не должны пересекать границу полосы движения.

2) Разделение движения естественными препятствиями — островами, мельями, затонувшими судами.

3) Секторное разделение движения (рис. 29.7.2) предусматривает разделение направлений подхода к одному пункту. Используется на подходах к портам, каналам, фарватерам и устьям рек.

4) Разделение методом кругового движения вокруг точки или круга (рис. 29.7.3) с целью разделения потоков в узловых точках, где сходятся несколько рекомендованных путей. При переходе с одного рекомендованного пути на другой корабли следуют вокруг круговой зоны против часовой стрелки.

В полосе одностороннего движения корабли придерживаются курса, соответствующего направлению полосы. Пересечение полосы движения не рекомендуется. При невозможности обойти полосу движения она пересекается курсом, перпендикулярным ее направлению.

§ 29.8. КОРАБЛЕВОЖДЕНИЕ В ОГРАНИЧЕННУЮ ВИДИМОСТЬ

Дальность видимости в море определяется прозрачностью атмосферы и зависит от метеорологических условий. Факторами, понижающими дальность видимости, являются: туман, дымка, паренне моря и осадки (дождь, снегопад, морось). Наиболее существенное влияние на видимость оказывает туман, когда видимость из-за него уменьшается до нескольких метров. Дальность видимости в баллах и в единицах расстояния характеризуется по шкале, представленной в табл. 51 МТ—75.

Ограниченной (малой) видимостью в кораблевождении считают видимость от 0 до 5 баллов, что соответствует расстоянию, не превышающему двух миль. В ограниченную видимость затрудняется или совсем исключается возможность визуального наблюдения окружающей обстановки. Следовательно, резко ограничивается применение наиболее простых и надежных зрительных способов ориентирования и определения места. В ограниченную видимость увеличивается вероятность столкновения корабля с другими плавающими объектами и повышается опасность посадки корабля на мель. Эти факторы обуславливают необходимость повышения ответственности за строгое и полное соблюдение мер предосторожности всеми лицами, участвующими в осуществлении кораблевождения и в первую очередь командиром и штурманом корабля.

Перед входом корабля в зону ограниченной (малой) видимости предпринимаются следующие меры предосторожности:

- включаются технические средства наблюдения — радиолокаторы, гидролокаторы и эхолоты;
- усиливается зрительное наблюдение;
- определяется наиболее точным способом место корабля, а при возможности и поправка основного курсоуказателя;
- производится сличение показаний основного и резервных курсоуказателей;
- сличаются направления, измеренные на один и тот же ориентир с помощью пеленгатора компаса и с помощью радиолокатора;
- оператору РЛС указываются на экране радиолокатора наиболее опасные цели, приметные ориентиры и значения контрольных или ограждающих пеленгов или расстояний до них, о которых оператор РЛС должен докладывать штурману;
- повышается готовность к действию запасных постов управления рулем;
- уменьшается, сообразуясь с обстановкой, скорость хода корабля до безопасной. В соответствии с правилом 6 МППСС—72 безопасная скорость соответствует возможности предприятия надлежащего и эффективного действия для предупреждения столкновения и возможности остановки корабля в пределах расстояния, требуемого при существующих обстоятельствах и условиях;

— предупреждается электромеханическая служба о возможности резких изменений скорости хода.

В ограниченную (малую) видимость применяются методы кораблевождения, основанные на использовании радиолокационных и гидроакустических станций, радионавигационных систем, круговых радиомаяков, эхолотов, ведущих кабелей и звукосигнальных устройств.

С целью исключения промахов и устранения влияния повторяющихся погрешностей технические средства навигации используются комплексно, измерения навигационных параметров одной системой контролируются измерениями с помощью другой системы. Различие между результатами этих измерений считается случайным, несущественным, если оно не превышает предельной суммарной случайной погрешности, т. е. если

$$|U_1 - U_2| \leq 3 \sqrt{m_1^2 + m_2^2}.$$

Одним из важнейших условий безопасного плавания в ограниченную (малую) видимость является непрерывное наблюдение за внешней обстановкой с помощью технических средств.

Основным средством обеспечения безопасности плавания в малую видимость является радиолокационная станция. С ее помощью отображается надводная обстановка, определяется место корабля по радиолокационным ориентирам и осуществляется расхождение со встречными целями. В открытом море наблюдение ведется преимущественно на шкалах средней дальности (10—15 миль) с периодическим просмотром обстановки на шкалах крупного и мелкого масштабов. При наличии на корабле двух РЛС одна ведет наблюдение на шкалах дальнего обзора с целью заблаговременного обнаружения объектов, а другая — на шкале ближнего обзора с целью обнаружения малых надводных объектов и слежения за ними.

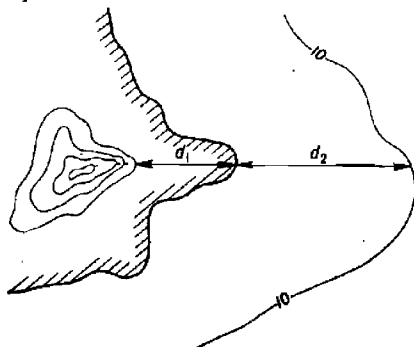


Рис. 29.8.1

Организация использования радиолокационных станций при любой ситуации должна предусматривать выдачу информации как для определения места корабля по радиолокационным ориентирам, так и для расчета маневра расхождения с встречными целями.

Безопасный проход корабля относительно наблюдаемого на экране РЛС неподвижного навигационного препятствия осуществляется с учетом сноса корабля, погрешности системы курсоуказания и глубины.

Безопасный проход относительно берега гарантируется на расстоянии, удовлетворяющем неравенству

$$D \geq d_1 + d_2,$$

где d_1 — расстояние от ближайшего к кораблю отражающего радиопульсы участка берега до береговой линии (рис. 29.8.1);
 d_2 — расстояние от береговой линии до опасной для корабля (ограждающей) изобаты.

Расхождение с встречными плавающими объектами в открытом море производится на расстоянии, не меньшем двух миль. В узкости минимальная дистанция расхождения определяется конкретными условиями плавания. Но в любом случае она должна быть больше пути, проходимого кораблем при гашении инерции переднего хода.

Любой маневр корабля в ограниченную видимость должен производиться на основе анализа всей имеющейся информации. Он должен быть безопасным во всех отношениях — и с точки зрения посадки корабля на мель, и с точки зрения столкновения его с другими объектами.

§ 29.9. ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАВИГАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПЛАВАНИЯ ПОДВОДНЫХ ЛОДОК В РАЙОНАХ С НЕДОСТАТОЧНО ИЗУЧЕННЫМ ИЛИ ИЗМЕНЯЮЩИМСЯ РЕЛЬЕФОМ МОРСКОГО ДНА

Применительно к навигации надводных кораблей и судов угрозу для мореплавания представляют опасности, лежащие в пределах навигационного слоя (0—20 м); как правило, количество навигационных опасностей при удалении от береговой линии уменьшается. При подводном плавании опасностями становятся все элементы морского дна, сопредельные по уровням с горизонтом плавания (глубиной погружения) подводной лодки. С увеличением глубины погружения количество навигационных опасностей возрастает. Если мелководные для надводной навигации районы Мирового океана составляют от его площади 1,5 %, то для горизонта плавания 0—200 м эта величина достигает 7,8 %. При увеличении глубины погружения подводных лодок до 1000 м площадь опасных для подводного плавания районов составит 12 % от площади Мирового океана.

Таблица 29.9.1

Точность положения элементов рельефа дна, показанных на навигационных морских картах

Расстояние до береговой линии, мили	Средние квадратические погрешности определения положения элементов рельефа дна, кбт		
	по береговым ориентирам	с помощью РНС	по астрономическим наблюдениям
До 5	0,03—0,16	—	—
5—10	0,27—0,43	0,11— 0,27	—
До 100	—	0,27— 0,54	—
До 300	—	2,70— 3,25	—
Более 300	—	8,11—10,30	19,0—21,0

Если в прибрежной зоне элементы рельефа дна определены на местности и показаны на картах с относительно высокой точностью (табл. 29.9.1), то по мере удаления в открытую часть моря (океана) точность положения банок, рифов, скал, отличительных глубин и подводных вершин значительно уменьшается. Средние квадратические погрешности в положении изобат могут достигать 5 миль и более.

Неучет перечисленных навигационных условий подводного плавания повышает потенциальные возможности столкновения подводной лодки с грунтом, поскольку даже при высокой точности знания координат

места подводной лодки ее положение относительно навигационных опасностей отягощено погрешностями нанесения последних на карту.

Навигационные расчеты при подводном плавании должны предусматривать правильный выбор маршрута и предельно допустимого в навигационном отношении горизонта плавания. Маршрут и горизонт плавания должны быть безопасны с высокой степенью надежности.

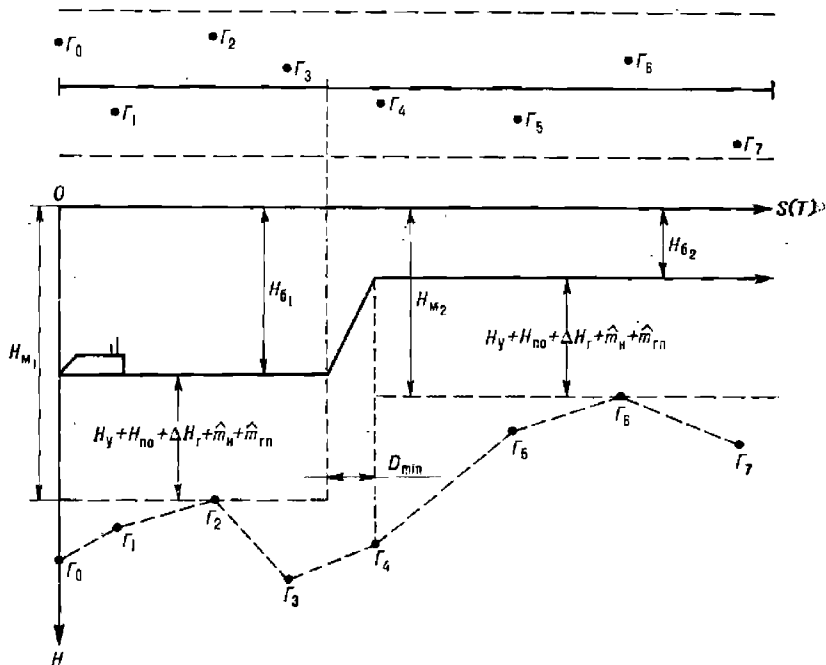


Рис. 29.9.1

Для обеспечения безопасного подводного плавания с заданной надежностью (заданной вероятностью) и безопасного прохода линии пути на картах рекомендуется прокладывать ширину полосы вероятного движения подводной лодки, которая выбирается не менее

$$B_{пл} = 1,41RM_{пл}, \quad (29.9.1)$$

где $M_{пл}$ — средняя квадратическая погрешность плавания, определенная по статистике невязок счисления предыдущих походов в данный район;

R — коэффициент перевода средней квадратической погрешности в предельную с заданной вероятностью.

Погрешность плавания $M_{пл}$ рассчитывается по формуле

$$M_{пл} = \sqrt{M_0^2 + K_c^2 t}, \quad (29.9.2)$$

где M_0 — среднее значение средней квадратической погрешности обсерваций;

K_c — коэффициент точности счисления;

t — средний промежуток времени плавания по счислению между обсервациями.

При ограниченном объеме статистических данных приближенное значение $M_{пл}$ может быть рассчитано как среднее значение из всех невязок обсерваций.

Коэффициент R выбирают по заданной надежности (вероятности) безопасного плавания P из табл. 1-в МТ—75.

Полоса вероятного движения подводной лодки по возможности должна располагаться в наиболее изученных районах, в стороне от навигационных опасностей. Расстояния до опасностей от линии пути D_{\min} должны быть не менее

$$D_{\min} = D' + R \sqrt{0,5(M_{пл}^2 + M_{но}^2)}, \quad (29.9.3)$$

где D' — максимальная для заданной вероятности дистанция обнаружения опасности техническими средствами наблюдения;

$M_{но}$ — средняя квадратическая погрешность в положении навигационной опасности.

Величина $M_{но}$ может быть выбрана из табл. 29.9.1, исходя из времени издания карты и степени доверия к ней. Степень изученности рельефа дна района можно определить непосредственно по карте: если отметки глубин нанесены равномерно, а изобаты имеют сложные очертания, то следует полагать, что рельеф дна изображен с достаточной степенью достоверности; если на карте имеются белые пятна, глубины нанесены редко, имеется корректура по вновь обнаруженным отличительным глубинам, а изобаты либо отсутствуют, либо изображены прерывистыми линиями, — должен быть усилен контроль за глубиной под килем.

При отсутствии на район плавания путевых карт прокладка производится на картах-сетках, на которые надлежит нанести с генеральных карт навигационные опасности, прилегающие к полосе движения, и все отметки глубин в пределах полосы. При этом необходимо учитывать погрешности графики и генерализации карт как дополнительные погрешности в положении опасностей.

При расчете предельно допустимого горизонта плавания исходят из предельной по техническим возможностям глубины погружения подводной лодки. Последовательно, по направлению движения подводной лодки, в пределах полосы выбирают все отметки глубин, меньшие по величине предельной глубины погружения. Отметки глубин наносят на график (рис. 29.9.1), направление оси ординат которого перпендикулярно, а направление оси абсцисс совпадает с линией пути. Масштаб по оси ординат произвольный — максимальная ордината соответствует предельной глубине погружения подводной лодки по техническим возможностям. Масштаб по оси абсцисс совпадает с масштабом карты, т. е. соответствует расстояниям, проходимым по линии пути. Точки отметок глубин соединяют ломаной пунктирной линией. Точки с минимальными ординатами: точка Γ_2 и точка Γ_6 (рис. 29.9.1) определяют линии отсчета для расчета предельно допустимого горизонта плавания.

Глубина предельно допустимого горизонта безопасного плавания H_6 рассчитывается по формуле

$$H_6 = H_m - (H_y + H_{но} + \Delta H_r + \hat{m}_н + \hat{m}_{тп}),$$

где H_m — минимальная глубина (линия отсчета), снятая с графика;

H_y — минимально допустимая или заданная глубина под килем, обеспечивающая управляемость подводной лодки (выбирается из инструкции по управлению пл или задается специально);

$H_{\text{по}}$ — максимальное изменение уровня моря (океана) в районе;
 ΔH_r — поправка на отстояние измерительного устройства глубиномера от киля подводной лодки;

\hat{m}_n — предельная, с заданной вероятностью, погрешность глубин, нанесенных на карту;

$\hat{m}_{\text{гв}}$ — предельная, с заданной вероятностью, погрешность удержания подводной лодкой глубины погружения.

Переход от одного предельно допустимого горизонта плавания к другому производится на расстояниях до опасной отличительной глубины не менее чем D_{min} (формула 29.9.3).

§ 29.10. РЕКОМЕНДАЦИИ КОМАНДИРУ КОРАБЛЯ ПО УКЛОНЕНИЮ ОТ ВСТРЕЧИ СО ШТОРМОВОЙ ЗОНОЙ УРАГАНОВ И ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ

Длительное действие ветра штормовой силы вызывает волнение поверхности моря и океана с такими характеристиками, когда волнение в штормовой зоне становится небезопасным для любого корабля, в том числе и большого. В связи с этим каждый командир корабля должен постоянно заботиться о том, чтобы избежать встречи с такой штормовой зоной путем своевременного изменения своего курса или скорости (или того и другого одновременно). Не случайно во все времена опытными капитанами считали не тех, кому удавалось благополучно вывести корабль из штормовой зоны, а тех, кто умеет избегать встречи с такой зоной. Известны многочисленные случаи, когда в штормовой зоне ураганов и тропических циклонов получали серьезные повреждения и даже гибли суда большого водоизмещения и корабли до крейсеров включительно. Особенно опасна встреча кораблей с тропическими циклонами, разрушительная сила которых известна всем мореплавателям.

Для своевременного и грамотного маневра уклонения от встречи со штормовой зоной тропического циклона необходимо заблаговременно получить информацию о координатах центра циклона, скорости и направлении его перемещения. При этом следует всегда помнить, что информация о месте тропического циклона, направлении и скорости его перемещения содержит некоторые погрешности. Из практики установлено, что при расчетах маневра уклонения корабля от встречи со штормовой зоной тропического циклона принимают погрешность в месте центра циклона до 20—25 миль. Надежный прогноз направления перемещения тропического циклона дается на срок, не превышающий 8—10 ч, так как направление движения циклона может отличаться от прогнозируемого на 30° за 10 ч и до 90—100° за сутки. Со временем меняется и скорость перемещения тропических циклонов, поэтому при прогнозировании положения тропического циклона на срок, превышающий 12 ч, можно допустить значительную погрешность, превышающую допустимую для расчета маневра уклонения от встречи с его штормовой зоной. Наиболее точное прогнозирование положения центра тропического циклона и элементов его перемещения достигается путем анализа его фактического перемещения по данным метеорологических консультаций и факсимильных карт, содержащих сведения о месте циклона за несколько сроков наблюдений. По трем-четырем донесениям о положении центра тропического циклона можно проследить направление и скорость его перемещения и по этим данным прогнозировать его положение на 10—12 ч вперед.

Если информация о положении тропического циклона получена на корабле своевременно, то, как правило, имеется возможность осуществить маневр для уклонения от встречи с его штормовой зоной. В том же случае, когда сведения о положении циклона получены на корабле с недостаточной заблаговременностью, а скорость перемещения циклона превышает скорость корабля, то не всегда удастся уклониться от встречи со штормовой зоной такого циклона полностью и следует лишь уклониться от наиболее опасного сектора. Расположение наиболее опасного сектора тропического циклона показано на рис. 29.10.1: а) для Северного полушария, б) для Южного полушария.

а Северное полушарие

б Южное полушарие

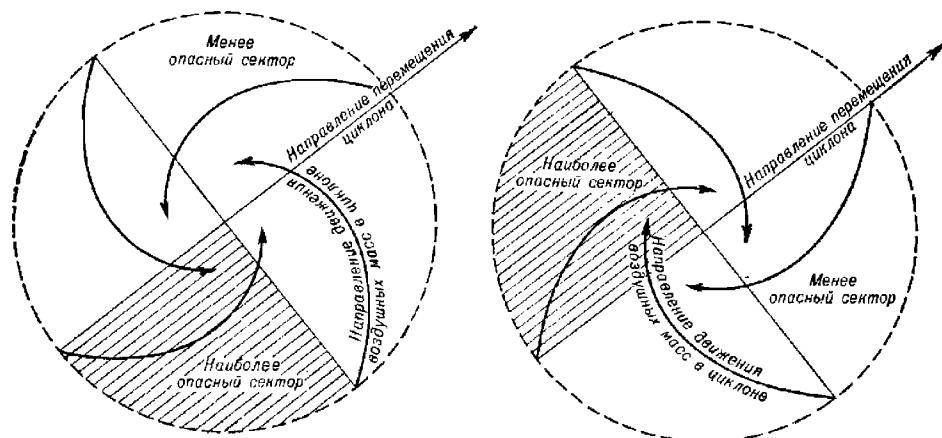


Рис. 29.10.1

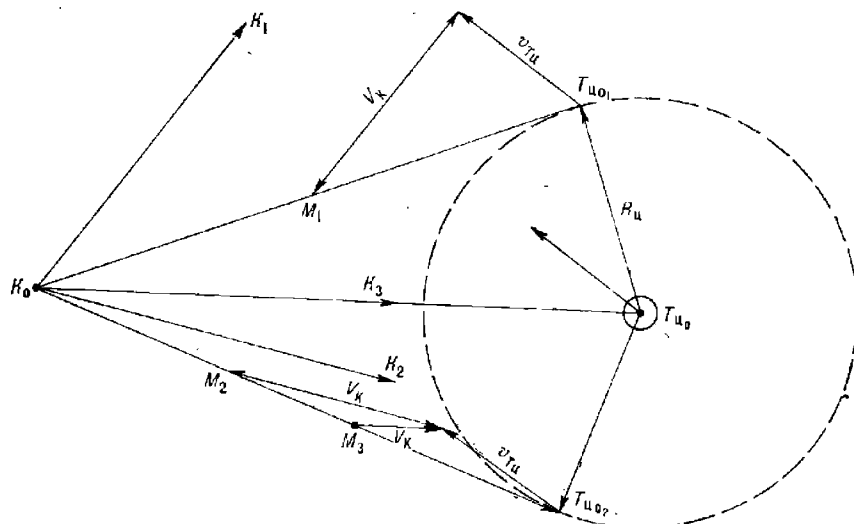


Рис. 29.10.2

В тех случаях, когда заблаговременность получения информации о положении тропического циклона относительно корабля позволяет

осуществить маневр уклонения от его штормовой зоны, возможны три варианта маневра, обеспечивающего уклонение корабля от встречи с этой зоной.

Первый вариант выполняется маневром, связанным только с изменением курса корабля. Порядок определения курса для уклонения аналогичен решению задачи на расхождение с объектом маневра на заданном расстоянии (или на расстоянии не менее заданного).

Графическое решение задачи показано на рис. 29.10.2. Точки K_0 (место корабля) и $T_{ц_0}$ (место центра тропического циклона) должны соответствовать одному и тому же моменту времени, а радиус штормовой зоны тропического циклона, указанный в консультации, должен быть увеличен на 20—25 миль (на величину возможной погрешности в определении центра циклона). Из точки K_0 проводим касательные к внешней границе штормовой зоны. Из точек касания ($T_{ц_0}$ и $T_{ц_0}$) проводим векторы скорости движения циклона ($\vec{v}_{ТЦ}$) и из концов этих векторов раствором циркуля, равным скорости своего корабля, засекаем обе касательные.

Полученные таким способом направления векторов V_K и будут курсами корабля K_1 и K_2 соответственно. При движении корабля курсом K_1 корабль пересечет линию перемещения циклона впереди, а при движении курсом K_2 — позади его штормовой зоны. Таким образом, задача уклонения корабля от штормовой зоны тропического циклона может быть достигнута при движении курсами, меньшими, чем курс K_1 , или курсами, большими, чем курс K_2 .

Второй вариант маневра уклонения корабля от штормовой зоны тропического циклона связан с возможностью корабля изменять только свою скорость. Такие условия (применительно к примеру, показанному на рис. 29.10.2) могут иметь место в том случае, если по навигационным условиям корабль может следовать только курсами, лежащими в секторе K_1K_2 .

Предположим, для корабля более предпочтительным является курс K_2 . Тогда скорость корабля должна быть не больше той, которая может быть рассчитана по формуле

$$V_K = v_{ТЦ} \frac{K_0 T_{ц_0}}{T_{ц_0} M_2}.$$

Если курс корабля K_3 совпадает с направлением на центр циклона, то

$$V_K = v_{ТЦ} \frac{T_{ц_0} M_3}{T_{ц_0} K_0}.$$

Третий вариант применяют, когда уклонение от штормовой зоны тропического циклона не может быть достигнуто ни изменением курса, ни изменением скорости, ни их одновременным изменением. Чаще всего это имеет место в случае, когда скорость циклона значительно превосходит скорость корабля, а расстояние до границы штормовой зоны уже мало или когда данные о положении циклона получены слишком поздно и никакое изменение курса и скорости не обеспечивает уклонения корабля от штормовой зоны полностью. Это может получиться и в том случае, когда фактическое направление и скорость перемещения циклона резко отличаются от прогнозируемого, и скрытого в расчет для маневра уклонения.

В этих условиях корабль не может полностью уклониться от штормовой зоны тропического циклона, но может уклониться от его наиболее опасного сектора. Для этого рекомендуется определить место корабля относительно линии перемещения центра циклона, чтобы рассчи-

тать курс уклонения от наиболее опасного сектора циклона. В этом случае расчет производится относительно только наиболее опасного сектора, положение которого показано на рис. 29.10.1.

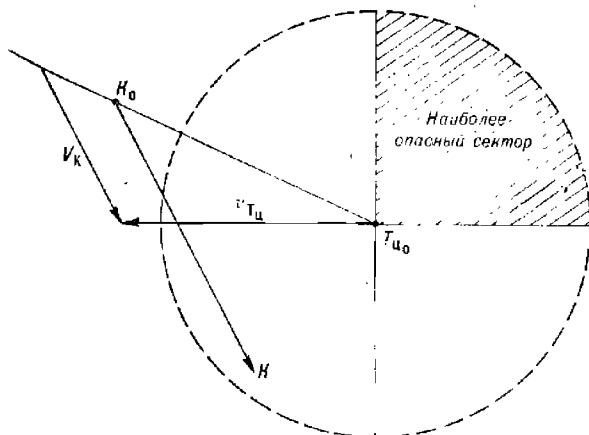


Рис. 29.10.3

Если командир корабля не располагает информацией о месте центра циклона и направлении его перемещения, то рекомендуется по наблюдению изменения направления ветра определить сторону штормовой зоны, в которой оказался корабль. Изменение направления ветра вправо указывает, что корабль находится в правой половине штормовой зоны циклона (по отношению к направлению его движения) независимо от того, находится корабль в северном или южном полушарии. Изменение направления ветра влево является признаком нахождения корабля в левой половине штормовой зоны. При сохранении направления ветра примерно постоянным и при его усилении по времени следует считать, что корабль находится на линии перемещения циклона.

Наиболее опасными являются правый задний сектор циклона (в северном полушарии) и левый задний сектор циклона (в южном полушарии), так как скорость ветра в них вместе со скоростью перемещения циклона больше, чем в других секторах. Пример уклонения от наиболее опасного сектора циклона показан на рис. 29.10.3.

При плавании в штормовых условиях командир корабля должен правильно выбирать скорость хода корабля и курс по отношению к направлению фронта волны, чтобы корабль испытывал при этом наименьшие удары волн и нагрузки на системы корабля.

ОСОБЕННОСТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОРАБЛЕВОЖДЕНИЯ ПРИ ПЛАВАНИИ В ВЫСОКИХ ШИРОТАХ

§ 30.1. НАВИГАЦИОННЫЕ УСЛОВИЯ ПЛАВАНИЯ В ВЫСОКИХ ШИРОТАХ

К районам высоких широт относятся Северный Ледовитый океан и прилегающие к нему моря Арктического бассейна, южные окраины и моря Атлантического, Тихого и Индийского океанов, непосредственно примыкающие к Антарктиде. Навигационные условия плавания в этих районах определяются их географическим положением. Наличие сезонного полярного дня и полярной ночи, малые высоты Солнца обуславливают суровость климата, низкие температуры воздуха и поверхностных слоев воды и, как следствие, наличие мощного ледового покрова. Многолетний паковый лед достигает толщины 20 м, а отдельные айсберги имеют осадку до 500 м и более. Под воздействием ветров и течений ледовый покров находится в непрерывном движении. Наличие ледового покрова определяет сезонность судоходства и ограничивает надводное плавание. До недавнего времени паковые льды считались непроходимыми. Поход советского атомного ледокола «Арктика» к Северному полюсу в 1977 г. и успешные зимние навигации транспортного флота СССР в западных секторах Арктики в начале 80-х гг. показали перспективность мореплавания в этих районах для судов и кораблей ледового класса. Еще раньше, в начале 60-х гг., было доказано, что высокие широты доступны для подводного плавания, однако ледовые условия в большинстве районов препятствуют всплытию подводных лодок на поверхность, а паковый лед и айсберги своей подводной частью представляют опасность для подводного плавания.

Наличие над районами частых туманов, сплошной многоярусной облачности ограничивает возможность определения места астронавигационными способами, а также наблюдения за ледовой и надводной обстановкой. Полярные сияния и магнитные бури вносят помехи в работу средств радионавигации и магнитных компасов. Недостаточная изученность рельефа дна и береговой линии, ледовых образований, течений, элементов земного магнетизма и других геофизических факторов придает условиям плавания в высоких широтах исключительно сложный характер.

Арктический и Антарктический районы недостаточно оборудованы в навигационно-гидрографическом отношении. Географический фактор определяет невозможность применения в широтах более 85° ряда автономных средств и традиционных методов навигации.

С увеличением географической широты уменьшается направляющий момент гирокомпаса, вызываемый полезной составляющей суточного

вращения Земли. В широте около 87° моменты сил трения и направляющий момент уравниваются и гирокомпас перестает быть курсоуказателем. С увеличением широты возрастают практически все методические и инерционные погрешности гирокомпасов.

Несмотря на несовпадение географических и магнитных полюсов Земли, с увеличением географической широты увеличивается и магнитная широта, что вызывает уменьшение горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля Земли, а следовательно, и направляющего момента магнитного компаса. С приближением к магнитным полюсам направляющий момент не в состоянии преодолеть силу трения подвеса картушки; последняя занимает относительно географического меридиана безразличное положение.

Ненадежным курсоуказателем в высоких широтах становится и навигационный гироазимут, ориентированный относительно географического меридиана, поскольку с увеличением широты значительно увеличиваются его широтная и скоростная погрешности.

В широтах более 85° непригодной для ориентирования становится система географических координат. Следствием этого является невозможность создания для приполярных районов карт в прямой равноугольной цилиндрической проекции Меркатора, так как с увеличением географической широты беспрестанно увеличивается частный масштаб карты

$$M = M_{г.п} \frac{\cos \varphi_{г.п}}{\cos \varphi}, \quad (30.1.1)$$

где $M_{г.п}$ — масштаб карты по главной параллели;
 $\varphi_{г.п}$ — широта главной параллели.

Длина одной минуты широты в районе полюса по сравнению с морской милей увеличивается на 9,3 м, т. е. на 0,5 %, что нельзя не учитывать. Кроме того, в высоких широтах незначительные погрешности в пройденном расстоянии вызывают значительные ошибки в долготе места

$$\Delta_{рд} = \Delta_s \sin IK \sec \varphi, \quad (30.1.2)$$

где Δ_s — погрешность в пройденном расстоянии;
 $\Delta_{рд}$ — погрешность в долготе.

Таким образом, сложность навигационных условий плавания в высоких широтах ставит перед кораблевождением проблему выбора средств и методов навигации, которая к настоящему времени практически разрешена.

Для кораблевождения в высоких широтах (более 85°) применяют систему квазигеографических координат и навигационные карты в поперечной равноугольной цилиндрической проекции Меркатора.

Курсоуказание и счисление в широтах более 85° обеспечиваются специальными навигационными системами и гироазимутами, навигационными СЦВМ и автопрокладчиками, реализующими курсоуказание относительно квазигеографического меридиана (аналитическое и графическое счисление) в квазигеографической системе координат. В широтах от 80 до 85° курсоуказание и счисление с помощью автоматизированных навигационных комплексов могут осуществляться параллельно как в географической, так и в квазигеографической системе координат.

Для решения ряда вспомогательных задач: предварительной прокладки, определения места по радиомаякам, прокладки высотных линий положения и т. п. при плавании в высоких широтах применяют карты в гномонической проекции.

Наблюдение за ледовой и надводной обстановкой производится как с помощью автономных технических средств наблюдения кораблей, так и с помощью корабельной и береговой авиации.

§ 30.2. КВАЗИГЕОГРАФИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КООРДИНАТ

Квазигеографическая система координат применяется в поперечной равноугольной цилиндрической проекции Меркатора (§ 4.4). Наглядное представление о ней дает рис. 30.2.1.

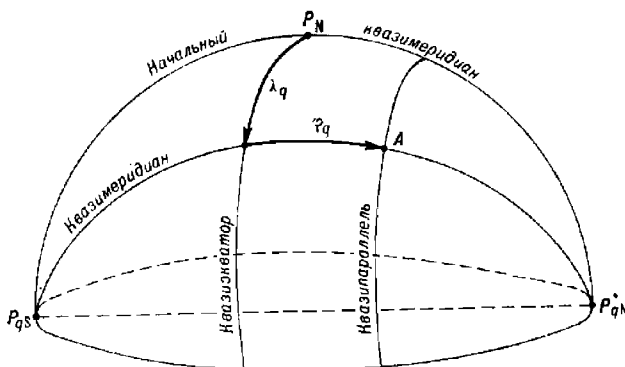


Рис. 30.2.1

Положение точки на Земле в квазигеографической системе определяется двумя координатами: квазиширотой и квазидолготой.

Квазиширота (φ_q) отсчитывается от квазиэкватора в сторону северного (+) или южного (-) квазиполюсов, измеряется дугой квазимеридиана от 0 до 90°.

Квазидолгота (λ_q) отсчитывается от начального квазимеридиана к востоку (+) и западу (-), измеряется дугой квазиэкватора от 0 до 180°.

По аналогии с локсодромией (линией, пересекающей все меридианы под одним и тем же углом) уравнение квазиллоксодромии имеет вид

$$\lambda_{q_2} - \lambda_{q_1} = \text{tg } K_q \left[\ln \text{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi_{q_2}}{2} \right) - \ln \text{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi_{q_1}}{2} \right) \right],$$

где K_q — квазикурс — угол между северной частью квазимеридиана и диаметральной плоскостью корабля (рис. 30.2.2);

φ_q, λ_q — квазигеографические координаты точек, определяющих отрезок локсодромии.

Квазипеленг (P_q) — угол между северной частью квазимеридиана и направлением на ориентир.

Для перехода от географических координат к квазигеографическим координатам заданной точки и обратного перехода применяются следующие формулы:

$$\left. \begin{aligned} \sin \varphi_q &= -\cos \varphi \cos \lambda; & \sin \varphi &= \cos \varphi_q \cos \lambda_q; \\ \text{tg } \lambda_q &= \text{ctg } \varphi \sin \lambda; & \text{tg } \lambda &= -\text{ctg } \varphi_q \sin \lambda_q. \end{aligned} \right\} \quad (30.2.1)$$

Для перехода от географических направлений к квазигеографическим направлениям применяется угол перехода — угол (Q) между северной частью географического меридиана и северной частью квази-географического меридиана. В восточном полушарии угол Q положительный, в западном полушарии — отрицательный ($+ctg Q = \sin \varphi ctg \lambda$).

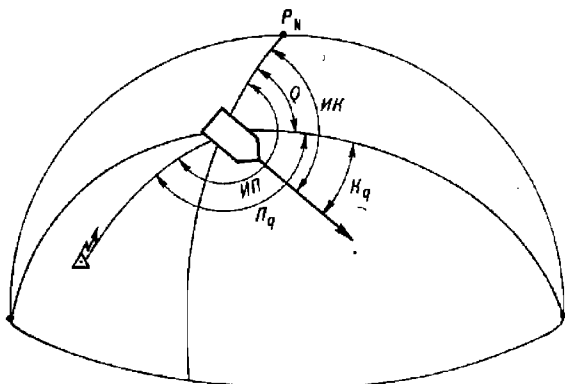


Рис. 30.2.2

В приполюсных районах ($\varphi \approx 90^\circ$) угол перехода с точностью до $0,1^\circ$ можно принять равным географической долготе данной точки, т. е.

$$Q \approx \lambda.$$

Соотношения между истинными и квазинистинными направлениями определяются формулами:

$$\left. \begin{aligned} ИК &= K_q + Q \approx K_q + \lambda; & K_q &= ИК - Q \approx ИК - \lambda; \\ ИП &= П_q + Q \approx П_q + \lambda; & П_q &= ИП - Q \approx ИП - \lambda, \end{aligned} \right\} \quad (30.2.2)$$

где $ИК$ — истинный географический курс;
 $ИП$ — истинный географический пеленг;
 K_q — квазинистинный курс;
 $П_q$ — квазинистинный пеленг.

Приведенные формулы — алгебраические; восточной долготе соответствует знак *плюс*, западной — *минус*.

Формулы (30.2.1) и (30.2.2) заложены в алгоритмы автоматических расчетов с помощью СЦВМ или аналоговых преобразователей координат в навигационных комплексах, однако они могут быть использованы и при расчетах с помощью микрокалькуляторов или мореходных таблиц.

§ 30.3. ОСОБЕННОСТИ КАРТ В ГНОМОНИЧЕСКОЙ ПРОЕКЦИИ

Гномоническая проекция образуется путем проектирования земного шара на плоскость, касательную к его поверхности, при расположении центра проектирования в центре шара.

Картографическая сетка в такой проекции представляет собой: меридианы — радиальные прямые, расходящиеся из полюса P_N ; параллели — концентрические окружности, описанные вокруг полюса.

Гномоническая проекция является неравноугольной и неравновеликой, т. е. при проектировании искажаются как направления, так и расстояния.

Однако гномоническая проекция обладает одним замечательным свойством — ортодромия (дуга большого круга) на карте изображается прямой линией, поскольку центр проектирования находится в плоскости большого круга.

Так как направлениям и расстояниям на картах в гномонической проекции присущи искажения, то переход от истинных направлений и расстояний к гномоническим осуществляется с помощью соответствующих формул:

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} \Gamma_{\text{нН}} &= \operatorname{tg} \text{ИН} \sin \varphi; \\ S_{\text{г}} &= S \sqrt{1 - \sin^2 \Gamma_{\text{нН}} \cos^2 \varphi}, \end{aligned} \right\} \quad (30.3.1)$$

где $\Gamma_{\text{нН}}$ — гномоническое направление;

ИН — истинное направление;

$S_{\text{г}}$ — гномоническое расстояние;

S — истинное расстояние.

Приведенные формулы удобны для расчетов с помощью микрокалькуляторов и мини-ЭВМ. Для перехода от истинных направлений и расстояний к направлениям и расстояниям на картах в гномонической проекции используют соответствующие поправки

$$\Gamma_{\text{нН}} = \text{ИН} + \Delta \Gamma_{\text{нН}}; \quad S_{\text{г}} = S + \Delta S_{\text{г}}. \quad (30.3.2)$$

Выражения для поправок получаются из преобразования формул 30.3.1 и составляют

$$\Delta \Gamma_{\text{нН}} = \operatorname{arctg} \left[\frac{\operatorname{tg} \text{ИН} (\sin \varphi - 1)}{1 + \sin \varphi \operatorname{tg}^2 \text{ИН}} \right]; \quad \Delta S_{\text{г}} = \frac{S}{100} (\Delta S_1 + \Delta S_2). \quad (30.3.3)$$

Поправка ΔS_1 (в %) учитывает искажения расстояний и соответственно равна

$$\Delta S_1 = \frac{S - S_{\text{г}}}{S} 100.$$

Поправка ΔS_2 служит для перевода морских стандартных миль в минуты меридиана на карте в гномонической проекции и в широте 75° составляет 0,5 % от S .

По формулам (30.3.3) составляются таблицы поправок, которые издаются отдельной брошюрой или печатаются на обратной стороне карты в гномонической проекции. Аргументами для входа в таблицы являются ИН , φ , $S_{\text{г}}$, S .

Методика применения карт в гномонической проекции для расчетов плавания по ортодромии состоит в следующем:

— на карту по географическим координатам наносятся начальная и конечная точки маршрута (пунктов отшествия и пришествия), которые соединяются прямой — ортодромией (рис. 30.3.1);

— ортодромия разбивается на отрезки, соответствующие разности долгот 10 — 15° , для движения в пределах их по отрезкам ортодромий;

— для каждого отрезка рассчитываются средние истинный и компасный курсы, необходимые длячисления и управления кораблем.

Если для предварительной прокладки используются карты в гномонической проекции масштаба $1:500\,000$ и мельче, то среднее значение истинного курса рассчитывается по формуле

$$\text{ИК}_{\text{ср}_1} = \Gamma_{\text{нК}}_{\text{ср}_1} - \Delta \Gamma_{\text{нН}}_1, \quad (30.3.4)$$

где $\Gamma_{\text{нК}}_{\text{ср}_1}$, $\Delta \Gamma_{\text{нН}}_1$ — значения гномонического курса и соответствующей поправки для средней точки отрезка.

Если масштаб карты крупнее 1 : 500 000, то средний истинный курс рассчитывается по формуле

$$ИК_{ср_i} = ИК_i + \frac{\Delta\lambda_i}{2}, \quad (30.3.5)$$

где $\Delta\lambda_i$ — разность долгот, соответствующая отрезку ортодромии.

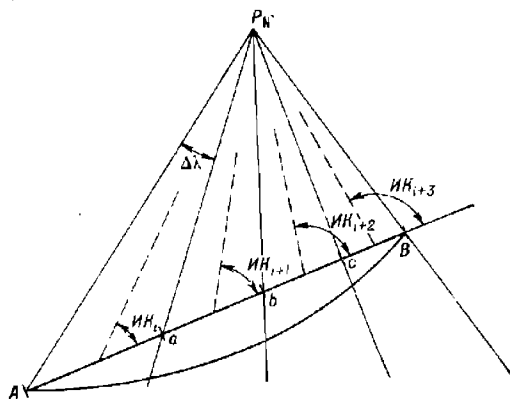


Рис. 30.3.1

Расчеты завершаются определением расстояния по ортодромии как суммы истинных расстояний по отрезкам

$$S = \sum_{i=1}^n S_i; \quad S_i = S_{r_i} - \Delta S_{r_i}, \quad (30.3.6)$$

где S_{r_i} , ΔS_{r_i} — значения гномонических расстояний по отрезкам и соответствующих им поправок.

При использовании карт в гномонической проекции ортодромические пеленги на круговые радиомаяки рассчитываются по формуле

$$Г_{нрп} = рП_i + \Delta K + f_i + \Delta Г_{нП_i},$$

где ΔK — поправка курсоуказателя;
 f_i — девиация радиопеленгатора.

§ 30.4. СЧИСЛЕНИЕ ПУТИ ПРИ ПЛАВАНИИ В ВЫСОКИХ ШИРОТАХ

Общие принципы счисления и прокладки в высоких широтах. При плавании в широтах до 80° счисление пути и навигационная прокладка осуществляются в географической системе координат и на картах в нормальной равноугольной цилиндрической проекции Меркатора. В зависимости от навигационного вооружения корабля одновременно и параллельно реализуются все виды счисления. За основной вид принимается автоматическое счисление, имеющее наибольшую точность. Контроль за точностью всех видов счисления осуществляют по невязкам обсерваций или по графикам разностей координат. Ручная графическая прокладка ведется в целях контроля и для оперативных навигационных расчетов, связанных с управлением кораблем на маршруте. При этом обязательно учитывается увеличение длины одной минуты меридиана.

В широтах более 85° счисление и прокладка осуществляются в квазигеографической системе координат на навигационных картах или картах-сетках в поперечной равноугольной цилиндрической проекции Меркатора. Сущность счисления и прокладки в квазигеографической системе координат при курсоуказании в этой же системе не отличается от методики ведения счисления и прокладки в географической системе координат, за исключением учета особенностей устройства карт-сеток и ухода по азимуту, применяемых для счисления и курсоуказания гироазимутов или других систем курсоуказания.

В поясе широт $80-85^\circ$ при относительно устойчивой работе гирокомпасов счисление пути и прокладка могут осуществляться как в географической, так и в квазигеографической системе координат, а также одновременно в обеих системах (последнее зависит от эксплуатационных характеристик имеющихся средств навигации). В поясе широт $80-85^\circ$ в зависимости от направления движения осуществляется переход курсоуказания и счисления из одной системы координат в другую. Это наиболее сложный и ответственный момент в кораблеводении при плавании в высоких широтах. Особое внимание необходимо обращать на точность и надежность автоматического преобразования координат, выработки угла перехода, определения поправок курсоуказания и скорости ухода гироазимутального курса, а также на правильность удержания заданного курса рулевым.

Особенности навигационной прокладки на картах в поперечной равноугольной цилиндрической проекции Меркатора при курсоуказании в географической системе координат. Если счисление и прокладка осуществляются на карте в поперечной равноугольной цилиндрической проекции Меркатора, а система курсоуказания ориентирована относительно географического меридиана, то возникает необходимость решения следующих задач.

1. Определение на карте квазиистинного направления, соответствующего истинному географическому курсу, заданному рулевым.

2. Определение истинного географического курса для удержания корабля на заданной квазилоксодромии.

Необходимым условием решения первой задачи является постоянство географического курса, заданного рулевым. Решение задачи сводится к следующему.

Так как на карте в поперечной равноугольной цилиндрической проекции Меркатора локсодромия — кривая, то вместо кривой прокладывают ее хорды, или отрезки квазилоксодромии (рис. 30.4.1). Длину хорды S выбирают такой, чтобы ее максимальное отстояние от локсодромии по перпендикуляру не превышало 0,2 мили, или рассчитывают по формуле

$$S = \frac{92}{\Delta\lambda^\circ},$$

где $\Delta\lambda^\circ$ — соответствующая хорде разность географических долгот.

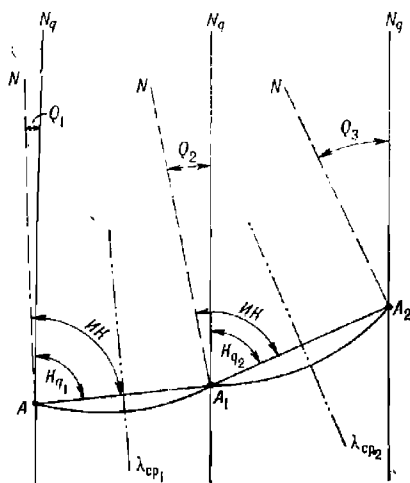


Рис. 30.4.1

Направление каждой хорды (квазинистинный курс) рассчитывают по истинному географическому курсу

$$K_{q_i} = ИК - Q_i \approx ИК - \lambda_{ср_i}, \quad (30.4.1)$$

где $\lambda_{ср_i}$ — географическая долгота средней точки хорды.

Если интервал (разность) долгот $\Delta\lambda$ составляет 1—2°, то расстояние, пройденное кораблем, прокладывают непосредственно по хорде

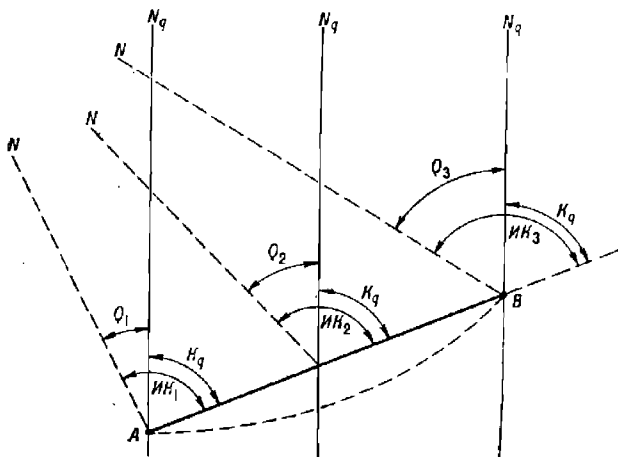


Рис. 30.4.2

(отрезку квазилоксодромии). При больших интервалах долгот фактическое расстояние, пройденное кораблем по локсодромии, будет отличаться от расстояний по хордам на величину

$$\Delta S = S \frac{\Delta\lambda^2}{8000}.$$

При решении второй задачи маршрут корабля задан и обозначен на карте отрезком квазилоксодромии (рис. 30.4.2). Поскольку эта линия пересекает географические меридианы под различными углами $ИК_i$, то необходимо непрерывно или дискретно изменять истинный географический курс.

Основой для выбора поворотных точек является разбивка линии заданной квазилоксодромии на отрезки, соответствующие разности географических долгот $\Delta\lambda$ не более 2°.

Истинные географические курсы каждого отрезка квазилоксодромии для выдачи рулевого рассчитывают по формуле

$$ИК_i = K_q + Q_i \approx K_q + \lambda_{ср_i}. \quad (30.4.2)$$

Если поправка курсоуказания не учитывается автоматически (не введена в систему курсоуказания), то рулевому выдается значение компасного географического курса

$$КК_i = ИК_i - \Delta К,$$

где $\Delta К$ — поправка курсоуказателя.

Решение обеих задач значительно упрощается, если курсоуказание в географической системе координат осуществляется ортодромическим

курсоуказателем. Таким курсоуказателем может быть гироазимут, в блоке поправок которого отключено устройство, вырабатывающее и учитывающее скоростную поправку

$$\alpha_v = \frac{V \sin K}{R} \operatorname{tg} \varphi,$$

где V — скорость корабля;
 K — географический курс;
 φ — географическая широта.

Скоростная поправка есть не что иное, как первая производная по времени от угла схождения географических меридианов γ , поэтому ортодромический курсоуказатель в каждой точке квазилоксодромии будет сохранять направление начального географического меридиана, т. е. показывать ортодромический курс. В приполюсных районах квазилоксодромия практически совпадает с ортодромией, поэтому решение первой и второй задач сводится к отысканию на карте географического курса, соответствующего начальной точке отрезка квазилоксодромии.

Особенности счисления при использовании курсоуказателей, имеющих уход в азимуте. Гироазимуты и инерциальные навигационные системы (ИНС) в широтах более 85° не определяют направление географического или квазигеографического меридиана, а сохраняют это направление. В течение времени гироазимуты и ИНС уходят от меридиана за счет накопления ряда погрешностей, главные из которых обусловлены дрейфом гироскопов. Показания таких курсоуказателей при ведении счисления исправляют поправками, известными на момент учета или прокладки курсов на картах. Однако накапливающаяся с течением времени погрешность гироазимута и ИНС вызывает появление специфической погрешности счисления, также накапливающейся с течением времени

$$\Delta_c = \frac{S}{115} \dot{\alpha}_{ГА} t,$$

где S — пройденное кораблем расстояние;
 $\dot{\alpha}_{ГА}$ — систематическая составляющая скорости ухода гироазимутального курса;
 t — промежуток времени с момента последней корректуры гироазимутального курса до настоящего момента.

Если известна скорость ухода гироазимутального курса, то погрешность Δ_c может быть учтена переносом счислимого места по перпендикуляру от линии пути: вправо, если погрешность имеет знак *плюс*, влево, если знак *минус*. Такая корректура счислимого места производится перед поворотом корабля на новый курс, при наблюдениях, после определения поправок и скорости ухода гироазимутального курса.

При надежной работе гирокомпасов или магнитных компасов скорость ухода гироазимутального курса определяется по графикам разности курсов, а в широтах более 85° — по поправкам, полученным астронавигационными методами, или по изменению квазипеленгов на ориентир, выставляемый на льду.

§ 30.5. ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА КОРАБЛЯ В ВЫСОКИХ ШИРОТАХ

При плавании в высоких широтах место корабля определяют с помощью радионавигационных систем, спутниковых (космических) навигационных систем и средств морской астронавигации. Возможны наблюдения по навигационным ориентирам, выставляемым на поверхность

ледовых полей, при условии, что координаты их точно известны или могут быть предвычислены по элементам дрейфа.

Прокладка линий положения и изолиний производится как в географической, так и в квазигеографической системе координат на соответствующих навигационных картах. При автоматизации обсерваций с помощью навигационных СЦВМ уравнения линий положения решаются: в широтах до 80° в географической системе, а в широтах более 85° в квазигеографической системе координат. В поясе широт $80-85^\circ$, как правило, решение уравнений линий положения возможно в обеих системах координат.

Методика прокладки элементов линий положения на картах и картах-сетках в поперечной равноугольной цилиндрической проекции Меркатора не отличается от методики графической прокладки линий положения на картах в прямой проекции Меркатора. Однако если навигационные измерения произведены в географической системе координат, то направление переноса (градиент) каждой линии положения необходимо исправить углом перехода $\tau_q = \tau - Q$, а перенос линии положения проложить с учетом отличия длины одной минуты квазимеридиана от стандартной мили.

При определении по радиопеленгам ортодромический квазиродиопеленг исправляют квазиортодромической поправкой $Лок. P_q = Орт. P_q + \psi_q$. Эта поправка положительна в квазисеверном полушарии, если $Орт. P < 180^\circ$, и отрицательна, если $Орт. P > 180^\circ$; в квазиюжном полушарии положительна, если $Орт. P > 180^\circ$, и отрицательна, если $Орт. P < 180^\circ$.

Глава 31

ОСОБЕННОСТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОРАБЛЕВОЖДЕНИЯ ПРИ ПЛАВАНИИ ВО ЛЬДАХ

§ 31.1. НАВИГАЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПЛАВАНИЯ ВО ЛЬДАХ

Плавание во льдах относится к числу самых сложных как в отношении управления кораблем, так и в части ведения счисления пути и прокладки.

Со льдами можно встретиться практически во всех морях, прилежащих к берегам СССР. В суровые зимы иногда замерзают на короткий период даже самые южные наши порты в Черном, Азовском, Балтийском и Японском морях.

Во льдах ухудшаются общие условия плавания, что связано с низкими температурами, уменьшением видимости из-за туманов и снегопадов. Льды представляют собой непосредственное препятствие на пути корабля, заставляют часто изменять курс и маневрировать скоростью хода. Маневренность корабля резко снижается и возможны повреждения винтов, руля и даже обшивки корабля. При температуре воздуха ниже -5°C и сильном ветре (7 баллов и более) возможно обледенение надстроек и палубы, что может привести к катастрофическим последствиям.

Как правило, военные корабли мало приспособлены для плавания без ледокола в сложных ледовых условиях. Приспособленность к плаванию во льдах указывается в тактическом формуляре корабля. Малые корабли со сравнительно слабым корпусом могут плавать только в молодом льду (сало, шуга, блинчатый лед, иллас). Другие корабли могут плавать самостоятельно только в разреженном льду толщиной до 10—15 см.

В зимних условиях, а при базировании в полярных районах всегда, перед выходом в море необходимо иметь обстоятельную информацию о льдах, которые могут встретиться на переходе и в районе выполнения задания. Такая информация поступает на корабли и соединения в виде специальных ледовых карт, составляемых гидрометеослужбой флота (базы) на определенные даты и час. Материалами для этого служат данные ледовой разведки самолетами, донесения с кораблей и судов, находящихся в море, и снимки с метеорологических искусственных спутников Земли.

На ледовых картах условными знаками показывается положение и состояние кромки льда, общая характеристика ледовых условий района и предполагаемые изменения ледовых условий.

В ряде случаев могут создаваться руководящие центры ледовой проводки, которые на основании собираемой информации и ледовых прогнозов выдают рекомендации о наиболее выгодных путях для перехода во льдах. Независимо от вида плавания — самостоятельное,

в составе соединения без проводки ледоколом или под проводкой ледокола — на корабле в море всегда должны вестись систематические наблюдения за состоянием ледового покрова.

При плавании во льдах с точки зрения влияния на курс и скорость корабля и возможности форсирования покрытых льдами значительных по протяженности акваторий необходимо знать классификацию льдов и их свойства.

Льды бывают подвижные и неподвижные. Неподвижные — это льды, связанные с берегом или грунтом (дном), в основном припай. Подвижные льды, иногда называемые дрейфующими, — отдельные льдины или ледяные поля, перемещающиеся под влиянием ветра или течения. Ледяные поля различаются по размерам: обширные — более 10 км в поперечнике, большие — от 2 до 10 км, малые — от 0,5 до 2 км в поперечнике. Обломки полей имеют 100—500 м в поперечнике.

Битый лед бывает: крупнобитый (20—100 м), мелкобитый (2—20 м в поперечнике). Обломки льдин от 0,5 до 2 м считают кусками льда. Ледяная каша — это измельченный (истертый) лед — конечная стадия механического дробления морского льда.

В своем образовании лед проходит ряд стадий: ледяные иглы, ледяное сало, снежура (результат обильного выпадения снега на охлажденную воду), шура, блинчатый лед, склянка (тонкий прозрачный лед толщиной порядка 5 см), нилас (тонкий эластичный лед толщиной до 10 см, изгибающийся на зыби), темный нилас (непрозрачный лед без снега толщиной 3—5 см, образующийся из ледяного сала), серый лед (образующийся из ниласа и склянки или смерзшегося блинчатого льда толщиной 10—30 см) и белый лед (30—70 см) обычно с устойчивым снежным покровом. Белый лед является предельной возрастной ступенью для льдов неарктических морей.

В Арктических морях различают однолетний, двухлетний и многолетний (паковый) лед. Однолетний лед достигает к времени летнего таяния толщины в 1,5—2 м (в припаяе еще толще) и обычно полностью не тает до нового льдообразования. Двухлетний лед достигает к концу второй зимы толщины порядка 2 м и более, отличается сглаженностью торосов и большей высотой над поверхностью воды. Многолетний (паковый) лед достигает толщины 2,5—3 м и более, имеет холмистую поверхность, голубоватую окраску, так как он сильно опреснен.

Основные признаки близости льда:

- появление белесоватого отсвечивания или отблесков льда на низких облаках той части горизонта, где находится лед (это явление называют «ледяное» небо), а при отсутствии облачности «ледяная» часть горизонта из-за большой относительной влажности отличается от других по окраске, принимая белесоватый мутный оттенок;
- рефракция, особенно в высоких широтах, позволяющая иногда видеть изображение льда над горизонтом на дальности в 2—3 раза большей, чем обычная дальность видимости горизонта;
- появление мелких льдин при ветре, дующем со стороны льдов.

При безоблачном небе и теплом ветре, дующем в направлении льдов, кромка льда может быть обнаружена заблаговременно по полосе тумана, образующегося надо льдом. Туман, поднимающийся со всех сторон, свидетельствует о наличии впереди по курсу льдов со значительными разводьями.

Наблюдаемое значительное уменьшение зыби при сильном ветре может свидетельствовать о подходе ко льдам с наветренной стороны. При подходе с подветренной стороны может иметь место толчея.

Дальность радиолокационного наблюдения льда находится в прямой зависимости от технических характеристик РЛС, метеоусловий и характера льда, т. е. от формы, размеров и состояния поверхности ледовых образований. Раньше и ярче появится изображение на экране РЛС при крутых передних склонах крупных ледяных образований.

Кромка сплоченного льда уверенно обнаруживается на расстоянии 2—3 мили, большие айсберги с крутыми передними склонами — на расстоянии 10—15 миль, но иногда на фоне мелкобитого льда могут и не обнаруживаться. Низкие айсберги и их обломки обнаруживаются на расстоянии 2—3 мили, но могут и не обнаруживаться, что опасно, так как большая часть айсбергов скрыта под водой и их движение определяется направлением течения, которое иногда не совпадает с направлением ветра. Усиление волнения и ветра с выпадением осадков значительно затрудняет обнаружение айсбергов с помощью радиолокационных станций. Подходить к айсбергам всегда опасно.

Поля пакового льда обнаруживаются с расстояния до 3 миль, торсистый припай — до 4, стамухи и несяки — до 4—5, крупнобитый лед — до 3 и отдельные льдины — до 1—2 миль. Большие поля ровного льда на экране РЛС не дают изображения даже в тихую погоду; почти не дают изображения и различные формы молодого льда.

В районах, где возможна встреча со льдами, особенно с айсбергами, наблюдение с помощью РЛС следует вести при возможно большем масштабе изображения на 1,5 и 5-мильных шкалах, систематически чередуя их. При следовании в тумане со скоростью 10—12 уз наблюдение следует вести непрерывно, чтобы быть предупрежденным о подходе ко льдам за 10—12 мин.

Проходимость льда обуславливается его толщиной, прочностью и сплоченностью. Сплоченность льда, т. е. площадь занимаемой льдами поверхности моря в пределах видимого горизонта, выражается в баллах:

1—3 балла	30 % площади	Редкий лед
4—6 баллов	50 % »	Разреженный лед
7—9 »	80 % »	Сплоченный лед
10 »	100 % »	Сплошной или очень сплоченный лед

Наибольшая прочность льда приходится на период его образования, а наименьшая — на период весеннего таяния.

При подготовке корабля к плаванию во льдах проводятся следующие мероприятия, повышающие живучесть корабля и технических средств навигации:

- дополнительное крепление набора корпуса в носовой части аварийными брусками;
- пополнение запасов аварийно-спасательного имущества в постах, расположенных в местах наибольшего давления льдов, — нос, корма, район мидель-шпангоута;
- дополнительный подогрев постов, где имеются приборы, охлаждающиеся забортной водой (например, гироскоп);
- уборка рулей — успокоителей качки и подкильных концов;
- закрепление браги или другого буксирного устройства;
- составление расписания личного состава корабля по борьбе с обледенением.

При подготовке к длительному плаванию во льдах корпус корабля подвергается осмотру в доке, все дефекты устраняются и при необходимости делается подкрепление корпуса специальными поясами в виде дополнительной металлической или деревянной обшивки, заменяются

бронзовые винты на стальные со съёмными лопастями и создается запас лопастей на борту.

В отдельных случаях для обеспечения перехода кораблей в ледовых условиях могут разворачиваться дополнительные средства навигационно-гидрографического обеспечения: радиотехнические, гидроакустические и визуальные (навигационные знаки, прожекторы и т. п.).

При появлении признаков приближения ко льдам необходимо убрать выступающие за борт устройства лагов, гидроакустических станций и других приборов, выслать наблюдателя за льдами на марс и расставить дополнительных наблюдателей внутри корабля в заранее определенных пунктах, увеличить дифферент на корму.

Выбор пути во льдах делается с учетом информации о ледовой обстановке и ее прогнозе. Нанеся на карту всю имеющуюся информацию и предполагаемый путь, оставляют за собой право выбора частных курсов.

В лед следует входить только при невозможности обойти его или если это необходимо по условиям полученного задания на поход, приводя в готовность все средства борьбы за живучесть. Следует считать, что для кораблей неледového класса плавание чистой водой всегда «короче» при любых расстояниях. Рекомендуется воздерживаться от входа в лед в следующих случаях:

- при заметном движении льдов в кромке;
- при значительном дрейфе льдов в сторону берега;
- в условиях ограниченной видимости (ночь, туман, пурга, снегопад);
- в период интенсивного льдообразования и снегопадов.

При входе в лед необходимо соблюдать следующие предосторожности:

- иметь предельно малый ход, но с работающей машиной;
- курс располагать перпендикулярно кромке льда;
- руль держать в положении «прямо»;
- в темное время суток привести в готовность прожекторы.

Для выбора места входа в лед на участке, где он более разрежен, иногда необходимо пройти вдоль кромки льда.

Особенно сложен вход в наветренную кромку льдов при крупной зыби и сильном ветре со стороны открытой воды. В таких условиях кромка льда может иметь большую сплоченность. Свежий боковой ветер может вызвать навал корабля на сплоченный лед такой кромки.

Войдя в кромку льда малым ходом, рекомендуется сразу же наращивать обороты, не допуская остановки корабля и не переключая руль во избежание его повреждения льдинами. Когда плотность льдов не позволит двигаться вперед, начинать маневрировать ходами для форсирования ледового поля.

Необходимо иметь в виду, что на работу штурманских приборов влияют сильные удары корпуса корабля о льдины и вибрация.

Счисление пути корабля во льдах при наличии современных технических средств навигации, главным образом радионавигации, обеспечивающих обзорное счисление, трудностей не представляет, однако надо следить за состоянием антенн. Намерзание льда на них может исказить принимаемые сигналы.

Если район плавания не покрывается радионавигационными системами и в распоряжении штурмана имеются лишь средства курсоуказания, а скорость определяется по оборотам движителей или другим методом, то обычные методы счисления пути осложняются частым изменением курса и скорости. Наличие хорошо распознаваемого на экране

РЛС хотя бы одного берегового объекта может значительно облегчить ведение счисления.

Ввиду частого изменения режима движения корабля учет скорости по оборотам движителей иногда может содержать большие погрешности, а гидродинамические и электромагнитные лаги с выстреливающими в днище приемными устройствами (датчиками) при плавании во льдах не могут использоваться из-за почти 100-процентной вероятности их повреждения. Штевенные устройства гидродинамических лагов могут закупориваться ледяной крошкой.

Скорость хода в таких случаях с предельной погрешностью порядка 10 % можно определять глазомерно по времени прохождения кораблем расстояния, равного длине корабля или фиксированной базе. Зная длину базы L (в метрах) и время T (в секундах), скорость (в узлах) находят по формуле

$$V = 1,94 \frac{L}{T}.$$

Однако удобно длину базы выбирать такой, чтобы упрощалось вычисление:

при $L = 30,9$ м $V = \frac{60}{T}$;

при $L = 46,4$ м $V = \frac{90}{T}$;

при $L = 61,8$ м $V = \frac{120}{T}$.

Организация определения скорости:

— отметить на палубе корабля, на леерах или леерных стойках базу известной длины L ;

— сбросить на лед вперед по курсу какой-либо предмет или выбрать приметный ориентир;

— по сигналу наблюдателя (отмашка флажком или свисток) в момент, когда сброшенный предмет (или ориентир) подойдет на траверз передней (носовой) марки, запускают секундомер, а с приходом на траверз кормовой марки по такому же сигналу секундомер останавливают и вычисляют скорость в узлах.

Такой способ дает хорошие результаты при редких (через 10—15 мин) изменениях курса.

При более частых изменениях курса применяют способ 5-минутной прокладки, для чего:

— в конце каждой пятой минуты записывают курс с точностью до 1°;

— глазомерно определяют скорость хода для всего 5-минутного промежутка времени.

Результаты наблюдений вносятся в таблицу:

Время	КК	V, уз	S, мили	КК _{ср}	ΔГК	ИК _{ср}	S _з , мили	Снос
14 ч 05 мин	40°	4,0	0,3	40°	—1°	39°	0,4	
14 ч 10 мин	55	3,5	0,3	52	—1	51	0,7	
14 ч 15 мин			Форсировали перемычку льда					170°; 1,5 уз

Применяются и другие способы определения скорости корабля при плавании во льдах (например, по пеленгам до приметного ориентира, по наблюдениям, полученным с помощью высокоточных СНС, и т. д.).

Обработку элементов счисления, внесенных в таблицу, выполняют за 30 или 60 мин следующим образом:

- рассчитывают пройденное за 5 мин расстояние;
- одинаковые и близкие по значению курсы (отличающиеся не более чем на $\pm 10^\circ$) сводят в группы, и плавание по общему для группы курсу принимают равным сумме вычисленных на каждом курсе пройденных расстояний;
- из курсов, отличающихся на $15-20^\circ$, выводят средние и суммируют пройденные по ним расстояния;
- полученные таким образом курсы и пройденные расстояния прокладывают на карте.

При работе автопрокладчика скорость на каждом курсе вводят вручную. Вектор сноса учитывают установкой на пульте автопрокладчика элементов течения.

Прокладка ведется на карте масштаба не мельче чем 1 : 100 000 или на миллиметровом листе бумаги в удобном масштабе, а на карту района плавания счисляемые места на каждый час переносятся по пеленгу и расстоянию от выбранного ориентира.

Место корабля может определяться с помощью РЛС и по точечным ориентирам, не нанесенным на карту (отдельная льдина, приметный торос и т. п.), измерением расстояний и пеленгов до этих ориентиров, но при этом важно предварительно точно отождествить отметку на экране РЛС с каждым выбранным ориентиром и нанести его на карту.

Плавание кораблей под проводкой ледокола регламентируется Правилами для судов, проводимых ледоколами через лед, публикуемыми ежегодно в вып. № 1 Извещений мореплавателям Главного управления навигации и океанографии Министерства обороны СССР.

§ 31.2. РЕКОМЕНДАЦИИ КОМАНДИРАМ КОРАБЛЕЙ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ СТОЛКНОВЕНИЯ С АЙСБЕРГАМИ

В истории мореплавания известно много случаев, когда корабли и суда сталкивались с айсбергами, особенно ночью в штормовую погоду и в тумане. В результате таких столкновений корабли получали серьезные повреждения и даже гибли. Поэтому при плавании в районах, в которых возможно нахождение айсбергов, командиры кораблей должны соблюдать максимальную осторожность и предусмотрительность.

Айсберги — это, как правило, большого размера плавающие глыбы многолетнего материкового льда, оторвавшиеся от ледников, спускающихся в океан со склонов Гренландии и островов Канадского архипелага, островов Шпицбергена, Земли Франца-Иосифа и Северной Земли — в северном полушарии и со склонов антарктического материка — в южном полушарии.

Основной очаг образования айсбергов в северном полушарии — ледники Гренландии, которые сбрасывают в море около 235 км^3 льда ежегодно. Вдоль западного берега Гренландии находится около 100 ледников, 20 из которых порождают большую часть всех айсбергов гренландского происхождения. Наибольшее количество айсбергов, в том числе и наиболее крупных, образуется в море Баффина, где только в районе мыса Фюрк на западном побережье Гренландии образуется около 30 % всех айсбергов северного полушария. Общее количество айсбергов, порождаемых ледниками Гренландии, достигает 40 тыс. в год.

Из моря Баффина значительная часть айсбергов течением и ветром выносится на юг к острову Ньюфаундленд. Здесь, встречаясь с теплыми

водами Гольфстрима и под воздействием прогретого воздуха умеренных широт, большая часть айсбергов разрушается и прекращает свое существование, но некоторая часть наиболее крупных айсбергов продолжает дрейфовать южнее острова Ньюфаундленд (48° сев. шир.).

Среднее количество айсбергов, обнаруженных в период 1900—1971 гг. южнее Ньюфаундленда, составляет немногим более 400 в год, но это число может изменяться в значительных пределах. Например, в годы наиболее тяжелых ледовых условий (1909, 1912, 1929, 1945, 1957) параллель 48° сев. шир. пересекало ежегодно свыше 100 айсбергов, а в 1929 г. даже 1351 айсберг. В годы, отличающиеся более легкими ледовыми условиями (1924, 1940, 1941, 1951, 1958), южнее названной выше параллели отмечалось в среднем лишь по 12 айсбергов в год, а в 1958 г. — ни одного.

Самой южной параллелью, которой достигали айсберги гренландского происхождения, является параллель 37° сев. шир., на которой в 1854 г. был обнаружен айсберг, имеющий длину 120 м, ширину 70 м, высоту надводной части 90 м.

Максимальное число айсбергов в северном полушарии приходится на апрель, май и июнь, а их минимум падает на ноябрь, декабрь и январь.

Айсберги в форме дрейфующих ледяных островов, порождаемые западногренландскими ледниками, имеют крупные размеры; отдельные экземпляры имеют длину до 13 км, а высоту надводной части до 225 м.

Осадка некоторых айсбергов гренландского происхождения достигает 500 м, но известен также случай, когда такой айсберг сел на грунт в районе, где минимальная глубина моря была 546 м.

Восточногренландские айсберги, по сравнению с западногренландскими, имеют меньшие размеры и число их также невелико. Так, наибольшая длина восточногренландских айсбергов не превышает 1 км, высота их надводной части очень редко достигает 90 м, а максимальная «осадка» их в Датском проливе, как правило, меньше 150 м. Айсберги, которым удается выйти из фиордов восточного побережья Гренландии, дрейфуют под влиянием Восточногренландского течения на юг, обгибают мыс Фарвель и присоединяются к западногренландским айсбергам, однако не отмечалось случаев, чтобы восточногренландские айсберги при движении на юг пересекли параллель Ньюфаундленда.

В Евроазиатском секторе Арктики айсберги встречаются в Баренцевом и Карском морях, а также в море Лаптевых. В Восточно-Сибирском и Чукотском морях появление айсбергов не отмечалось.

Наибольшее количество айсбергов дают ледники Шпицбергена, Земли Франца-Иосифа и Северной Земли. Эти айсберги обычно имеют высоту надводной части от 5 до 25 м, длина лишь отдельных айсбергов превышает 150 м, а осадка 100 м. В Баренцевом море наибольшее количество айсбергов встречается к югу от островов Земли Франца-Иосифа в районе Медвежьей Банка. Обычно айсберги не пересекают параллели 74° сев. шир., но в годы так называемых «извержений айсбергов» (например, в 1929 г.) они достигают Мурманского берега и северной части горла Белого моря. В Карском море айсберги обычно порождаются ледниками Северной Земли и дрейфуют вместе с паковым морским льдом. Из-за мелководности Карского моря айсберги не отмечались на трассе Северного морского пути.

В арктических водах иногда встречаются дрейфующие ледяные острова — многолетние столбообразные айсберги-гиганты. Их размеры весьма велики; при высоте надводной части 5—15 м и осадке до 30 м площадь их надводной части достигает 500 км².

Айсберги южного полушария возникают при сползании ледников Антарктиды в океан. По сравнению с айсбергами гренландского происхождения айсберги Антарктиды отличаются большими размерами. Некоторые дрейфующие ледяные острова (айсберги) имели длину более 100 км, а высоту надводной части более 500 м. Хотя инструментальных замеров осадки таких айсбергов и не производилось, предполагают, что их осадка может превышать 500 м.

Пути дрейфа антарктических айсбергов изучены недостаточно, но большинство из них совпадает с направлениями течения в морях, прилегающих к Антарктическому материку. Иногда айсберги южного полушария достигают умеренных широт вплоть до южной оконечности Африки и Австралии, где под влиянием теплой воды океанов и под воздействием ветра и волнения они разрушаются на множество мелких ледяных глыб и полностью перестают существовать.

В зависимости от формы надводной части айсбергов любого происхождения по данным непосредственных измерений установлены следующие соотношения размеров надводной и подводной частей айсбергов, которые, однако, следует считать лишь ориентировочными.

Столообразные	1 : 5
Округлые	1 : 4
Пирамидальные	1 : 3
Островершинные	1 : 2
Крыловидные	1 : 1

Эти соотношения показывают, во сколько раз осадка айсберга больше высоты его надводной части. В тех случаях, когда обнаруженный айсберг не может быть уверенно отнесен ни к одному из перечисленных выше пяти типов, следует по внешнему виду определить, к какому из них этот айсберг подходит ближе всего, и после этого оценить его вероятную осадку. Наиболее устойчивыми айсбергами являются столообразные, тогда как островершинные и крыловидные, как правило, находятся в малоустойчивом положении, поэтому нередко опрокидываются или разламываются.

Источниками, содержащими сведения о районах распространения айсбергов в различные сезоны года, основных характеристиках и путях их дрейфа, являются специальные карты, лоции арктических и антарктических морей и другие пособия, как отечественные, так и зарубежные, по ледовому режиму этих морей.

Кроме перечисленных выше режимных (т. е. средних статистических) данных об айсбергах, срочная информация об обнаруженных айсбергах, скорости и направлении их дрейфа передается по радио в виде навигационных предупреждений, к числу которых относятся бюллетени Международного ледового патруля, содержащие наиболее полную информацию об айсбергах. Международный ледовый патруль был создан в 1913 г. после гибели океанского лайнера «Титаник» (апрель 1912 г.) и является особой формой гидрометеорологического обслуживания кораблей и судов, совершающих плавание в Северной части Атлантического океана, где наиболее часто встречаются айсберги, главным образом гренландского происхождения. Наблюдение за ледовой обстановкой ведут специальные суда и разведывательные самолеты.

Полученные сведения о возможном местонахождении айсбергов в районе предстоящего плавания корабля должны быть нанесены на карту с предварительной прокладкой. В наглядной форме отмечается время и место последнего обнаружения каждого из айсбергов, направ-

ление и скорость их дрейфа. По карте оценивается время и место возможной встречи с айсбергами, траектории дрейфа которых проходят вблизи маршрута перехода корабля. Обстановку предстоящего плавания командир БЧ-1 докладывает командиру корабля, который анализирует сведения об айсбергах, нанесенных на карту, и при необходимости дает указания о внесении изменений в предварительную прокладку в целях уменьшения вероятности или полного исключения встречи корабля с айсбергами. В тех случаях, когда вероятность встречи с айсбергами полностью не исключается, с результатами анализа ледовой обстановки по маршруту предстоящего перехода командир корабля знакомит начальника РТС и вахтенных офицеров корабля с тем, чтобы каждый из них заблаговременно знал, в какое время, в каком районе и с какого направления можно ожидать появления айсберга.

В этом случае с разрешения командира корабля начальник РТС и вахтенные офицеры имеют возможность своевременно начать или усилить наблюдение за айсбергами визуально и с помощью технических средств, заблаговременно и более точно ориентировать гидроакустиков и операторов РЛС на сектора, в которых следует вести наблюдение, обеспечивающее обнаружение айсберга на максимальном расстоянии.

Порядок и методика использования радиолокационных станций и гидроакустических средств корабля для обнаружения айсбергов на подводных кораблях и подводных лодках, когда они совершают переход в надводном положении, изложены в соответствующих руководствах и методиках по использованию этих технических средств корабля.

Рекомендации по предупреждению столкновений с айсбергами подводных кораблей и подводных лодок. Появление дрейфующих айсбергов на традиционных морских путях и маршрутах переходов военных кораблей создает большую опасность столкновения с ними, особенно для подводных лодок, совершающих переход в подводном положении на глубинах меньших, чем осадка айсбергов.

Обнаружить айсберг в плохую видимость и в тумане на достаточно большом расстоянии даже с надводного корабля не всегда удается. Это объясняется тем, что большая часть айсбергов имеет очень слабую радиолокационную отражательную способность, характерную для материкового пресноводного льда. Лишь некоторые айсберги, в надводной части которых содержится значительное количество частиц грунта и камней, захваченных ледником при движении по береговому склону в океан, обладают повышенной радиолокационной контрастностью и могут быть обнаружены с помощью корабельных РЛС на значительном расстоянии.

Ориентировочная дальность обнаружения айсбергов такого типа с помощью корабельных РЛС приведена в табл. 31.2.1.

При плавании подводных лодок в подводном положении айсберги могут обнаруживаться, как правило, с помощью корабельных гидроакустических средств, используемых в режиме гидролокации. Но и в этом случае айсберги обнаруживаются на сравнительно небольших расстояниях из-за наличия экранирующего эффекта, возникающего на границе раздела более соленой и плотной воды океана и менее плотной, распресненной воды, обволакивающей подводную поверхность айсберга.

В режиме шумопеленгования айсберги обнаруживаются лишь тогда, когда они издадут шумы в процессе частичного разрушения, а также от ударов морских волн о надводную часть айсберга. После обнаружения

Таблица 31.2.1

Вид айсберга	Волнение моря		
	штиль	до 4 баллов	больше 4 баллов
Столообразный	Могут обнаруживаться на расстоянии до 15 миль		
Наклонный столообразный	Могут обнаруживаться на расстоянии до 12 миль, с некоторых направлений не более 3 миль		
Пирамидальный	Могут обнаруживаться на расстоянии до 8 миль		
Обломки айсбергов	Обнаруживаются на расстоянии до 7 миль, но трудно отличимы от стамух	Обнаруживаются на расстоянии до 5 миль, но трудно отличимы от стамух	Обнаруживаются на расстоянии до 3 миль
Куски айсбергов	Обнаруживаются на расстоянии 2— 3 миль, трудно отди- чимы от стамух	Обнаруживаются на расстоянии не бо- лее 2 миль, а при волнении больше 6—7 баллов не обнаруживаются.	

Примечание. Отдельные обломки и куски айсбергов, почти полностью погруженные в воду, не обнаруживаются радиолокатором, а при пониженной видимости не обнаруживаются и визуально, поэтому особенно опасны для кораблей.

таких шумов командир подводной лодки, если позволяют условия, должен определить расстояние до айсберга методами гидролокации или визуально, всплыв на перископную глубину. Целесообразно, кроме того, уменьшить скорость, чтобы исключить сближение подводной лодки с айсбергом на опасно малые расстояния. Нахождение корабля в непосредственной близости от айсберга небезопасно потому, что нередко айсберги, находясь в неустойчивом положении, опрокидываются или раскалываются на несколько обломков и кусков, создавая угрозу для корабля, находящегося поблизости. Когда айсберги освобождаются от внутренних напряжений, вызванных изменениями температуры, и расгаируют на вибрации, обусловленные действием морских и звуковых волн, от них в любой момент могут отколоться крупные глыбы льда, которые после падения в воду снова с огромной силой выталкиваются на поверхность, причем часто на большом расстоянии от основной массы айсберга. Айсберги часто оказываются уравновешенными таким образом, что откалывание льда или просто таяние их подводной части вызывает смещение центра тяжести и последующее опрокидывание их, после чего айсберг занимает новое уравновешенное положение. Поэтому суда и шлюпки должны держаться на достаточном удалении от айсбергов. У айсбергов могут быть также подводные выступы и утесы, отходящие далеко за пределы видимых очертаний айсберга, и поэтому всегда их следует обходить на большом расстоянии. Это расстояние по расчетам не должно быть меньше 2 миль.

Надводные корабли и подводные лодки в надводном положении при вынужденном подходе к айсбергу на меньшее расстояние должны идти самым малым ходом с включенным эхолотом и гидролокатором, чтобы избежать столкновения с подводным выступом айсберга, отходящим от его надводной части иногда на 300—500 м.

Подводные лодки при плавании в подводном положении должны избегать подныривания под айсберг, так как его «осадка» может оказаться больше разрешенной глубины погружения и, кроме того, поверхность подводной части айсберга может быть неровной. Любой удар подводной лодки о выступ подводной части айсберга может вызвать

его раскалывание и даже переворачивание, что может привести не только к повреждениям подводной лодки, но даже и к ее гибели.

Столкновение надводного корабля и подводной лодки с айсбергами может быть исключено только при соблюдении нижеперечисленных основных рекомендаций:

— если позволяют обстоятельства, маршрут перехода корабля следует прокладывать через районы, в которых появление айсбергов полностью исключено или маловероятно;

— тщательно анализировать ледовую обстановку по маршруту перехода, предусматривая надлежащие меры по своевременному обнаружению айсбергов еще до выхода в море;

— с выходом в море принимать по радио всю метеоинформацию, содержащую сведения по ледовой обстановке, и анализировать в первую очередь те из них, которые относятся к району плавания корабля;

— во время плавания вести наблюдение за внешней обстановкой визуально и всеми имеющимися на корабле техническими средствами, с тем чтобы исключить случаи сближения с поздно обнаруженным айсбергом на опасно малое расстояние;

— не приближаться к обнаруженному айсбергу на расстояние меньше 2 миль;

— с обнаружением айсберга на расстоянии меньше 2 миль немедленно уменьшить скорость и начать выполнение маневра для расхождения с обнаруженным айсбергом на безопасном расстоянии.

Командиры кораблей должны ясно представлять себе последствия, к которым может привести столкновение корабля с айсбергом, особенно на большой скорости, а для подводных лодок — при плавании в подводном положении. Поэтому соблюдение надлежащих мер предосторожности и выполнение изложенных выше рекомендаций по предотвращению столкновений с айсбергами должно быть первейшей заботой командиров кораблей при плавании в районах, в которых возможна встреча с айсбергами. Командир корабля должен поступать сообразуясь с обстановкой, полученной задачей, возможностью обеспечить скрытность своих действий и в то же время обеспечить безопасность корабля и его экипажа.

ОСОБЕННОСТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОРАБЛЕВОЖДЕНИЯ В АВАРИЙНЫХ УСЛОВИЯХ

§ 32.1. ОСНОВНЫЕ ОБЯЗАННОСТИ ПО КОРАБЛЕВОЖДЕНИЮ ДОЛЖНОСТНЫХ ЛИЦ КОРАБЛЯ ПРИ ПЛАВАНИИ В АВАРИЙНЫХ УСЛОВИЯХ

Аварийные условия, в которых корабль может оказаться во время плавания, можно подразделить на два вида, существенно отличающихся способами решения задач кораблевождения.

В первом случае в результате полученных боевых или аварийных повреждений корабль лишается способности продолжать дальнейшее плавание самостоятельно или даже возникает угроза его гибели. Подобные аварийные условия создаются также в том случае, когда на корабле оказываются выведенными из строя все энергетические установки и корабль теряет способность двигаться самостоятельно, или когда он сел на мель и не может самостоятельно сняться с мели, а также когда при полученных повреждениях корпуса корабля, после снятия с мели, он не сможет остаться на плаву.

В другом случае корабль в результате полученных повреждений теряет свои мореходные и маневренные качества только частично и сохраняет способность продолжать плавание самостоятельно. В данной главе рассматриваются основные обязанности по кораблевождению должностных лиц корабля и особенности способов решения задач кораблевождения в аварийных условиях второго вида, так как в аварийных условиях первого вида основные обязанности должностных лиц связаны с борьбой за живучесть и определены корабельным уставом, а задачи кораблевождения резко сокращаются.

В свою очередь, аварийные условия второго вида, с точки зрения особенностей способов решения задач кораблевождения, можно подразделить на три варианта.

Аварийные условия *первого варианта* имеют место в том случае, когда корабль в результате боевых или аварийных повреждений снизил свои мореходные и маневренные качества (статический креп и дифферент, увеличение осадки, ограничение скорости и ухудшение управляемости), но сохранил в исправном состоянии все основные приборы и системы ТСН.

Второй вариант аварийных условий характеризуется тем, что в результате полученных повреждений корабль сохранил свои основные мореходные и маневренные качества, но все основные приборы и системы ТСН оказались полностью выведенными из строя (главным образом курсоуказатели и измерители скорости корабля).

Наконец, в *третьем варианте* аварийных условий имеют место и резкое ухудшение мореходных и маневренных качеств корабля,

а также выход из строя основных приборов и систем ТСН. Последний вариант аварийных условий плавания корабля является наиболее сложным для решения задач кораблевождения, так как при ограниченных маневренных качествах корабля, плохой его управляемости затруднено использование даже резервных способов и средств навигации.

В перечисленных выше аварийных условиях командир корабля обязан:

- объявить боевую или аварийную тревогу;
- уточнить характер полученных кораблем повреждений и степени снижения мореходных и маневренных качеств корабля, вызванных этими повреждениями;
- доложить командиру соединения о состоянии корабля и принятых мерах по обеспечению безопасности дальнейшего плавания;
- определить возможность дальнейшего перехода самостоятельно, с учетом фактической и прогнозируемой погоды;
- проверить фактическую управляемость корабля и наиболее безопасную скорость движения; при неисправном рулевом устройстве определить возможность удержания корабля на курсе с помощью машин и подруливающего устройства, а также с использованием аварийных приспособлений;
- наметить (при необходимости) изменения к первоначально намеченному маршруту перехода, обеспечивающие лучшие возможности для укрытия корабля от штормовой погоды и заход в порт для устранения повреждений, создающих угрозу безопасности дальнейшего плавания корабля;
- потребовать от штурмана доклада о состоянии ТСН, возможных резервных способах курсоуказания, измерения скорости корабля и уточнения координат его места при плавании в создавшихся аварийных условиях;
- проанализировать фактическую погоду, тенденции ее изменения и последний прогноз погоды на район плавания, уточненный проверенными местными признаками;
- определить очередность работ по устранению неисправностей в приборах и системах ТСН, а также сроки докладов о результатах этих работ и данные об уточнении места корабля резервными способами, которые изложены в § 32.2 и § 32.3.

Вахтенный офицер при плавании корабля в аварийных условиях должен оказывать помощь командиру корабля в организации борьбы за живучесть и усилить наблюдение за внешней безопасностью корабля, за изменениями погоды с регулярными докладами об обстановке командир корабля.

В аварийных условиях, приведших к снижению мореходных и маневренных качеств корабля и выходу из строя основных приборов и систем ТСН, штурман корабля обязан:

- зафиксировать в навигационном журнале и на путевой карте, на которой велась навигационная прокладка, точное время и числимое место аварийного происшествия, а также навигационную обстановку плавания, состояние погоды и поведение корабля после полученных им повреждений;
- тщательно и с максимальной точностью определить координаты места корабля на момент повреждения корабля, записать их в навигационный журнал и сообщить эти данные вахтенному офицеру для записи в вахтенный журнал;

— определить характер и степень повреждений ТСН, рулевых устройств и организовать работу по устранению повреждений с использованием ЗИП штурманской боевой части и БЧ-V;

— при необходимости перейти на использование резервных навигационных средств и определить их возможности для курсоуказания, измерения скорости корабля и уточнения места;

— принять долгосрочный прогноз погоды по району плавания, откорректировать его по местным признакам погоды с учетом фактического характера изменений метеоэлементов и доложить его командиру корабля;

— при повреждении штурманской рубки ($\frac{КП}{1}$) перейти на запасной командный пункт ($\frac{ЗП}{1}$);

— доложить командиру корабля или лицу, замещающему его, свои соображения об изменении маршрута перехода, скорости движения и способах ее измерения, а также о дополнительных мерах по обеспечению навигационной безопасности плавания корабля;

— перейти на новую путевую карту, новый навигационный журнал (в том числе новый маневренный планшет и новый журнал маневренных карточек) с повторением в них записей на момент происшествия;

— отметить на курсограмме, эхограмме и лентах документирования навигационных данных СЦВМ момент и дату происшествия, заменить их новыми, а прежние вместе со старой картой, навигационным журналом и другими документами опечатать и передать командиру корабля.

§ 32.2. РЕЗЕРВНЫЕ МЕТОДЫ НАВИГАЦИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОРАБЛЕВОЖДЕНИЯ В АВАРИЙНЫХ УСЛОВИЯХ

В тех случаях, когда на аварийном корабле все основные ТСН находятся в исправном состоянии, решение задач кораблевождения связанных с курсоуказанием, измерением скорости и пройденного расстояния, ведением счисления пути корабля и уточнением координат его места, производится обычными методами и средствами. Особенности в решении этих задач связаны лишь с изменением поправок приборов из-за крена и дифферента, изменения осадки, соотношения скорости оборотам гребных винтов и т. п. Поэтому штурман обязан определить эти поправки с учетом фактического пройденного расстояния между наиболее точными наблюдениями, сравнением показаний относительных лагов с гидроакустическими, определить поправки приборов курсоуказания наиболее точными способами.

В аварийных условиях, когда на корабле выведены из строя все основные ТСН, задачи кораблевождения должны решаться резервными методами и средствами, предусмотренными для навигации спасательных средств, изложенными ниже.

На каждом спасательном средстве должны находиться:

— навигационные и специальные карты и лоции, охватывающие район плавания и ближайшие пункты укрытия от штормовой погоды;

— мореходные таблицы и морской астрономический ежегодник (или таблицы, заменяющие его);

— маневренные планшеты, листы миллиметровой бумаги, калька и записные книжки штурмана;

— прокладочный инструмент, протрактор, логарифмическая линейка, микрокалькуляторы с автономным питанием, карандаши, перочинный нож;

- навигационный секстан, котелок магнитного компаса в комплекте, хронометр (палубные часы) или электронные часы (наручные);
- бинокли и электрические фонари с запасными батарейками и лампочками;
- Рекомендации по астронавигационному ориентированию при плавании в поврежденных технических средствах навигации и на спасательных средствах, изд. ГУНиО МО, 1983 г. (№ 9049);
- справочник штурмана и справочник вахтенного офицера;
- радиоприемник (транзисторный).

Перечисленные выше резервные инструменты и средства навигации, карты и навигационные пособия позволяют решать большинство задач кораблевождения изложенными ниже способами.

Методы навигации на спасательных средствах. Типовыми табелями снабжения корабельных спасательных катеров и шлюпок предусмотрено их вооружение шлюпочными магнитными компасами и шлюпочными навигационными картами; снабжение ими надувных спасательных плотов не предусмотрено. *Полнота состава навигационного вооружения спасательного средства будет определяться степенью выполнения требований и рекомендаций, изложенных в начале § 32.2.* К минимальному комплексу навигационных средств, обеспечивающих самостоятельное плавание спасательных шлюпок и плотов, как было указано выше, следует отнести наличие на борту магнитного компаса, навигационного секстана, карт и лоции на район плавания, мореходных и астрономических таблиц, морского астрономического ежегодника, прокладочного инструмента и измерителя времени. Недостающие и примитивные прототипы этих средств, в частности ручной забортный лаг, могут быть изготовлены членами экипажа спасательного средства из подручных материалов. Секстан и пеленгатор компаса могут заменяться протрактором, маневренным планшетом и даже транспортиром. Транзисторный приемник с успехом используется как радиопеленгатор. Применение тех или иных средств, а также их изготовление, требует наличия определенных теоретических знаний и практических навыков в области применения традиционных средств и методов кораблевождения, а также морской практики.

Если на спасательном средстве имеется минимум навигационных средств или их заменителей, то методы навигации шлюпки или плота в принципе не отличаются от методов навигации кораблей.

Выбор маршрута плавания по вариантам — оставаться ли на месте бедствия в ожидании помощи, следовать ли к ближайшему побережью или островам, выходить ли на пути интенсивного судоходства — осуществляется на основе глубокого и всестороннего анализа обстановки, сложившейся к моменту оставления корабля экипажем и после посадки в спасательные средства. Окончательное решение принимает старший начальник на борту плавсредства или на группе плавсредств.

Счисление пути (в полном понимании этого метода) может осуществляться только на самоходных или парусных катерах и шлюпках, так как примененные в качестве движителей весел или ручных роторных приводов к винтам при ограниченности запасов продовольствия и пресной воды вряд ли целесообразно. На шлюпке можно вести графическое счисление по данным магнитного компаса и ручного забортного лага, используя для этого карту или лист бумаги с угловым масштабом (как на астрономическом бланке) для перевода отшествия в разность долгот. Если условия ветра и заливаемости не позволяют систематически вести графическое счисление, то координаты текущего места вычис-

ляют способами аналитического счисления, с периодическим занесением мест на имеющуюся карту.

Курсоуказание осуществляется по магнитному компасу, поправка которого определяется периодически астрономическими способами (§ 32.3), или расчетом

$$\Delta MK = \delta + d,$$

где δ — девиация, выбираемая из таблицы или определяемая для данного курса нижеприведенным способом;

d — магнитное склонение в районе плавания, приведенное к дате.

Приближенное значение девиации в условиях благоприятной погоды может быть определено следующим образом. На заданном курсе с кормы шлюпки сбрасывается хорошо заметный плавающий предмет. Пройдя точно заданным курсом расстояние около 5 кбт, делают поворот на месте (с помощью весел) и удерживают курс по направлению на плавающий предмет, фиксируя его среднее значение. Величина девиации составит

$$\delta = \frac{1}{2} (KK_1 \pm 180^\circ + KK_2) - KK_2,$$

где KK_1 — первоначально заданный курс;

KK_2 — курс по направлению на плавающий предмет.

При отсутствии компаса на борту плавсредства направление его движения определяется по светилам (§ 32.3). Для лучшей ориентировки рекомендуется вдоль диаметральной плоскости шлюпки натянуть шкерт или проволоку.

Скорость шлюпки определяется либо с помощью планширного лага, либо с помощью ручного забортного лага. В первом случае лаг представляет собой легкий поплавок, который периодически сбрасывается с форштевня шлюпки и выбирается на ее борт с помощью свободного шкерта после прохода ахтерштевня. Промежуток времени прохода длины шлюпки между штевнями измеряется с помощью секундомера. Скорость шлюпки (в узлах) рассчитывается по формуле

$$V_0 = 1,944 \frac{l}{t},$$

где t — промежуток времени (с), за который шлюпка проходит свою длину, равную l (м).

Во втором случае лаг представляет собой тяжелый плавающий предмет, едва выступающий над поверхностью воды. К предмету крепится лагльня длиной около 50 м, который маркируется узлами или кусочками пенопласта через 1 м. Лаг выбрасывается с кормы; после того как шлюпка отойдет на расстояние около 10 м, выбирается слабина лагльня, и далее он свободно травится через руку, при этом производят подсчет вытравленных узлов. Одновременно с помощью секундомера измеряют промежуток времени, за который производится подсчет узлов или марок. Скорость шлюпки рассчитывается по той же формуле, однако l в данном случае — длина вытравленного лагльня.

С помощью ручного забортного лага определяется и *угол дрейфа* как угол, заключенный между лагльней и диаметральной плоскостью шлюпки. С помощью подобного лага или отмаркированного каната плавучего якоря определяют *скорость и направление дрейфа* шлюпки или кадувного плота без хода. Методика измерений и расчетов остается прежней, а направление дрейфа определяется по направлению лагльня или каната.

Определение места спасательной шлюпки или плота в видимости берегов производят обычными навигационными способами, т. е. по пеленгам, измеренным с помощью магнитного компаса; по горизонтальным углам, измеренным секстаном; по дистанциям, полученным при измерении вертикальных углов секстаном или с помощью бинокля, имеющего сетку.

При плавании вне видимости берегов основными способами определения места являются астрономические. При отсутствии тех или иных пособий и таблиц, позволяющих определить место методом линий положения, важную роль приобретают раздельные способы определения широты и долготы места (§ 32.3).

Если на борту спасательного средства имеется обыкновенный транзисторный приемник с ферритовой антенной, то место может быть определено как по круговым, так и по секторным радиомаякам. Возможность пеленгования круговых маяков базируется на том, что ферритовая антенна имеет диаграмму направленности в виде «восьмерки», т. е. подобную диаграмме направленности рамочной антенны радиопеленгатора. Приемник жестко крепится к шлючке таким образом, чтобы стержень ферритовой антенны находился горизонтально в плоскости шпангоута, в этом случае равносигнальная зона или минимум слышимости принимаемого сигнала будет совпадать с диаметральной плоскостью шлюпки. Пеленгование круговых маяков осуществляют поворотом шлюпки, т. е. на радиокурсовом угле, равном 0° .

Таким образом, измеренный на круговой радиомаяк радиопеленг будет равен курсу шлюпки по магнитному компасу, а ему соответствующий локсодромический радиопеленг, прокладываемый на карте, составит

$$\text{Лок. П} = K_{\text{МК}} + \Delta \text{МК} + \psi,$$

где ψ — ортодромическая поправка.

Такой метод пеленгования удобен тем, что, не зная значения радиодeviации, можно относительно точно определить место по трем радиопеленгам, произведя разгон фигуры погрешностей на карте обычным приемом. При отсутствии на шлючке в стоячем такелаже металлических предметов и в сухую погоду радиодeviация ферритовой антенны близка к нулю. Располагать приемник на близком расстоянии от магнитного компаса не рекомендуется, так как ферритовая антенна является магнитом.

Прием сигналов секторных радиомаяков с помощью транзисторного приемника не отличается от использования для этого обычного радиопеленгатора. Для подсчета принимаемых сигналов и для пеленгования: в целях лучшей слышимости в условиях ветра рекомендуется подключать к приемнику наушники, обычно прилагаемый к приемнику, или слаботочный миллиамперметр.

Важное значение для плавания в экстремальных условиях имеют *лоцманские методы ориентировки в открытом море по местным признакам*, которые позволяют определить направление на материк или архипелаг.

Неподвижное низкое облако при наличии движения других облаков свидетельствует о наличии под ним острова, вершины или отдельного мыса материка. Кучевые облака над горизонтом, расположенные по направлению к побережью, снизу могут иметь определенную окраску: в высоких широтах розового или голубого оттенка, в тропиках — зеленоватого. Облака хорошо отражают огни крупных городов, скопления рыболовных судов и извержения вулканов.

На близость побережья указывают большие скопления летающих морских птиц. Морские птицы, как правило, в группах перемещаются от материка на рассвете, а в обратном направлении — вечером.

О близости побережья свидетельствуют волны мертвой зыби, движение которых противоположно направлению господствующих в районе ветров. О нахождении в районе отдельно расположенного острова говорит наличие беспорядочных волн и зыби.

О подходе к побережью материка или архипелага может свидетельствовать цвет морской воды, переходящий от темно-зеленого или темно-синего к светлым тонам, что указывает на уменьшение морских глубин и наличие отмелей.

При подходе к побережью в условиях ограниченной видимости и отсутствия сильного ветра хорошо прослушиваются звуки прибой и шум больших портовых городов.

Факторами, указывающими на близость районов интенсивного судоходства, являются: дымы и огни судов, усиление радиообмена на международных частотах, плавающие в море отходы и тара, отдельные предметы морских промыслов.

Рассмотренные методы навигации могут применяться не только при плавании на спасательных средствах, но и на кораблях со значительными повреждениями технических средств навигации, полученными при воздействии противника в бою или при аварийных происшествиях.

§ 32.3. АСТРОНАВИГАЦИОННОЕ ОРИЕНТИРОВАНИЕ НА СПАСАТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВАХ И ПРИ ПЛАВАНИИ С ПОВРЕЖДЕННЫМИ ТЕХНИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ НАВИГАЦИИ

По наблюдениям небесных светил при использовании простейших угломерных средств и пособий может быть восстановлено утраченное ориентирование во времени, по направлению движения и по местонахождению корабля.

Определение времени по звездам. Наблюдая северные околополярные созвездия (рис. 32.3.1), можно мысленно разделить небо на 24 часовых деления, как это показано на рисунке. Далее следует глазомерно оценить местный часовой угол звезды Кафф (♁ Кассиопеи); масштабом для оценки $t_m^{\text{Кафф}}$ может служить угол при полюсе (≈ 2 ч) между β и ϵ Кассиопеи или между γ и η Большой Медведицы. Звездное время $t_m^{\text{Кафф}}$ равно $t_m^{\text{Кафф}}$. Если же оценить местный часовой угол звезды Фекда (γ Большой Медведицы), то $t_m^{\text{Фекда}} = t_m^{\text{Кафф}} - 12^{\text{ч}}$. Для перехода от звездного времени $t_m^{\text{Фекда}}$ к среднему времени меридиана места T_m следует из табл. 21.2.3 по дате выбрать «звездное число» R , выразить его в часовой мере ($15^\circ = 1^{\text{ч}}$) и вычислить

$$T_m = t_m^{\text{Фекда}} - R. \quad (32.3.1)$$

Полученное T_m перевести в судовое время по формуле

$$T_c = T_m \mp \lambda_w^E \pm N_{cw}^E. \quad (32.3.2)$$

При плавании в южных широтах взамен * Фекда можно наблюдать * δ Южного Креста.

Пример. 5 декабря в долготу $\lambda=157^\circ$ E (судовое время по 11 восточному часовому поясу) наблюдали $i_M^{\wedge}=8^\circ$ (рис. 32.3.1).

Вычислить судовое время T_c .

Решение.

Звездное местное время $t_M^{\wedge} = 8^h$

5 декабря. «Звездное число» $R = \frac{70^\circ + 4^\circ}{15^\circ} = 4,9^h$ $R \approx 5^h$

Среднее время меридиана места $T_M = 3^h$

Долгота места $\lambda = \frac{157^\circ}{15^\circ} = 10,5^h$ $\lambda \approx 10,5^h$

Всемирное время 4 декабря $T_{Гр} = 16,5$
+

Часовой пояс $N_c = 11^h$

Судовое время 5 декабря $T_c = 3,5^h$

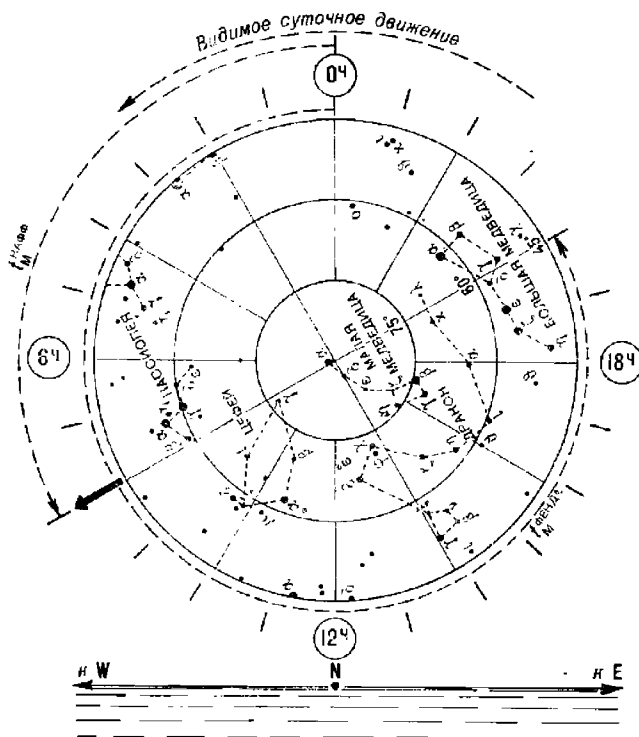


Рис. 32.3.1

Определение времени по Солнцу. Среднее время меридиана места $T_M=12^h$ может быть определено по моменту верхней кульминации Солнца, который замечают по наступлению кратчайшей длины тени от вертикального шеста (рис. 21.1.3), по приходу Солнца на $ИП=180^\circ$ (по достижению Солнцем максимальной высоты). При наличии МАЕ или МТ-75 можно предвычислить T_M в момент видимого восхода

и захода Солнца. Далее по формуле (32.3.2) перевести T_m в T_c и в момент наступления предвычисленного явления установить часы на T_c .

Приблизительно оценивая местный часовой угол Солнца в течение дня по его положению на небосводе, можно найти $T_m = t_W^G \mp 12^h$ (минус — до полудня) и вычислить T_c .

Ориентирование по направлению. Истинное направление на море может быть определено:

1. По наблюдениям \star Полярной (рис. 32.3.1). Если \star Сегин (ε Кассиопеи) или \star Бенетнаш (η Большой Медведицы) наблюдаются в одном вертикале с Полярной, то $ИП \star$ Полярной равен 0° . Если же \star Сегин видна слева от Полярной (или \star Бенетнаш — справа), то $ИП \star$ Полярной равен 359° , как это показано на рисунке. При наблюдении \star Сегин справа от Полярной (или \star Бенетнаш — слева) $ИП \star$ Полярной равен 1° . Если широта места наблюдений превышает $50^\circ N$, то $ИП \star$ Полярной равен 358° (если \star Сегин слева) и, в противоположном случае, $ИП \star$ Полярной равен 2° .

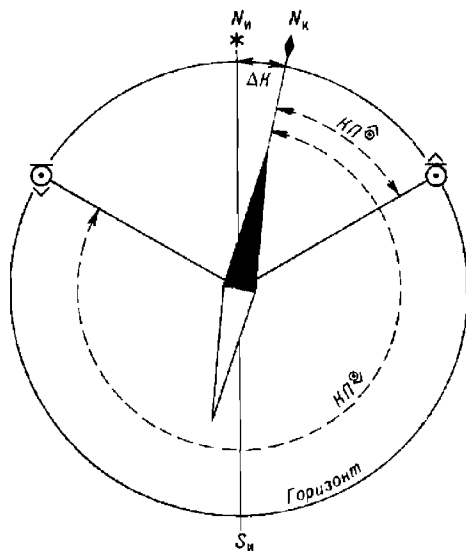


Рис. 32.3.2

2. По наблюдениям яркого светила на малой высоте его азимут вычисляется и периодически уточняется на ПМК, по звездному глобусу, по планисфере, по таблицам ВАС—58 (гл. 26). Если место наблюдателя известно очень приблизительно, то светило для ориентирования лучше выбирать ближе к направлению на повышенный полюс.

3. При плавании в малых широтах — направление на N или S можно определить посредством регистрации прихода любого светила на максимальную или минимальную высоту.

4. По прохождению светилем направления на E или W — регистрируют приход светила на высоту, указанную в табл. 21 МТ—75.

5. По наблюдениям восхода или захода верхнего края Солнца с помощью табл. 20 МТ—75.

Если имеется компас, то по сравнению *ИП* и *КП* светила в момент наблюдаемого явления определяется поправка компаса $\Delta K = IP^* - KP^*$.

При отсутствии компаса для следования в необходимом направлении надо привести светило на курсовой угол $KU^* = IP^* - IK$.

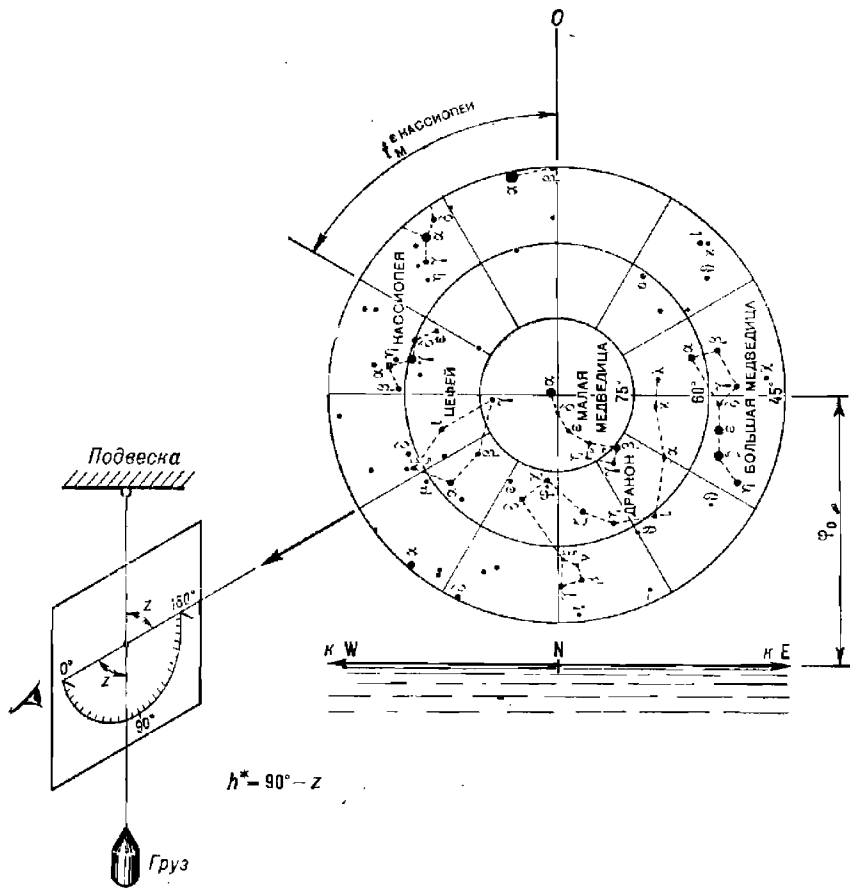


Рис. 32.3.3

По компасным пеленгам точек восхода и захода Солнца поправка компаса может быть определена достаточно надежно способом, показанным на рис. 32.3.2,

$$\Delta K = 180^\circ - \frac{KP^{\odot} + KP^{\ominus}}{2}, \tag{32.3.3}$$

если изменение широты места наблюдателя в течение дня не было слишком велико.

Ориентирование по местонахождению. Широта места наблюдателя может быть определена:

1. Ночью в северном полушарии Земли — путем измерения высоты Полярной секстаном или самодельной астролябией (рис. 32.3.3). В общем случае обсервованная широта приближенно равна

$$\varphi_0 = h^{\times} + 51' \cos t_m^{\times}, \quad (32.3.4)$$

где t_m^{\times} — глазомерно оцененная величина местного часового угла звезды Сегин.

В частных случаях:

— если \times Сегин видна выше Полярной, то $\varphi_0 = h^{\times} - 51'$ (аналогично, если \star Бенетнаш видна под Полярной);

— если \times Сегин видна под Полярной, то $\varphi_0 = h^{\times} + 51'$ (аналогично, если \star Бенетнаш видна над Полярной).

2. В любых широтах днем и ночью — по измеренной высоте светила в моменты его верхней или нижней кульминации (гл. 21 и 23).

Долгота места наблюдателя может быть определена только при известной поправке часов, с помощью которой вычисляют всемирное время в момент измерения высоты светила или в момент наступления астрономического явления, при котором известен t_m светила или же известно T_m . Если t_m светила известен или вычислен по измеренной высоте (гл. 22), то $\lambda_0^E = t_m^W - t_{гр}^W$. Если известно T_m явления, то $\lambda_0^E = T_m - T_{гр}$. В последнем случае может быть использовано T_m , вычисленное по МАЕ для момента восхода или захода Солнца, если широта места наблюдений известна.

В частном случае, при плавании в малых широтах, можно зарегистрировать момент верхней кульминации светила как средний из моментов прихода светила на одинаковую высоту до и после кульминации; исправив этот средний момент поправкой часов, найдем всемирное время кульминации $T_{гр} = T_{\odot} + a_{\odot}$, а по нему из МАЕ получим гринвичский часовой угол Солнца $t_{гр}^{\odot} W$, который равен в этом случае долготе места наблюдателя. При $\lambda_0^W > 180^\circ$ вычисляют $\lambda_0^E = 360^\circ - \lambda_0^W$.

Высотная линия положения для контроля счисления может быть получена без секстана по регистрации момента восхода или захода верхнего края Солнца, когда при малой высоте глаза $h^{\odot} = -53'$; при наблюдении восхода или захода нижнего края Солнца принимают $h^{\odot} = -21'$. Вычислив на момент явления счислимые h_c и A_c (§ 23.6), находят перенос высотной линии положения и контролируют счисление.

Детальные рекомендации по астронавигационному ориентированию в экстремальных условиях плавания приведены в пособии «Рекомендации по астронавигационному ориентированию при плавании с поврежденными техническими средствами навигации и на спасательных средствах», № 9049, изд. ГУНиО МО, 1983 г.

§ 32.4. МЕЖДУНАРОДНАЯ СПУТНИКОВАЯ СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ ТЕРЯЩИХ БЕДСТВИЕ КОСПАС — САРСАТ

Система КОСПАС — САРСАТ разработана по правительственному соглашению совместно СССР, США, Канадой и Францией. Она включает две технически совместимые системы: Космическую систему поиска аварийных судов и самолетов — КОСПАС (СССР) и систему Search and Rescue Satellite Aided Tracking — SARSAT (САРСАТ), центры последней расположены в США и во Франции.

Система КОСПАС—САРСАТ включает в себя (рис. 32.4.1):

— аварийные радиобуи АРБ, включаемые при аварии корабля или самолета и передающие информацию о бедствии на искусственный спутник Земли;

— искусственные спутники Земли типа «Космос-1383» (СССР) и типа НОАА-8 (США), принимающие сигналы АРБ и передающие их на наземные пункты приема информации ППИ;

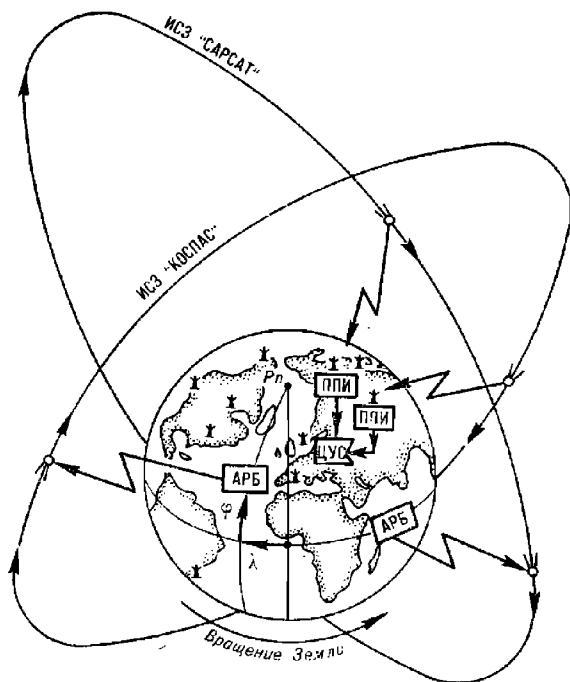


Рис. 32.4.1

— пункты приема информации, расположенные на территории нескольких государств, принимающие сигналы от ИСЗ и определяющие по ним географические координаты места аварии;

— центры управления системой КОСПАС (ЦУС-К) и системой САРСАТ (ЦУС-С), координирующие работу системы в целом и управляющие ее элементами, передающие информацию об авариях в службы поиска и спасания.

Термин «радиобуй» является обобщающим понятием, объединяющим источники аварийных радиосигналов различных типов: морские свободно плавающие буи или переносимые с корабля на спасательное средство; устройства, установленные в корпусе корабля или самолета и др. АРБ могут включаться человеком при аварийной ситуации или же срабатывать автоматически от датчика перегрузки, датчика поступления воды и иного признака аварии.

Специально разработанный для КОСПАС—САРСАТ радиобуй АРБ-406 непотопляем, имеет массу 4,5 кг и автономный долгодействующий источник питания, выполняет свои функции при температуре от -40° до $+50^{\circ}$ °С; может быть сброшен в море с высоты до 20 м или

может всплыть с глубины до 100 м. Включается автоматически, если он снят со штатных кронштейнов хранения.

После включения на частоте 406,025 МГц импульсами по 0,5 с интервалом в 50 с в течение 24 ч идет передача аварийного сообщения, а также в течение двух суток на частоте 121,5 МГц идет передача сигналов маломощной приводной станцией.

Аварийное сообщение с АРБ имеет постоянную часть информации, вводимую при установке АРБ на корабле, и сменную часть информации, вводимую при наступлении аварийной ситуации (если обстоятельства позволяют это сделать). Постоянная часть включает цифровой код страны — владельца АРБ, типа объекта (корабль, самолет и т. п.), названия объекта; если сменная часть информации не была введена, то передается время, прошедшее с момента включения АРБ. Сменная часть информации состоит из кода характера бедствия (пожар или др.) и координат места бедствия, вводимых вручную со специального пульта.

Сообщение с АРБ поступает на ИСЗ, проходящий в зоне радиовидимости (гл. 25). Предусмотрено, что в качестве АРБ могут использоваться обычные аварийные радиосредства, работающие на частоте 121,5 МГц. В зависимости от типа АРБ осуществляются два варианта трансляции их сигналов на ППИ: локальный или глобальный.

В локальном варианте ИСЗ выступает в роли ретранслятора сигнала АРБ на ППИ; при этом АРБ и ППИ одновременно находятся в зоне связи с ИСЗ. В глобальном варианте, при работе с АРБ-406, система охватывает всю поверхность Земли: сообщение с АРБ не только ретранслируется, но и записывается в запоминающем устройстве ИСЗ, а при прохождении в зоне связи передается на ППИ.

ИСЗ системы КОСПАС имеют те же орбитальные характеристики, что и навигационные ИСЗ типа «Космос-1000» (гл. 25). ИСЗ системы САРСАТ имеют высоту полета $h_n = 850$ км, наклонение орбиты $i = 98,6^\circ$ и период обращения $T_1 = 103$ мин. Радиус зоны связи составляет около 1400 миль (2600 км), а длительность сеанса связи около 3—14 мин, что позволяет получить от АРБ от 3 до 14 посылок сигналов. Любой ППИ принимает данные как от ИСЗ типа «Космос-1383», так и от ИСЗ типа НООА-8.

Созвездие из четырех ИСЗ системы КОСПАС — САРСАТ обеспечивает обнаружение сигнала АРБ не позднее чем через 3 ч после его включения, а в среднем — через 1 ч. Каждый ИСЗ способен одновременно зарегистрировать работу 20 радиобуев и всего на одном витке собрать и запомнить информацию от 200 АРБ.

Места обнаруженных аварий определяются на ППИ путем обработки полученных от ИСЗ данных не позднее чем за 20 мин. Для вычисления географических координат мест аварий используется доплеровский дифференциальный (радиально-скоростной) метод, рассмотренный в § 25.4; при этом для устранения двужначности обсервации используется эффект влияния вращения Земли на принимаемые ИСЗ сигналы АРБ. Эта навигационная задача решается при условии, что принято не менее трех посылок сигналов АРБ. При двух принятых посылках информация недостаточна и в ЦУС передаются лишь сведения о факте аварии и ее объекте. При работе АРБ-406 место аварии определяется с точностью до 3—5 км, а при работе с АРБ-121 — до 20 км.

Информация об аварии и ее месте передается в ЦУС-К или в ЦУС-С, а затем в поисково-спасательную службу соответствующей страны и региона. Порядок использования системы КОСПАС — САРСАТ кораблями ВМФ устанавливается командованием.

Раздел X

ОРГАНИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ
ШТУРМАНСКОЙ БОЕВОЙ ЧАСТЬЮ НА КОРАБЛЕ

Глава 33

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАВИГАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПЛАВАНИЯ КОРАБЛЯ

§ 33.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Обеспечение безопасности плавания является непременным условием успешного решения любой задачи, связанной с мореплаванием. Это же следует и из определения термина «кораблевождение» как единого процесса, обеспечивающего безопасное плавание и управление кораблем для достижения намеченных целей.

Управление кораблем непосредственно осуществляется командиром корабля, поэтому корабельный устав, тактические и специальные руководства ВМФ возлагают на командира корабля ответственность за безопасность кораблевождения и маневрирования корабля.

Командир штурманской боевой части является непосредственным помощником командира корабля по вопросам навигации и несет ответственность за точность следования корабля назначенным маршрутом, обеспечивающим навигационную безопасность плавания, за точность выработки навигационных параметров и за проведение гидрометеорологических наблюдений, результаты которых необходимы при использовании оружия и технических средств.

Наряду со штурманской боевой частью в решении отдельных задач по обеспечению безопасности плавания корабля принимают участие:

— боевая часть управления (радиотехническая служба), которая осуществляет контроль за точным следованием корабля по назначенному маршруту, соблюдением режима плавания и безопасностью плавания вблизи берегов и навигационных опасностей; обеспечивает с помощью радиотехнического вооружения выработку (измерение) необходимых навигационных данных;

— вахтенные офицеры, которые осуществляют контроль за точным следованием корабля по назначенному маршруту, соблюдением режима и безопасностью плавания, курсовой и широтной регулировкой тока в обмотках размагничивающего устройства, руководствуясь требованиями Корабельного устава ВМФ.

Навигационные расчеты и измерения, производимые штурманом по данным навигационных средств и средств наблюдения, являются основанием для принятия командиром решений при управлении кораблем. Командир корабля, полагаясь на расчеты, рекомендации и доклады штурмана, на свои собственные наблюдения и опыт, а также на данные боевой части управления (радиотехнической службы), назначает курс и скорость корабля при следовании по маршруту, а на подводных лодках — и глубину погружения.

Безопасность плавания зависит от того, насколько точно знает командир корабля и штурман положение корабля относительно нави-

гационных опасностей в любой момент времени, поэтому координаты места корабля должны быть известны с необходимой точностью также на любой момент времени. Следовательно, навигационная прокладка должна производиться непрерывно в течение всего похода с момента съемки корабля с якоря или швартовов и до постановки корабля на якорь или швартовы. Для исключения промахов и возможных погрешностей счисления штурман обязан систематически определять координаты места корабля, учитывать влияние внешних факторов, воздействующих на корабль, а при обнаружении невязок в счислении координат места корабля немедленно докладывать предложения командиру корабля о необходимости изменить курс, скорость корабля, а на подводных лодках — и глубину погружения.

Для надежности все виды счисления пути и обсерваций должны дублироваться, а точность работы навигационных средств и средств наблюдения — контролироваться.

Штурман обязан немедленно докладывать командиру корабля о всех сомнениях в точности места и в правильности учитываемых поправок технических средств навигации, о внезапном обнаружении навигационной опасности, а также о любых других факторах, могущих привести к аварии или нарушению правил плавания. Одновременно с этим штурман докладывает свои предложения, направленные на предупреждение аварийных происшествий.

Получив такой доклад, командир корабля обязан:

— изменить курс и уменьшить скорость или остановить движение (на подводных лодках — изменить глубину погружения или всплыть в крейсерское положение);

— стравить якорь до обнаружения опасной глубины (подводной лодке в надводном положении — принять дополнительный балласт) или стать на якорь;

— непрерывно измерять глубину под килем, осуществляя радиолокационное, гидроакустическое и визуальное наблюдение за окружающей обстановкой для обнаружения подводных, надводных и подледных опасностей;

— принять меры для надежного определения места и вызвавших сомнения поправок технических средств навигации;

— продолжать движение только после того, как лично убедится в безопасности плавания.

Командир корабля, штурман, вахтенный офицер и лица, их замещающие, обязаны знать и уметь принимать и другие меры безопасности плавания в различных условиях обстановки.

Общеприятными мерами обеспечения безопасности плавания вблизи берега и навигационных опасностей, а также в малую видимость, в дополнение к вышеуказанным, являются:

— повышение готовности главного командного пункта корабля (ГКП), штурманской и электромеханической боевых частей, боевой части управления (радиотехнической службы), установление прямой связи ГКП с постами управления машинами и рулем, усиление технического и зрительного наблюдения, а в некоторых случаях и объявление боевой тревоги на корабле;

— снижение скорости хода до безопасной;

— тщательный анализ навигационной обстановки, максимальная точность счисления и определения координат места корабля всеми возможными способами и средствами, измерение расстояний до навигационных опасностей;

— подъем всех подъемно-спускных и буксируемых забортных устройств при подходе к берегу и плавании на малых глубинах;

— запрещение переключения источников питания электроэнергией средств, связанных с управлением кораблем;

— включение, подъем и подача установленных международными правилами сигналов.

Безопасность плавания находится в прямой зависимости от уровня организации службы и четкости взаимодействия между командиром корабля, штурманом и вахтенным офицером.

Таким образом, общими требованиями и критериями обеспечения навигационной безопасности плавания являются:

— полнота и достоверность сведений о навигационной обстановке в районе плавания;

— полнота, точность и своевременность навигационных измерений и расчетов, анализа навигационной прокладки и анализа обсерваций;

— точность и надежность работы технических средств навигации и средств наблюдения;

— высокая степень организации наблюдения и организации службы на главном командном пункте и командных пунктах штурманской, электромеханической боевых частей и боевой части управления (радиотехнической службы);

— правильность и своевременность выполнения маневра корабля и мер по обеспечению навигационной безопасности плавания.

§ 33.2. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ ГЛАВНОГО КОМАНДНОГО ПУНКТА (ГКП) КОРАБЛЯ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ КОРАБЛЕВОЖДЕНИЯ

Организация работы ГКП при решении задач кораблевождения основана на взаимодействии ряда должностных лиц, выполняющих свои обязанности по корабельному расписанию и другим документам, регламентирующим боевую и повседневную деятельность корабля.

Безопасность плавания находится в прямой зависимости от уровня организации службы и четкости взаимодействия между командиром корабля, штурманом и вахтенным офицером.

Управляя кораблём, командир корабля руководствуется своим опытом, знанием морского театра, данными штурманской боевой части и технических средств наблюдения. Систематически, лично определяя место корабля, командир контролирует работу штурмана, предупреждая возможные промахи, которые могут привести к тяжелым последствиям.

Непосредственным помощником командира корабля в вопросах маневрирования и управления кораблем является вахтенный офицер. Через вахтенного офицера командир корабля назначает курс и скорость корабля, а на подводных лодках — и глубину погружения. Вахтенному офицеру дано право в исключительных случаях, грозящих кораблю опасностью (во избежание столкновения с другим кораблем, при обнаружении внезапной навигационной опасности, для уклонения от внезапных атак противника), изменить курс и скорость корабля без разрешения командира корабля с немедленным докладом ему о принятых мерах.

На ходу корабля вахтенный штурман, являясь непосредственным помощником командира корабля по обеспечению точного и безопасного плавания, должен докладывать на ГКП командиру корабля или лицу, его замещающему, и вахтенному офицеру следующую информацию:

— очередной курс, время поворота (за 5 мин, за 1 мин и в момент поворота), при необходимости — рекомендуемый угол перекладки руля;

— после окончания поворота на новый курс — поправку курсоуказателя и величину суммарного сноса, расчетное время движения новым курсом, а также расчетное время поворота на очередной курс и его значение;

— время входа в заданный район, узкость, прибытия в точку якорной стоянки, прохода контрольных рубежей и точек, открытия радиовахты для прослушивания информации о морской и навигационной обстановке и связи с пунктами управления движением, береговыми радиотехническими подразделениями соединений, администрацией иностранных портов и т. д. — за 30 мин, за 15 мин и в момент наступления события, если не назначен другой срок;

— данные для обеспечения навигационной безопасности плавания: ограждающие и поворотные пеленги, расстояния, глубины и т. д. — после каждого изменения курса и по запросу;

— данные навигационно-гидрографической и гидрометеорологической обстановки по району плавания — по запросу;

— поправки, которые необходимо учитывать при управлении кораблем (поправки курсоуказателя, лага, магнитного компаса, углы дрейфа, сноса течением и т. д.), — после каждого изменения курса, скорости и значения учитываемых поправок;

— время восхода Солнца и его захода — за 15 мин до наступления явления, другие элементы освещенности — по необходимости;

— время пересечения границ часовых поясов и необходимость перевода стрелок судовых и наручных часов;

— о пересечении границ зон регулирования силы тока в обмотках размагничивающего устройства и назначение новых значений силы тока.

В совместном плавании, получив сигнал об изменении курса, штурман (вахтенный штурман) должен убедиться в безопасности нового курса и доложить командиру (вахтенному офицеру) необходимые данные навигационной обстановки.

В случае если при совместном плавании штурман обнаружит, что путь соединения ведет к опасному району, он должен немедленно доложить об этом командиру корабля или лицу, его замещающему, на ГКП и вахтенному офицеру.

Штурман с разрешения командира корабля может подавать команды на руль непосредственно рулевому при плавании по створам, в узкостях, при боевом тралении, при выходе в точку постановки на якорь.

В случае непредвиденного изменения курса или задержки с поворотом на назначенный курс штурман обязан немедленно оценить степень безопасности плавания корабля и доложить командиру корабля (вахтенному офицеру) предложения по возвращению на назначенный маршрут или расхождению с навигационными опасностями.

Вахтенный офицер обязан информировать штурмана:

— о начале и окончании поворота на новый курс, изменении скорости, начале и окончании изменения глубины погружения пл с указанием их новых значений, а в тех случаях, когда поворот корабля или изменение глубины погружения пл осуществляются не по предложению штурмана, — их причину;

— об изменении режима использования средств движения;

— об изменении режима управления рулями;

— о полученных приказах, связанных с изменением курса строя (ордера) или места корабля в нем, а также о назначении скорости или диаметра циркуляции при совместном плавании;

— о появлении и скрытии берегов и средств навигационного ограждения;

— о резких изменениях гидрометеорологической обстановки (направлении и скорости ветра, видимости, облачности и т. д.);

— о подъеме и опускании забортовых устройств (гидроакустических средств, тралов, охранителей и т. д.).

В общей организации ГКП важное место в решении отдельных навигационных задач под руководством командира корабля в обеспечении навигационной безопасности плавания занимает боевая часть управления (радиотехническая служба), используя боевой информационный пост (БИП).

БИП ведет наблюдение за обстановкой и анализирует ее. При выходе из пункта базирования, порта, места якорной стоянки или при входе в них, плавании вблизи берегов, навигационных опасностей и в узкостях по данным РЛС, ГАС и береговых радиотехнических подразделений в обязанности расчета БИП входит определение места корабля, расстояния и времени движения до точек поворота на очередные курсы, до назначенного рубежа или района, определение траверзных расстояний до берега и отражающих изобат, отклонения от назначенного маршрута и графика движения по нему. Указанный контроль ведется с использованием путевых навигационных карт и планов-планшетов, изготовленных специально для типовых пунктов базирования.

Планы-плашеты изготавливаются силами боевой части управления (радиотехнической службы) в масштабе, наиболее удобном для использования радиометристами и гидроакустиком. На планы-плашеты наносят намеченный (рекомендованный) путь корабля, подштриховывают темным цветом приметные радиолокационные ориентиры и отражающие изобаты. Наносят дуги ограждающих (опасных), поворотных и траверзных дистанций, а также сетки пеленгов и дистанций для определения места по приметным ориентирам.

При плавании на большом удалении от берега и навигационных опасностей в обязанности расчета БИП входит контроль по карте обстановки с использованием данных штурмана, соблюдение назначенного маршрута и графика движения.

Вахтенный офицер БИП обязан немедленно доложить командиру корабля и штурману о появлении любых сомнений в навигационной безопасности плавания, о значительном расхождении контролируемых навигационных данных с данными штурмана, об отклонениях от назначенного маршрута или графика движения, превышающих допустимые значения, о мерах, принятых для предотвращения непосредственной опасности посадки корабля на мель.

В остальных случаях результаты контроля навигационной безопасности плавания корабля вахтенный офицер БИП (старшина вахты) докладывает командиру корабля в назначенное им время.

Важной обязанностью расчета БИП является анализ надводной обстановки: определение, какие из обнаруженных целей являются опасными, времени и дистанции расхождения с ними, выдача предложений по маневрированию для расхождения со встречными целями на безопасном расстоянии, контроль за выполненным маневром.

Штурман (вахтенный штурман) может привлекаться к выполнению расчетов расхождения со встречными целями в простых навигационных условиях.

В совместном плавании при выполнении перестроений, изменении курса соединением штурман по приказанию командира корабля может оказывать помощь вахтенному офицеру БИП в производстве расчетов маневрирования.

§ 33.3. МЕРЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ОШИБОК И ПРОМАХОВ В РАБОТЕ ШТУРМАНСКОЙ БОЕВОЙ ЧАСТИ ПРИ ПЛАВАНИИ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ОБСТАНОВКИ

Опытные мореплаватели не без оснований утверждают, что нет аварийности оправданной и неизбежной. Аварии и условия для их возникновения создают люди своей неорганизованностью и безграмотностью, а иногда и безответственным отношением к своим обязанностям по обеспечению безаварийного плавания корабля или судна. Известно высказывание академика А. Н. Крылова о том, что «часто истинная причина аварий лежит не в действиях неотвратимых и непреодолимых сил природы, не в неизбежных случайностях в море, а в непонимании основных свойств и качеств корабля, несоблюдении правил службы и самых простых мер предосторожности, НЕПОНИМАНИИ опасности, в которую корабль ставится, в небрежности, неосторожности, отсутствии предусмотрительности.»*

В чем практически и чаще всего проявляется такая небрежность и неосмотрительность на корабле во время плавания?

Чаще всего это проявляется в действиях командира корабля и штурмана, которые во время плавания:

— определяют место корабля по недостаточно надежно опознанным ориентирам;

— ограничиваются при определении места корабля двумя линиями положения, что не позволяет обнаружить наличие ошибок и промахов в наблюдениях;

— принимают для дальнейшего счисления пути корабля из нескольких наблюдений ту, которая оказалась ближе к счислимому месту, без дополнительной проверки ее достоверности другими способами;

— выполняют расчеты, связанные с определением места корабля и элементов его движения, без контрольной проверки этих расчетов для исключения возможных промахов и ошибок;

— ведут счисление пути корабля по приборам, поправки которых длительное время не определялись;

— принимают решение на выполнение маневра корабля курсом или скоростью без предварительной проверки их безопасности по навигационной карте;

— плавают на глаз в районах со сложными навигационно-гидрографическими условиями без тщательного ведения счисления и производства наблюдений с дискретностью, обеспечивающей безопасное плавание;

— допускают нарушение установленного (объявленного) режима плавания в специальных районах, расположенных вблизи маршрута перехода корабля;

— не принимают надлежащих мер предосторожности при проходе вблизи навигационных опасностей;

— не ведут контроль за глубиной под килем корабля, особенно вблизи берегов, мелей, в малоизученных районах, а также в зонах повышенной вулканической деятельности;

* Собрание трудов академика А. Н. Крылова, т. 1, ч. 2. Издательство АН СССР. М.: Л., 1951, с. 62.

— не учитывают сведений, передаваемых по радио, об изменении навигационной обстановки в районе плавания корабля;

— не выполняют правил и рекомендаций МППСС—72 или допускают неоправданный риск при выполнении маневра расхождения с встречными судами, особенно в тумане или при пониженной видимости;

— не принимают надлежащих мер предосторожности при плавании во льдах;

— не учитывают прогнозируемую и фактическую погоду штормового характера и др.

Перечисленные выше упущения, безрасчетные действия и неоправданный риск при управлении кораблем являются главными причинами аварий и аварийных происшествий навигационного характера, поэтому нельзя добиться ликвидации навигационной аварийности кораблей и судов или ее резкого снижения без устранения причин, порождающих эту аварийность.

Уставное требование к командиру корабля в части контроля за работой штурмана для предупреждения возможных промахов штурманской боевой части предполагает необходимость и обязательность высокого уровня подготовки командира корабля по кораблевождению.

Общие рекомендации командиру корабля в части контроля за работой штурмана в море сводятся к следующему.

1. В прибрежном плавании, плавании в узкости:

— ручная графическая прокладка должна вестись на карте самого крупного масштаба: при этом графическое счисление пути должно быть непрерывным и особенно тщательным;

— частота определений места штурманом должна быть не реже чем через 20—30 мин. Такая частота обсерваций не только удовлетворяет требованиям точности плавания, но и позволяет контролировать правильность учета элементов дрейфа и течения, а также облегчает опознавание побережья и навигационных ориентиров; в некоторых случаях требуется производить обсервации через интервалы времени меньше 20 мин. Конкретное значение интервала рассчитывается по формуле

$$t \leq \frac{1,4 \cdot \sqrt{M_d^2 - \hat{M}_0^2}}{K_c},$$

где M_d — допустимая (заданная) погрешность в знании своего места во время плавания;

\hat{M}_0 — предельная погрешность обсервованного места;

K_c — коэффициент счисления;

— перед поворотом на новый курс и после его окончания должно быть определено место корабля с использованием не менее трех линий положения; при этом способы определения места должны чередоваться (определения по визуальным пеленгам с определениями по радиолокационным дистанциям и т. д.);

— при появлении сомнения в точности места надлежит уменьшить или застопорить ход и лично командиру корабля определить место наиболее точным способом. Продолжение движения допустимо лишь после уяснения причины ошибок в месте и расчете маневра для выхода из опасной зоны;

— убедившись в достоверности своей обсервации, командир корабля должен дать указание, если это необходимо, о корректуре курса для выхода на назначенный маршрут;

— периодически, в зависимости от обстановки, необходимо контролировать место корабля по карте штурмана, проверять положение корабля относительно рекомендованного курса, зоны (линии) разделения, не допускать выхода на сторону встречного движения;

— при плавании вблизи навигационных опасностей, при подходе к берегу и в узкости проверить, находится ли командир штурманской боевой части на своем командном пункте.

2. При плавании в открытом море:

— лично определять место корабля не реже одного раза в сутки, а также в случаях, если имеется сомнение в достоверности наблюдений штурмана;

— при невозможности лично определить место корабля проверить прокладку штурмана и утвердить счислимые координаты, проверив по этому соответствие глубины, снятой с карты, глубине, измеренной эхолотом; правильность последней, принятой для счисления наблюдения; отсутствие промахов в прокладке пройденного расстояния с учетом поправки лага; правильность учета дрейфа и течения; соответствие скорости по лагу скорости по оборотам машины; правильность учета показаний и поправок основных и резервных курсоуказателей; на кораблях с навигационными комплексами — соответствие счислимого места на карте координатам основного вида автоматического счисления.

Записи личных определений места командиром корабля, утвержденных координат, замечания по ведению навигационного журнала, указания на ошибки штурмана командир должен делать собственноручно за своей подписью в навигационном журнале цветным карандашом или чернилами.

Контроль за работой даже опытного штурмана — не недоверие к нему, а служебная обязанность командира корабля, метод воспитания и залог безопасности плавания.

При ведении навигационной прокладки применяются путевые карты, откорректированные на день плавания, с папесенной на них дополнительной информацией, не впечатанной при издании или не объявленной в извещениях мореплавателям. При использовании для плавания в открытом море карт-сеток их оцифровка по долготе должна быть произведена с особой тщательностью, обязательно на верхней и нижней рамках карты-сетки. Промахи в оцифровке приводят к значительным, более 10 миль, ошибкам в счислении.

При ведении прокладки обращается внимание на правильность фиксации, определения и учета курса, скорости, глубины погружения подводной лодки, поправок курсоуказателей и лагов, прокладки направлений и расстояний, на правильное определение и учет дрейфа и течения.

Заданный курс контролируется по другим курсоуказателям; допустимые расхождения не должны превышать суммы предельных погрешностей курсоуказателей в данных условиях плавания.

Точность и надежность работы относительных лагов контролируется сравнением расстояний, проходимых кораблем между наблюдениями, полученными высокоточными методами, с расстояниями, пройденными по лагу и исправленными поправкой лага, а также по показаниям гидроакустического лага.

При наличии одного лага расстояние, пройденное по лагу, сравнивается с расстоянием, пройденным по числу оборотов движителей, или с расстоянием, измеренным по карте между последовательными высокоточными наблюдениями.

Точность счисления контролируется сравнением координат счислимого места ручной графической прокладки с данными автоматического счисления. Согласование шкал счислителей, положения каретки на планшете автопрокладчика или показаний цифровых индикаторов СЦВМ и корректуру счисляемых координат производят только после точных и надежных обсерваций или расчета вероятнейшего места. Вероятнейшие счисляемые координаты рассчитывают при длительном плавании по счислению на каждый час плавания, используя данные автоматического счисления, СЦВМ, ИНС и т. п.:

$$\varphi_{св} = \frac{\sum_{i=1}^n (p_{\varphi_i} \varphi_{c_i})}{\sum_{i=1}^n p_{\varphi_i}}; \quad \lambda_{св} = \frac{\sum_{i=1}^n (p_{\lambda_i} \lambda_{c_i})}{\sum_{i=1}^n p_{\lambda_i}},$$

где φ_{c_i} , λ_{c_i} — координаты данного вида счисления;

p_{φ_i} , p_{λ_i} — веса координат по видам счисления.

Весовые характеристики видов счисления рассчитываются через коэффициенты точности счисления:

$$p_{\varphi_i} = \frac{1}{K_{c_{\varphi}}^2}; \quad p_{\lambda_i} = \frac{1}{K_{c_{\lambda}}^2}$$

или

$$p_{\varphi_i} = p_{\lambda_i} = \frac{1}{K_c^2},$$

где $K_{c_{\varphi}}$, $K_{c_{\lambda}}$ — коэффициенты точности счисления широты и долготы; K_c — коэффициент точности счисления, характеризующий погрешность в координатах.

Наиболее эффективным методом контроля точности и надежности счисления являются обсервации, которые необходимо производить с помощью наиболее точного технического средства, одновременно применяя для контроля другие средства. Частота обсерваций должна обеспечивать заданную точность плавания.

При плавании в открытом море при избыточных обсервациях, выполненных в течение короткого интервала времени, вероятнейшие координаты предпочтительнее рассчитывать не осреднением координат точек обсерваций, полученных различными способами, а путем совместной обработки линий положения аналитическим или графоаналитическим способом с учетом точности каждой линии положения. Точность вероятнейшего места в этом случае повышается за счет более полной компенсации случайных и уменьшения влияния повторяющихся погрешностей. Разнородность и избыточность измерений позволяют обнаружить промахи в измерениях и повысить надежность обсерваций. При ограниченном числе линий положения ($n < 3$) в обработке используют и координаты счисляемого места на момент, к которому приводятся линии положения.

Обработка завершается расчетом средних квадратических или предельных погрешностей и анализом невязок. Надежные обсервации принимаются за исходные для дальнейшего счисления. Обсервованные координаты или поправки к счисляемым координатам вводятся в системы автоматического счисления или СЦВМ.

При отсутствии навигационных СЦВМ расчеты вероятнейших координат и их точности, а также статистическую обработку невязок реко-

мендуется производить с помощью программируемых ЭКВМ типа «Электроника БЗ-34» и др.

Погрешности, обусловленные психофизиологическими факторами, проявляются в виде промахов, из которых наиболее распространены промахи:

- в определении моментов времени, соответствующие 12 ч;
- в фиксации и прокладке направлений (1, 10, 180°);
- в фиксации отсчета лага;
- в измерении расстояний по вертикальной рамке карты (1 или 10 миль);
- в долготе места (30' или 1°) и в знаке долготы при вычислениях;
- в снятии отсчетов при измерении расстояний с помощью РЛС (смешивание диапазона шкал и их оцифровки);
- в определении поправок точных измерителей времени (30 с, 1 мин);
- в нанесении счислимго места при переходе с карты на карту.

3. При расхождении с встречными судами в море:

— помнить, что МППСС—72 — это не сборник рекомендаций, а закон для мореплавателей всего мира, поэтому его надо твердо знать и неукоснительно выполнять;

— требовать, чтобы все офицеры корабля, привлекаемые к несению ходовой вахты, также безукоризненно знали МППСС—72 и умели при отсутствии командира корабля на мостике своевременно принимать правильные решения на маневр расхождения с встречным судном;

— организовать и поддерживать в течение всего времени нахождения корабля в море надежное наблюдение за внешней обстановкой, обеспечивающее своевременное обнаружение встречных судов и исключение опасного сближения с ними;

— тщательно анализировать характер маневрирования каждого встречного судна сразу после его обнаружения не только глазомерно, но и с использованием технических средств наблюдения и маневренного планшета;

— помнить, что чем раньше обнаружена встречная цель и определены элементы ее движения, тем легче выполнить маневр расхождения с ней;

— действовать без промедления и решительно в тех случаях, когда по каким-либо причинам расстояние до встречного судна сократилось до опасного; помнить, что судьбу корабля могут решить секунды и метры; в этих случаях рекомендуется застопорить ход, дав машинами «полный назад», а если позволяют глубины, то и отдав якорь; после остановки корабля следует разобраться в обстановке и только после этого продолжать движение;

— строго выполнять требования и рекомендации, относящиеся к плаванию кораблей в условиях тумана и плохой видимости; с этой целью уменьшить скорость хода до умеренной, включить РЛС и ГАС, включить ходовые огни и выставить впередсмотрящего, предупредить вахту в машинном отделении о повышении готовности к даче заднего хода и другим реверсам, начать подачу звуковых сигналов, предусмотренных МППСС—72, изготовить якоря к отдаче, задраить люки и водонепроницаемые двери в переборках, установить на мостике режим тишины;

— избегать районов оживленного судоходства, скопления промысловых судов и районов со сложными навигационно-гидрографическими

условиями, ограничивающими возможности выполнения маневра расхождения.

4. При швартовке и постановке на якорь:

— перед постановкой на якорь или швартовкой заблаговременно выполнить предстоящий маневр мысленно на карте с учетом фактических погодных условий;

— всегда помнить, что выполнением маневра постановки корабля на якорь или швартовки занимается не один командир корабля, а весь его экипаж;

— всегда необходимо учитывать уровень подготовки личного состава, стоящего на вахте у машин и руля; необходимо помнить, что рукоятка машинного телеграфа — еще не гребные вянты, команда на руль — еще не поворот — учитывать время на отработку команды и инерцию корабля;

— если маневр не удался, то лучше отойти и повторить его, но не пытаться «выкрутиться» из создавшегося сложного положения (чувство ответственности за корабль должно быть несравненно сильнее чувства стыда перед экипажем корабля за неудачный маневр);

— помнить, что поправка на ветер редко бывает чрезмерной, гораздо чаще она недостаточна;

— завершив маневр, следует проанализировать его, чтобы избежать повторения допущенных ошибок при выполнении аналогичного маневра в следующий раз.

5. При плавании в штормовых условиях и в тумане:

— перед выходом в море следует уточнить прогноз погоды в районе на период предстоящего плавания; если позволяют обстоятельства — переждать опасную ситуацию;

— следить за фактической и прогнозируемой погодой не только в районе плавания корабля, но и в примыкающих к нему районах;

— получив штормовое предупреждение, оценить безопасность стоянки или дальнейшего движения намеченным маршрутом, продумать маневр и время съёмки и выхода из базы или уклонения от шторма; проверить готовность корабля к плаванию в штормовых условиях;

— своевременное уклонение от встречи с сильным штормом свидетельствует о похвальной предусмотрительности командира, а не о боязни штормового моря;

— путь через штормовой район, даже если он прямой, не всегда самый короткий; использовать наиболее благоприятные для своего корабля курсы и скорости относительно волны и ветра, продуманно назначать курс и скорость при плавании в шторм и при сильном волнении;

— при изменении курса в штормовую погоду необходимо учитывать возможные последствия, вызываемые совместным действием руля, ветра и волны;

— при постановке на якорь следует помнить о возможном шторме: оценить грунт, глубину, запас чистой воды и в зависимости от этого назначить готовность корабля к съёмке с якоря;

— помнить о том, что штормовать в море всегда безопаснее, чем стоять во время шторма на якоре или у стенки;

— твердо знать и неукоснительно выполнять требования, правила и рекомендации по штормовым готовностям.

Приведенные выше меры носят общий характер, поэтому на каждом соединении, с учетом конкретных особенностей базирования, мореход-

ности и штурманского оснащения кораблей, применительно к основным типам погодных условий, должны быть разработаны рекомендации по постановке на якорь и съемке с якоря, маневрированию при выходе из базы и входе в нее, швартовке к пирсу, кораблю или постановке на бочку.

Схемы вариантов маневрирования должны постоянно находиться на ГКП, чтобы командир корабля и вахтенный офицер смогли ими пользоваться и при принятии решения на маневр, и при его выполнении.

Указанные общие требования к обеспечению навигационной безопасности, некоторые конкретные рекомендации и рекомендации общего характера, не претендуя на полный охват всей проблемы обеспечения навигационной безопасности, показывают метод, подход, пути ее решения.

Выполнение их с учетом конкретной обстановки, условий, опыта командира корабля, штурмана, вахтенных офицеров и всех лиц, имеющих отношение к кораблевождению, является надежной гарантией обеспечения навигационной безопасности плавания.

§ 33.4. КОНТРОЛЬ ЗА РАБОТОЙ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НАВИГАЦИИ КОРАБЛЯ ВО ВРЕМЯ ПЛАВАНИЯ

Надежность выработки навигационных данных, необходимых для обеспечения безопасности плавания и эффективного применения кораблем оружия в море, обеспечивается:

— эксплуатацией ТСН в строгом соответствии с требованиями инструкций;

— грамотным использованием систем встроенного контроля работы ТСН;

— проверкой точности вырабатываемых навигационных данных всеми допустимыми в данной обстановке способами.

Системы встроенного контроля ТСН включают:

1) устройство световой сигнализации, свидетельствующей о нормально функционирующих системах и приборах, появляющихся отказах и неисправностях, о переключениях вышедших из строя приборов на резервные;

2) устройства световой сигнализации, определяющие временную последовательность действий оператора при запуске приборов систем и комплексов;

3) устройства звуковой сигнализации о появлении отказов, неисправностей или нарушении правильности функционирования отдельных узлов, блоков и элементов;

4) контрольно-измерительные приборы, служащие для контроля текущих значений напряжения, силы и частоты тока, температуры воды и воздуха, давления воздуха и воды в магистральных приборах.

На штурманский пульт выводится важнейшая световая информация о работающих навигационных системах и приборах, о неисправностях и сбоях в их работе, а также обобщенный сигнал, свидетельствующий о наличии неисправности хотя бы в одном приборе или системе навигационного комплекса. Более подробная световая информация выводится на пульты технического обслуживания или на пульты операторов, размещенных в гиропосту и предназначенных для включения, вывода на режим ТСН, контроля за их работой и индикации неисправностей работы систем.

На более простые по функциональному содержанию пульты выводится ограниченная световая информация о работе систем, приборов и обобщенного сигнала неисправности.

Таблица 33.4.1

Наименование ТСН	Контролируемые приборы, режимы, параметры и их значения	Кто контролирует	Место контроля
Гирокомпас	<p>Контроль постоянной поправки гирокомпаса</p> <p>Сличение показаний гирокомпаса с магнитным компасом (или другим курсоуказателем)</p> <p>Сличение показаний репитеров курса с показаниями основного прибора гирокомпаса</p> <p>Контроль напряжений питания гирокомпаса</p> <p>Контроль рабочих токов</p> <p>Контроль температуры поддерживающей жидкости</p> <p>Контроль положения гиросферы по высоте</p> <p>Контроль уровня воды в помпе системы охлаждения</p> <p>Контроль работы помпы системы охлаждения (по звуку)</p> <p>Контроль световой и звуковой сигнализации</p>	<p>Вахтенный штурман (при заступлении на вахту)</p> <p>Вахтенный рулевой (при заступлении на вахту)</p> <p>Вахтенный штурманский электрик (при заступлении на вахту)</p> <p>Вахтенный штурманский электрик (каждые 15 мин)</p> <p>То же</p> <p>» »</p> <p>» »</p> <p>» »</p> <p>» »</p> <p>» »</p>	<p>Штурманская рубка</p> <p>ГКП</p> <p>КП и БП корабля</p> <p>Гиропост</p> <p>»</p> <p>»</p> <p>»</p> <p>»</p> <p>»</p>
Гидродинамический лаг	<p>Проверка точности работы часового регулятора</p> <p>Проверка узла пройденного расстояния</p> <p>Проверка точности трансляции скорости и пройденного расстояния</p> <p>Проверка гидравлической системы лага</p> <p>Проверка суточного хода часового регулятора</p> <p>Проверка наличия питания</p> <p>Проверка соответствия вырабатываемой скорости числу оборотов винтов</p> <p>Проверка переключателя корректоров подводного и надводного положений</p>	<p>Вахтенный штурманский электрик</p> <p>То же</p> <p>» »</p> <p>» »</p> <p>Старшина команды</p> <p>Вахтенный штурманский электрик</p> <p>То же</p> <p>» »</p>	<p>Центральный прибор (ЦП)</p> <p>То же</p> <p>ЦП, репитеры</p> <p>Воздухосборатель</p> <p>ЦП</p> <p>»</p> <p>»</p> <p>»</p>

Продолжение табл. 33.4.1

Наименование ТСН	Контролируемые приборы, режимы, параметры и их значения	Кто контролирует	Место контроля
Индукционный лаг	<p>Проверка соответствия вырабатываемой скорости числу оборотов винтов</p> <p>Проверка переключателей корректоров подводного и надводного положений</p>	<p>Вахтенный штурман (каждый час)</p> <p>То же</p>	
Автопрокладчик	<p>Проверка питающих напряжений</p> <p>Проверка точности прокладки пути корабля</p> <p>Проверка установки диапазона масштабов и значения экваториального масштаба</p> <p>Проверка ведения графической прокладки на карте и положения каретки АП</p> <p>Проверка правильности установки поправок курса и скорости, направления и скорости течения</p> <p>Проверка указателя наименования счислимой широты (долготы)</p>	<p>Штурманский электрик</p> <p>Вахтенный штурман</p> <p>То же</p> <p>> ></p> <p>> ></p> <p>> ></p>	<p>Пр. 108</p> <p>П-1, П-2</p> <p>П-2</p> <p>П-1</p> <p>></p> <p>></p>
Эхолот	<p>Проверка сопротивления изоляции цепи питания</p> <p>Контроль напряжения сети (судовой)</p> <p>Контроль оборотов электродвигателя</p> <p>Контроль работы цифрового указателя глубин у эхолотов</p> <p>Контроль за четкостью записи глубин и оперативной отметки</p> <p>Контроль за показаниями глубин (сличение с картой)</p>	<p>Штурманский электрик</p> <p>То же</p> <p>> ></p> <p>> ></p> <p>> ></p> <p>Штурман</p>	<p>Блок питания и вибраторы</p> <p>Блок питания</p> <p>Указатель и самописец</p> <p>Указатель</p> <p>Самописец</p> <p>Штурманская рубка</p>

Таблица 33.4.2

Наименование ТСН	Контролируемые приборы, режимы, параметры и их значения	Кто контролирует	Место контроля
Радиопелепегатор АРП-53	Напряжение в цепи питания 127 В, 50 Гц. Допуск $\pm 5\%$	Командир ЭНГ (БЧ-1)	Контрольно-распределительный щиток
	Анодное напряжение 210 и 110 В. Допуск $\pm 10\%$	То же	То же
	Тормозное напряжение 10—20 В	» »	» »
	Напряжение переменного тока 100 В, 40 Гц. Допуск $\pm 35\%$	» »	» »
Радиопелепегатор «Румб»	Напряжение в цепи питания 127 В, 50 Гц. Допуск $\pm 5\%$	Командир ЭНГ (БЧ-1)	Блок питания
Корабельный приемондикатор КПИ-4	Работоспособность по наличию «шумовой» дорожки на экране ЭЛТ	Командир ЭНГ (БЧ-1)	Индикатор
	Точность работы системы автоматического слежения. Допуск ± 2 мкс	То же	»
Корабельный приемондикатор КПИ-5Ф	Работоспособность блоков КПИ-5Ф согласно таблице контроля	Командир ЭНГ (БЧ-1)	РР-2
Корабельный приемондикатор КПИ-7Ф	Точность работы I и II каналов в режиме «Контроль»	Командир ЭНГ (БЧ-1)	РР-8
Приемондикатор «Пирс-1Д»	Положение нуля грубого и точного каналов	Командир ЭНГ (БЧ-1)	Индикатор
Корабельный приемондикатор КПФ-2	Правильность включения антенн (вертикальной или рамочной)	Командир ЭНГ (БЧ-1)	Приемник
	Правильность установки сети питания 220 В, 50 Гц	То же	»
	Правильность включения диапазонов и тумблеров частотных каналов согласно таблице настройки	» »	Пульт управления
	Положение нуля индикаторов точного и грубого каналов	» »	Индикатор

Продолжение табл. 33.4.2

Наименование ТСН	Контролируемые приборы, режимы, параметры и их значения	Кто контролирует	Место контроля
Корабельный приемник-индикатор КПФ-3К	Правильность включения антенны	Командир ЭНГ (БЧ-1)	Блок антенны (рабочий входной)
	Правильность установки колодки сети питания 220, 127, 115 В, 400 Гц	То же	Блок питания
	Правильность включения тумблера «Группа частот» согласно объявленному режиму работы цепи РНС	» »	Индикатор
	Точность нулевого положения индикатора в режиме «Контроль»	» »	»
Приемник-индикатор АДК-3	Правильность подключения антенн (фицерного устройства)	Командир ЭНГ (БЧ-1)	Приемное устройство
	Автономная проверка СЦВМ (режим К0)	То же	Стойка
	Общая проверка (режим К1)	» »	»
Навигационная радиолокационная станция «Волга»	Напряжение в цепи питания 220 В, 400 Гц	Командир ЭНГ (БЧ-1)	Пульт управления прибора 4И
	Общие напряжения —27, —150, —250, +150, +250, +300, +450 В	То же	То же
	Точность трансляции курса на шкалы приборов И и ВИ и блока «Пальма»	» »	Приборы И, ВИ и блок «Пальма»
	Величина тока магнетрона на шкалах дальности: 1, 2,5 и 5 миль — 6,5÷8 мА; 15—20 миль — 15÷18,5 мА	» »	Пульт управления прибора И
	Величина тока магнетрона в режиме «Маяк» (на всех шкалах дальности)	» »	То же

Примечания: 1. Все радиопеленгаторы, кроме того, проверяются на соответствие сопротивления рамки паспортным данным и на равенство электрических плеч рамки. Периодически проверяется надежность заземления антенн всех приемников-индикаторов и АП.

2. Контроль постоянной поправки радиопеленгатора производится штурманом путем приведения пеленгуемой радиостанции (или РМк) на курсовой угол 0° и сравнением измеренного радиопеленга с направлением, проложенным из счислимого места корабля на радиостанцию, исправленным ортодромической поправкой.

3. Приемники-индикаторы РНС проверяются также на стабильность инструментальных поправок и постоянство введенных кодовых задержек.

Командир БЧ-1 и личный состав электронavigационной группы должны хорошо знать систему контроля работы ТСН и поддерживать ее в постоянной исправности.

При появлении на штурманском пульте сигнала неисправности командир БЧ-1 должен реагировать незамедлительно, требуя доклада от командира группы (старшего, несущего вахту в гиропосту) о характере неисправности, и после анализа обстановки принять решение об изменении режима работы ТСН, переключении неисправно работающих приборов и систем на исправные (резервные), выключении неисправного прибора и проведении работ по отысканию неисправностей, настройке и регулировке ТСН.

Личный состав должен немедленно докладывать командиру БЧ-1 о всех сигналах неисправности. Основные контролируемые величины и параметры наиболее распространенных на кораблях ТСН показаны в таблице 33.4.1.

Кроме указанных в таблице способов контроля, командир БЧ-1 должен предусматривать использование и других инициативных мер, обеспечивающих выработку навигационных данных с точностями, оговоренными в технических условиях.

Для проверки работоспособности цифровых вычислительных машин и отдельных устройств корабельных приемодиагностических устройств, а также отыскания неисправностей рекомендуется использовать встроенные системы контроля. В табл. 33.4.2 показаны основные корабельные приемодиагностические устройства, в которых система встроенного контроля используется для проверки работоспособности важнейших устройств и для отыскания неисправностей.

Глава 34

РЕКОМЕНДАЦИИ КОМАНДИРУ КОРАБЛЯ ПО МЕТОДИКЕ ПРОВЕРКИ РАБОТЫ КОМАНДИРА БЧ-1

§ 34.1. ОСНОВНЫЕ ОБЯЗАННОСТИ КОМАНДИРА КОРАБЛЯ ПО КОНТРОЛЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ШТУРМАНСКОЙ БОЕВОЙ ЧАСТИ

В статье 149 Корабельного устава Военно-Морского Флота, изд. 1978 г., записано: «Командир корабля в целях безопасности плавания обязан руководствоваться не только своим опытом, знанием театра и данными штурманской боевой части и технических средств наблюдения, но и систематически лично определять место корабля.

Лично контролируя работу штурмана, командир должен предупредить возможные промахи штурманской боевой части, которые могут привести к тяжелым последствиям».

Требования приведенной выше статьи Корабельного устава нельзя рассматривать как узаконенное уставом недоверие командира корабля к действиям и расчетам штурмана. Требования этой статьи следует рассматривать как важнейшую обязанность командира корабля, отражающую его большую личную ответственность за безопасность корабля и жизнь его экипажа, за полноту и качество выполнения поставленных перед кораблем задач.

Личная ответственность командира корабля за безопасность плавания и жизнь его экипажа подчеркивается также и тем, что, в соответствии с Корабельным уставом, без ведома командира корабля никто не имеет права изменить назначенные им курс и скорость корабля, а на пл — и глубину погружения. В исключительных случаях для предотвращения неминуемой аварии корабля вахтенный офицер берет на себя ответственность выполнения маневра, ведущего к безопасному исходу, при этом он обязан немедленно доложить командиру корабля об обстоятельствах, вызвавших необходимость предпринятого им маневра, с тем чтобы командир корабля смог лично завершить начатый маневр или внести в него необходимые изменения, диктуемые сложившейся обстановкой и последующими плановыми действиями корабля.

Требования Корабельного устава выработаны многолетним опытом плавания и были многократно проверены в самых разных условиях, в которых кораблям приходилось совершать плавание и выполнять свои задачи.

Сложность стоящих перед кораблями Военно-Морского Флота задач и условий их выполнения требует от командира корабля не только огромных знаний и твердых практических навыков, способностей и умения подготовить экипаж и организовать его слаженную и четкую работу, но и наличия высоко развитого чувства ответственности за успешное выполнение стоящих перед кораблем задач.

Не случайно поэтому еще Ф. Энгельс утверждал, что «должность командира корабля относится к числу самых ответственных» *.

В современных условиях, когда в значительной мере возросла зависимость успешности выполнения кораблями флота тактических и огневых задач от полноты и качества учета навигационных параметров и факторов внешней среды, необходимость контроля командиром корабля действий и расчетов штурмана несомненно увеличилась.

Несмотря на то, что требование ст. 149 КУ ВМФ касается контроля командиром корабля работы штурмана только во время плавания, это не значит, что командир корабля не должен проверять расчеты штурмана, выполняемые в процессе проработки маршрута похода и при составлении предварительной прокладки, методики проведения штурманом послепоходных разборов и содержание обучения корабельных офицеров практике кораблевождения.

Конкретные методические приемы и практические способы, которые целесообразно использовать командиру корабля при проверке работы командира БЧ-1, не должны быть жестко регламентированными, так как они зависят от уровня теоретической подготовки и практического опыта кораблевождения как командира корабля, так и штурмана, от тактического предназначения корабля и характера решаемых кораблем задач, от навигационно-гидрографических особенностей района плавания, прогнозируемых и фактических гидрометеорологических условий, в которых может оказаться корабль во время плавания.

Поэтому в данном разделе приведены лишь наиболее общие рекомендации, применение которых будет полезным для большинства командиров кораблей.

§ 34.2. РЕКОМЕНДАЦИИ КОМАНДИРУ КОРАБЛЯ ПО ПРОВЕРКЕ ДЕЙСТВИЙ И РАСЧЕТОВ ШТУРМАНА В ПРОЦЕССЕ ПОДГОТОВКИ КОРАБЛЯ К ПОХОДУ

Работа штурмана при подготовке к походу и на походе носит творческий характер. При подготовке к походу, выполнении расчетов и составлении предварительной прокладки штурман учитывает характер поставленных перед кораблем задач, особенности района и условия предстоящего плавания, степень оснащенности корабля средствами навигации и океанографии, а также оборудования театра в навигационно-гидрографическом отношении.

Командир корабля в зависимости от подготовки штурмана разрешает ему организовать работу штурманской боевой части по своему усмотрению или определяет ее лично. Но и в том и в другом случае подготовка к походу должна быть направлена на выполнение подготовительных мероприятий в таком объеме и с таким качеством, которые создают благоприятные условия штурману и командиру корабля для выполнения ими обязанностей по обеспечению безопасности плавания и успешному выполнению поставленных задач в море. Уверенность в действиях, точность и неторопливость в расчетах, основанные на опыте и большой подготовительной работе, являются отличительными чертами высококвалифицированных штурманов. Полнота и качество подготовительных мероприятий, выполняемых штурманом перед выходом корабля в море, в значительной мере предопределяют навигационную

* К. Маркс, Ф. Энгельс. Собрание сочинений, т. 14, М., Политиздат, 1958, с. 243.

безопасность плавания и успешность выполнения кораблем в море поставленных задач.

В общем случае подготовка штурманской боевой части к походу представляет собой комплекс предварительных мероприятий, облегчающих работу штурмана на походе. Порядок их выполнения изложен в гл. 8.

Предусмотреть заранее, до выхода корабля в море, все обстоятельства предстоящего плавания, возможные варианты действий при изменении обстановки, ухудшении видимости и других погодных условий невозможно. Вместе с тем нельзя полагаться и на то, что во время плавания можно успеть все сделать, не производя тщательной предварительной подготовки.

В целях более планомерной подготовки к походу штурман должен составить план этой подготовки и утвердить его у командира корабля. В этом случае командир корабля будет подробнее знать степень подготовленности БЧ-1 к походу и сможет детальнее проверить ее перед выходом корабля в море.

При проверке подготовленности к выходу в море штурманской боевой части командир корабля в первую очередь должен проверить расчеты штурмана, положенные в основу предварительной навигационной прокладки и обеспечивающие безопасность плавания корабля и успешность выполнения в море поставленных перед кораблем задач.

При этом обязательной проверке подлежат выполненные штурманом мероприятия и расчеты:

- полнота и качество корректуры морских карт, руководств и пособий для плавания, подготовленных для похода;
- навигационная предварительная прокладка на путевых картах с расчетом скорости и времени плавания на каждом участке маршрута;
- расчет ожидаемой точности плавания корабля на различных участках маршрута;
- время и место дозаправки корабля топливом и другими запасами;
- время и место встречи с взаимодействующими кораблями и самолетами;
- расчет времени прохода контрольных точек;
- выделение участков маршрута, на которых не обеспечивается заданная точность плавания (при использовании корабельных средств навигации и средств навигационного оборудования в районе плавания), и предложения по ее повышению до требуемого уровня;
- порядок прохода узкостей, фарватеров, зон разделения путей движения и районов с установленным режимом плавания;
- расстояния частных курсов пути корабля от навигационных опасностей, запретных и опасных районов, внешних границ территориальных вод иностранных государств;
- время и организация захода в иностранные порты;
- время и место якорных стоянок;
- места укрытий от штормовой погоды;
- организация работы ГКП и постов БЧ-1 при нахождении на борту корабля лоцмана.

На подводных лодках дополнительно подлежат контролю следующие подготовительные мероприятия по:

- обеспечению навигационной безопасности плавания на заданной глубине в различных районах;

- уклонению от столкновений с айсбергами при плавании в районах, где возможна встреча с ними;
- обеспечению скрытности плавания с использованием особенностей гидрологических условий отдельных районов;
- обеспечению заданной точности при плавании на глубинах, превышающих перископную;
- выполнению обсерваций в период подвсплывтия на сеансы связи.

Если командир корабля своевременно и четко поставил задачи командиру БЧ-1 на предстоящее плавание, посвятил его в свои замыслы по решению поставленных задач, то ему значительно легче контролировать расчеты штурмана, обосновывающие навигационную безопасность предстоящего плавания и успешное выполнение поставленных задач.

Чтобы качественно проверить расчеты, выполненные штурманом, командир корабля должен лично по картам, руководствам и пособиям для плавания изучить маршрут предстоящего похода и условия плавания корабля, а также произвести необходимые расчеты на поход с учетом принятого решения на выполнение поставленных задач.

При обнаружении в ходе проверки существенных расхождений расчетов штурмана с предварительными расчетами командира корабля последний обязан установить причины таких расхождений и только после тщательного их анализа утвердить окончательные расчеты для уточнения предварительной прокладки, если в этом будет необходимость.

Если по расчетам штурмана будут определены участки маршрута плавания корабля, на которых не обеспечивается заданная точность, командир корабля обязан потребовать дополнительного навигационно-гидрографического обеспечения или изменения заданной точности плавания до величин, которые обеспечиваются существующими методами и средствами.

§ 34.3. РЕКОМЕНДАЦИИ КОМАНДИРУ КОРАБЛЯ ПО ПРОВЕРКЕ ДЕЙСТВИЙ И РАСЧЕТОВ ШТУРМАНА ВО ВРЕМЯ ПЛАВАНИЯ

Во время плавания командир корабля при проверке работы штурмана должен главное внимание обращать на его действия и расчеты, обеспечивающие навигационную безопасность плавания, а также на своевременность, полноту и качество выдачи навигационных данных, необходимых для успешного применения оружия и использования технических средств корабля. В связи с этим контролю должны подлежать:

- знание штурманом поправок навигационных приборов и систем, по показаниям которых ведется счисление координат и контроль глубины под килем корабля, а также своевременность уточнения этих поправок при их изменении;
- дискретность обсерваций и анализ причин невязок, превышающих допустимые при заданной точности плавания;
- расчеты на тактическое и боевое маневрирование;
- точность плавания вблизи навигационных опасностей, в узкостях, на фарватерах и в зонах разделения путей движения, а также при подходе к внешней границе территориальных вод иностранных государств;
- точность выработки (определения) и хранения навигационных параметров, необходимых для расчета исходных данных на применение оружия;

— выполнение графика прохождения контрольных точек, прохождения районов с установленным режимом плавания, а также паличие и «расходование» резерва времени;

— соблюдение правил плавания, установленных в зарубежных водах и в некоторых международных проливах;

— своевременность и точность прибытия в точку встречи, к месту якорной стоянки и в порт назначения;

— своевременность и полнота корректуры морских карт, руководств и пособий для плавания по НАВИП, НАВАРЕА и ПРИП, принятым по радио;

— правильность и полнота документирования наиболее существенных событий и обстоятельств, связанных с плаванием корабля, в том числе и отклонений фактических навигационно-гидрографических и гидрометеорологических условий в районе плавания от описанных в руководствах для плавания или нанесенных на морских картах;

— прием гидрометеорологической информации по району плавания, анализ штормовых предупреждений и предложения по уклонению от тайфунов и ураганов;

— предложения по уклонению от столкновений с айсбергами, если по маршруту перехода возможна встреча с ними.

Командир подводной лодки должен, кроме того, проверять действия и расчеты штурмана, указанные в § 34.2.

При плавании в высоких широтах следует руководствоваться рекомендациями, изложенными в гл. 30.

Командир корабля должен всегда помнить, что главной целью контроля действий и расчетов штурмана во время плавания является предотвращение тяжелых последствий, причинами которых могут быть промахи в расчетах штурмана или не обнаруженные им изменения поправок приборов курсоуказания, измерения скорости и глубины под килем корабля.

В связи с этим командир корабля обязан систематически определять место корабля по возможности другими способами, чем те, которыми пользовался штурман, или с использованием навигационных ориентиров, которыми не пользовался штурман.

Командир корабля периодически должен требовать от штурмана данные последних определений поправок курсоуказателей, измерителей скорости и глубины под килем корабля с оценкой их надежности.

Командир корабля во время плавания должен проявлять заботу о том, чтобы без особой надобности не прибегать к выполнению таких маневров курсом и скоростью, при которых ухудшается точность выработки навигационных параметров и считаемых координат. О необходимости выполнения такого маневра командир корабля информирует штурмана, с тем чтобы последний смог перевести работу технических средств навигации в режим, обеспечивающий наименьшее влияние на точность выполнения предстоящего маневра.

Командир корабля периодически должен проверять взаимодействие штурмана с вахтенным офицером, штурманской боевой частью — с БЧ-5 и БЧ-7 корабля.

Все замечания по работе штурмана, вахтенного офицера, БЧ-5 и БЧ-7, связанные с обеспечением безопасности плавания, командир корабля фиксирует в целях их детального рассмотрения на послеполовом разборе.

Глава 35

РЕКОМЕНДАЦИИ КОМАНДИРУ КОРАБЛЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ПОСЛЕПОХОДОВЫХ РАЗБОРОВ

§ 35.1. ОСНОВНЫЕ ЦЕЛИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОСЛЕПОХОДОВЫХ РАЗБОРОВ

Выход корабля в море для решения учебно-боевых задач является лучшей формой боевой подготовки и отработки слаженности действий личного состава корабля, направленных на успешное выполнение поставленных задач.

Командир корабля в походе проверяет подготовленность подчиненного ему личного состава не только к качественному исполнению своих обязанностей, но и к умению каждого из них правильно действовать в условиях изменяющейся обстановки. Во время плавания не представляется возможным всесторонне оценить действия каждого члена экипажа, указать на отдельные недостатки или поставить в пример удачные инициативные действия того или иного офицера, старшины или матроса. Для этого нужна большая подготовительная работа, в результате которой каждый вывод и каждая оценка командира корабля получают силу объективно доказанного факта. Заключительным этапом этой работы и является послепоходовый разбор. Другими словами, послепоходовый разбор — это глубокий и всесторонний анализ итогов плавания и выполнения кораблем в море тактических, огневых и специальных задач, на основании которого командиром корабля дается оценка деятельности в походе боевых частей и служб корабля, командных пунктов и боевых постов, корабельных боевых расчетов, а также каждого офицера, старшины и матроса. Послепоходовый разбор, как правило, проводится в два этапа. На первом этапе разбор проводит командир корабля с командирами боевых частей и начальниками служб корабля. По указанию командира корабля на этот этап разбора могут быть приглашены командиры командных пунктов, боевых постов и корабельных боевых расчетов, деятельность которых требует, по мнению командира корабля, его личного анализа и выдачу указаний по совершенствованию способов и методов работы в походе. На втором этапе разбор проводят командиры боевых частей и начальники служб корабля с подчиненными офицерами, старшинами и матросами.

Основными целями послепоходового разбора являются:

— анализ полноты и качества мероприятий, проведенных боевыми частями и службами корабля в период подготовки его к выходу в море, а также оценка характера и степени влияния отдельных недостатков в проведении этих мероприятий на качество решения кораблем задач, поставленных на поход;

— оценка успешности обеспечения навигационной безопасности плавания и заданной точности выработки и хранения навигационных параметров, оказывающих влияние на эффективность применения оружия

и использование технических средств корабля. Особенно тщательно должны быть рассмотрены и проанализированы промахи в расчетах и полученные в процессе плавания сверхнормативные невязки;

— анализ точности расчетов на маневрирование при расхождении со встречными кораблями и судами с подробным разбором обстоятельств и причин, приведших к аварийному происшествию или опасному маневрированию;

— анализ новых, более эффективных тактических приемов и способов действий корабля, командных пунктов, боевых постов и боевых расчетов, обеспечивающих повышение успешности решения тактических, огневых и специальных задач;

— оценка правильности взаимодействия штурмана с вахтенным офицером и начальником БИП при анализе внешней обстановки и подготовке докладов командиру корабля;

— анализ выполнения учебно-боевых нормативов личным составом корабельных боевых расчетов и каждым офицером, старшиной и матросом;

— оценка правильности, быстроты и четкости действий личного состава при обнаружении и устранении неисправностей технических средств навигации;

— анализ сравнительных данных прогнозируемой и фактической погоды в районе плавания корабля;

— проверка достоверности обнаруженных во время плавания несоответствий фактических навигационно-гидрографических условий (в том числе внешнего вида и характеристики работы СНО) тем, которые помещены на морских картах и в руководствах и пособиях для плавания.

§ 35.2. ПОДГОТОВКА МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПОСЛЕПОХОДОВОГО РАЗБОРА

Материалы, используемые командиром корабля, командирами боевых частей и начальниками служб на первом и втором этапах разбора, должны быть наглядными, четкими и понятными, объективными и убедительными.

Основными формами этих материалов для послепоходового разбора являются схемы и таблицы. При оценке выполненных в процессе подготовки корабля к выходу в море мероприятий целесообразно проанализировать полноту и качество этих мероприятий по каждой боевой части и службе корабля. Результаты анализа представить в виде таблицы, в которой против каждого из мероприятий, выполненных не в полном объеме или некачественно, указать, по чьей вине допущено упущение и к каким последствиям это упущение привело или могло привести.

На карте с нанесенной предварительной прокладкой должна быть показана заданная и достигнутая точность плавания, точность выработки и хранения навигационных параметров по участкам маршрута и выделены его участки, где достигнутая точность плавания оказалась ниже заданной. На отдельной схеме должно быть показано, как пониженная точность плавания и выработки навигационных параметров повлияла (могла повлиять) на успешность выполнения боевых упражнений и эффективность использования технических средств корабля.

Боевое маневрирование и каждый маневр, связанный с расхождением корабля со встречными судами, занятие и перемена позиции относительно флагмана, постановка на якорь и другие действия, должны

быть изображены на отдельных схемах с показом недостатков, допущенных при выполнении каждого из этих маневров. Оценивается работа ГКП, БЧ-1, БЧ-5 и БЧ-7 при выполнении рассматриваемых на разборе маневров корабля, а также действия вахтенного офицера по контролю за точностью выполнения маневра. Каждый случай опасного маневрирования показывается на отдельной схеме.

Результаты анализа выполнения учебно-боевых нормативов боевыми постами, корабельными боевыми расчетами, офицерами, старшинами и матросами сводятся в таблицу с оценками достигнутых результатов отдельно для боевого поста, корабельного боевого расчета, офицеров, старшин и матросов.

Анализ действий личного состава при обнаружении и устранении неисправностей технических средств навигации целесообразно производить с использованием функциональных схем отдельных приборов и систем, в которых имели место неисправности во время плавания. Особое внимание должно быть обращено на правильность действий личного состава и время, потребовавшееся для устранения неисправностей, а также на меры, принятые командиром БЧ-1 для обеспечения заданной точности плавания и выработки навигационных параметров от момента обнаружения неисправностей до момента их устранения.

Сравнительные данные о прогнозируемой и фактической гидрометеорологической обстановке в районе плавания и ее основных элементах также сводятся в специальную таблицу с оценкой оправданности этих прогнозов. Особо выделяются не предсказанные прогнозам опасные метеоявления (туман, ливневые осадки, ураганный ветер и штормовое волнение моря), приведшие или могущие привести к срыву выполнения кораблем задачи или к снижению успешности ее решения.

Все отмеченные во время плавания случаи обнаружения несоответствия вида и характеристики работы СНО, отклонения фактических глубин и элементов течений от показанных на картах и в пособиях для плавания должны быть тщательно проанализированы и после соответствующего оформления направлены в ближайшее подразделение гидрографической службы флота для проверки и объявления в извещениях мореплавателям.

Об обнаружении новых, ранее неизвестных навигационных опасностях, в том числе и для плавания подводных лодок в подводном положении на предельных глубинах, донесения должны даваться по радио немедленно в соответствии с действующей схемой связи.

При проведении второго этапа слепоходового разбора командирами боевых частей и начальниками служб корабля используются схемы, таблицы и материалы, подготовленные к первому этапу разбора, а при необходимости они дополняются новыми материалами, детализирующими анализ действий каждого офицера, старшины и матроса боевой части или службы, сделанный командиром корабля на первом этапе слепоходового разбора. При этом командиры боевых частей и начальники служб корабля, анализируя деятельность подчиненных подразделений и отдельных офицеров, старшин и матросов во время плавания, должны опираться на оценки, данные командиром корабля, и на его указания по этим вопросам.

В тех случаях, когда оценка действий в походе того или иного члена экипажа, данная командиром боевой части или начальником службы корабля, отличается от оценки командира корабля, он обязан до проведения второго этапа разбора уточнить оценку у командира корабля и только с его согласия объявить другую оценку.

На первом и втором этапах послепоходового разбора заместителем командира корабля по политической части и командирами боевых частей и начальниками служб корабля соответственно дается оценка эффективности партийно-политической работы на корабле и в его подразделениях в период подготовки к походу и во время плавания.

§ 35.3. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ НОВЫХ ПРИЕМОМ И СПОСОБОВ ДЕЙСТВИЙ, ПРИМЕНЕННЫХ ВО ВРЕМЯ ПЛАВАНИЯ

Как уже было указано в § 35.1, послепоходовый разбор проводится в целях анализа допущенных во время плавания недостатков и разработки надлежащих мер по исключению их повторения в последующих походах. С другой стороны, еще более важным является анализ эффективности примененных во время плавания новых форм организации, новых приемов и способов действий при решении тактических, огневых и специальных задач. Анализ эффективности новых форм организации, новых тактических приемов и способов действий корабля, боевых постов и расчетов, а также действий отдельных офицеров, старшин и матросов должен производиться особо тщательно, чтобы исключить случайный характер выводов о целесообразности внедрения их в последующую практику боевой подготовки личного состава корабля.

Каждый новый прием и способ должен быть всесторонне рассмотрен с учетом влияния возможных условий обстановки на эффективность и целесообразность его применения. Наиболее эффективные способы маневрирования корабля, методы контроля точности выполнения маневра, а также организация взаимодействия ГКП, БЧ-1, БЧ-5 и БЧ-7 при выполнении тактического и боевого маневрирования во время плавания изображаются на отдельных схемах с обоснованием преимуществ применения новых приемов и способов по сравнению с действующими, предусмотренными правилами и наставлениями.

После рассмотрения сущности новых приемов и способов, а также получаемых при их использовании тактических и боевых преимуществ командиром соединения и офицерами его штаба принимается окончательное решение о целесообразности или нецелесообразности внедрения их на других кораблях.

Послепоходовый разбор, проводимый командиром корабля, командирами боевых частей и служб, только тогда будет полезен и решит поставленные перед его проведением основные цели, если он будет хорошо подготовлен, а все материалы к разбору будут отличаться достоверностью и точностью. Разбор должен проводиться не ради разбора, а для предупреждения повторений допущенных во время похода ошибок и упущений, а также обоснования путей и направлений совершенствования форм организации, приемов и способов решения стоящих перед кораблем учебно-боевых задач.

Глава 36

РЕКОМЕНДАЦИИ ШТУРМАНУ, ВСТУПАЮЩЕМУ В ДОЛЖНОСТЬ КОМАНДИРА ШТУРМАНСКОЙ БОЕВОЙ ЧАСТИ

§ 36.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Коренные изменения, происшедшие за последние годы в техническом оснащении кораблей ВМФ, дальнейшее развитие и совершенствование средств и методов кораблевождения, интенсивное и длительное плавание кораблей и вспомогательных судов на широких просторах Мирового океана предъявляют повышенные требования к организованности, исполнительности и собранности молодого штурмана, к его быстрейшему становлению как корабельного офицера.

Вступая в новый этап своей жизни, многие выпускники училищ недостаточно четко представляют себе весь объем деятельности офицера на корабле, не умеют правильно организовать свой труд, не успевают практически осваивать свои функциональные обязанности в регламентированные сроки.

Затягивание времени становления офицера в своей должности называется как на общем состоянии боеготовности корабля, так и на психологическом состоянии молодого офицера.

Настоящие рекомендации имеют целью помочь молодому штурману правильно организовать свою работу после прибытия на корабль и в начальный период службы на корабле.

Прием дел и вступление в должность. Прием дел — это первый экзамен, который молодой штурман держит на корабле перед командиром корабля, сослуживцами и подчиненными. Это не только формальный прием личного состава, техники, материальных ценностей и документации. Это — и изучение своих функциональных обязанностей, и ознакомление с состоянием дел, и изучение подчиненного личного состава.

Перед приемом дел и должности необходимо представиться флагманскому (дивизионному) штурману соединения, который, как правило, хорошо знает состояние дел, особенности боевой части и может дать полезные советы.

Согласно ст. 63 Устава внутренней службы срок приема и сдачи дел и должности определяется старшим командиром (начальником), в данном случае — командиром корабля.

При изучении состояния дел в подразделении необходимо получить у сдающего дела устную характеристику каждого специалиста штурманской боевой части.

При приеме документации необходимо руководствоваться указаниями по содержанию и порядку ее ведения, изложенными

в руководящих документах по организации штурманской службы и боевой подготовки.

По состоянию документации можно предварительно оценить и состояние боевой части.

Знакомясь с журналами, книгами учета, формулярами и т. п., необходимо обращать внимание на правильность их ведения, на полноту записей, уяснить себе характер информации, которую отражает тот или иной документ.

Разделив предварительно всю документацию на части, отражающие боевую подготовку, состояние техники, организацию службы, учет морских карт, руководств и пособий для плавания при изучении ее состояния, полезно делать краткие пометки в рабочей тетради о замеченных недостатках и нерешенных вопросах.

Проверку наличия морских карт, руководств и пособий для плавания необходимо проводить по лицевым счетам. При этом предварительно следует изучить действующие на ВМФ положения по организации обеспечения кораблей и частей изданиями Главного управления навигации и океанографии Министерства обороны.

При приеме морских карт, руководств и пособий для плавания следует убедиться в том, что имеющийся на корабле комплект соответствует объявленному приказом командира соединения.

Необходимо внимательно проверить наличие документации по навигационной информации, правильность ее учета и ведения, отсутствие пропусков ИМ, НАВАРЕА, НАВИП, ПРИП. Проверка состояния корректуры морских карт, руководств и пособий для плавания дает возможность убедиться в правильной организации этой работы в штурманской боевой части и вскрыть определенные недостатки, а также помогает ознакомиться молодому штурману с районом плавания, театром и изменениями в навигационной обстановке.

Особенно тщательно необходимо проверить состояние тех документов, которые определяют режим плавания.

При приеме материальной части необходимо сверить соответствие записей в приходо-расходной книге учета, который ведется в довольствующем органе Гидрографической службы ВМФ, о чем сделать отметку на последнем листе книги, заверив ее подписью ответственного за учет лица и печатью довольствующего органа.

Технические средства навигации и гидрометеорологии, обеспечивающие кораблевождение, необходимо принять в рабочем состоянии.

Состояние запасных инструментов и приборов (ЗИП) следует проверить по описям, находящимся в укладочных ящиках, в технических формулярах или в заводской поставочной ведомости. Особое внимание при этом необходимо обратить на соответствие описей фактическому наличию ЗИП. Кроме того, целесообразно уточнить наличие и состояние сверхтабельного имущества, если таковое имеется.

Результаты проверки штурманской боевой части оформляются актом, который вместе с рапортом о приеме дел и должности докладывается командиру корабля. У командира корабля необходимо запросить его решение по устранению замечаний, выявленных в ходе проверки и указанных в акте приемки.

Результаты приема дел и должности докладываются флагманскому (дивизионному) штурману соединения.

На некоторых кораблях 3 и 4 ранга ответственность за несколько боевых частей возлагается на одного офицера. Нередко этот офицер — штурман, поэтому он должен учитывать при приеме дел особенности,

специфику, состояние вооружения и техники всех подчиненных ему боевых частей и служб.

§ 36.2. ПОДГОТОВКА К САМОСТОЯТЕЛЬНОМУ УПРАВЛЕНИЮ БОЕВОЙ ЧАСТЬЮ

После объявления приказа командира корабля о вступлении молодого офицера в командование штурманской боевой частью и представления его экипажу корабля на него возлагается вся ответственность за боевую готовность боевой части, политическое и воинское воспитание личного состава, состояние техники и за уровень специальной подготовки подчиненных.

Корабельный устав ВМФ предусматривает определенный порядок допуска молодого офицера к самостоятельному управлению подразделением. Типовая программа подготовки к самостоятельному управлению подразделением изложена в руководящих документах по штурманской службе.

Качественное освоение всей программы подготовки к самостоятельному управлению подразделением требует высокой организованности, тщательного планирования и рационального использования всего времени, в том числе и внеслужебного. Для этого целесообразно после приема дел и изучения программы подготовки к зачету на допуск к самостоятельному управлению боевой частью составить детальный план личной работы на срок, установленный командиром корабля. При составлении личного плана необходимо учесть недельный расписание дня и план боевой и политической подготовки корабля на этот период.

Необходимо помнить, что любой самый детальный, конкретный и содержательный план требует определенной настойчивости в его выполнении. Непременное выполнение ежедневно всех спланированных мероприятий должно стать незыблемым правилом в деятельности молодого штурмана.

§ 36.3. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ БОЕВОЙ ПОДГОТОВКИ

Очень важным в деятельности молодого штурмана является умение организовать боевую подготовку, обучение и воспитание подчиненных, правильно, в соответствии с уставными требованиями, организовать службу.

С приходом на корабль для молодого штурмана начинается новый этап упорной самостоятельной работы и учебы на базе знаний, полученных в военно-морском училище.

Прежде всего необходимо позаботиться о приобретении профессиональных навыков, которые обеспечивают высокую точность всех выполняемых штурманом действий и расчетов.

Для того чтобы свободно ориентироваться в большом арсенале средств и методов кораблевождения, которые дает в руки штурману современная наука, нужны постоянные тренировки. Их необходимо проводить не только в море, но и в базе. Нужно постоянно тренировать и личный состав боевой части. Эти тренировки должны быть направлены на качественную отработку нормативов по специальности, умение быстро находить и устранять неисправности средств навигации, отработку первичных мероприятий по борьбе за живучесть.

Каждому выходу в море должна предшествовать тщательная подготовка в базе без всяких скидок на непродолжительность похода, кажущуюся простоту решения поставленных задач и т. д.

При каждом выходе в море необходимо пунктуально выполнять требования руководящих документов по безопасности плавания, вырабатывать у себя точность, аккуратность и быстроту расчетов и построений на карте или планшете.

Следует постоянно совершенствовать свои навыки в практическом определении поправок приборов, накоплении необходимого статистического материала.

Особое место в работе молодого штурмана в море должен занимать самоконтроль. Отсутствие его нередко приводит к грубым ошибкам и промахам.

Каждый выход в море должен быть для молодого штурмана хорошей школой, напряженной учебой, начиная с момента подготовки к походу и до возвращения в базу. План на поход должен быть полным по своему содержанию, загружен по времени и тщательно продуман.

Послепоходовый разбор имеет большое значение в выработке необходимых штурману качеств. После окончания похода необходимо тщательно проанализировать свою работу и работу своих подчиненных в море, добиться устранения выявленных замечаний. Анализ записей в навигационном журнале и прокладки на карте, выяснение причин имевшихся невязок и ошибок в счислении пути, самокритичное рассмотрение допущенных промахов могут служить надежной гарантией исключения допущенных недостатков в будущем.

Необходимо выработать привычку высокой требовательности как к себе, так и к подчиненным. Только высокая требовательность, постоянное совершенствование своих знаний, умелое применение теоретических знаний на практике, умение быстро оценить обстановку и принять правильное решение могут обеспечить безопасность плавания корабля и выполнение стоящих перед ним задач.

При отработке организации службы — как в базе, так и в море — необходимо постоянно следить за состоянием документации. Ее ведение занимает у штурмана значительную часть времени. Поэтому очень важно с первых же дней службы выработать систему самоконтроля. В части ведения документации личным составом этот контроль должен быть систематическим.

Например, принимая утром доклад о проверке морских часов, следует проверить и ведение журнала их проверки; в конце рабочего дня проверить прием навигационной информации, передаваемой по радио, заполнение журнала учета навигационной информации, правильность учета корректуры, заполнения журнала прогнозов погоды, журнала гидрометеонаблюдений и т. д.

Правильность ведения и заполнения журналов электронavigационных приборов и формуляров следует проверять при осмотрах средств навигации и гидрометеорологии.

Трудолюбие, организованность в работе, чувство высокой ответственности за порученное дело, принципиальность, творческий подход к работе в любых условиях обстановки, твердые знания своей специальности, умение обучать и воспитывать подчиненных — основные качества офицера советского Военно-Морского Флота, которые должен постоянно воспитывать и развивать в себе молодой штурман с первых дней своей службы на корабле.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ I

НЕКОТОРЫЕ СПРАВОЧНЫЕ СВЕДЕНИЯ ПО МАТЕМАТИКЕ И ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОКАЛЬКУЛЯТОРОВ В КОРАБЛЕВОЖДЕНИИ

I. Некоторые справочные сведения по математике

Алгебра

Степени и радикалы

$$a^m \cdot a^n = a^{m+n}$$

$$a^m : a^n = a^{m-n}$$

$$(a \cdot b)^m = a^m \cdot b^m$$

$$(a : b)^m = a^m : b^m$$

$$(a^m)^n = a^{mn}$$

$$1 : a^m = a^{-m}$$

$$a^{-m} : b^{-n} = b^n : a^m$$

$$a^0 = 1$$

$$(a \pm b)^2 = a^2 \pm 2ab + b^2$$

$$(a \pm b)^3 = a^3 \pm 3a^2b + 3ab^2 \pm b^3$$

$$(a + b)^m = a^m \left(1 + \frac{b}{a}\right)^m$$

$$\sqrt[m]{a} = a^{\frac{1}{m}}$$

$$\sqrt[m]{ab} = a^{\frac{1}{m}} \cdot b^{\frac{1}{m}}$$

$$\sqrt[m]{a} \cdot \sqrt[n]{a} = \sqrt[mn]{a^{m+n}} = a^{\frac{m+n}{mn}}$$

$$\sqrt[n]{\frac{1}{a^m}} = a^{-\frac{m}{n}}$$

Размещения, перестановки, сочетания

Число сочетаний из n элементов по k в группе равно

$$A_n^k = n(n-1)(n-2) \dots (n-k+1)$$

Число перестановок из n элементов равно:

$$P_n = n(n-1)(n-2) \dots 3 \cdot 2 \cdot 1 = n!$$

Число сочетаний из n элементов по k в группе равно

$$C_n^k = \frac{A_n^k}{P_n} = \frac{n(n-1)(n-2) \dots (n-k+1)}{1 \cdot 2 \cdot 3 \dots k}$$

Прогрессии и ряды

Арифметическая прогрессия

$$S_n = a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n$$

Сумма членов прогрессии

$$S_a = \frac{(a_1 + a_n)n}{2}$$

Геометрическая прогрессия

$$S_2 = a_1 + a_1q + a_1q^2 + a_1q^3 + a_1q^4 + \dots + a_1q^{n-1}$$

Сумма членов прогрессии

$$S_2 = \frac{a_1(q^n - 1)}{q - 1}$$

При $q < 1$ геометрическая прогрессия называется убывающей. Предел суммы бесконечного числа членов убывающей геометрической прогрессии равен:

$$S_2 = \frac{a_1}{1 - q}$$

Формулы для вычисления суммы ограниченного числа членов некоторых числовых и биномиальных рядов:

$$1 + 2 + 3 + 4 + \dots + (n - 1) + n = \frac{n(n + 1)}{2}$$

$$\begin{aligned} 1 + 3 + 5 + 7 + \dots + (2n - 3) + (2n - 1) &= n^2 \\ 2 + 4 + 6 + 8 + \dots + (2n - 2) + 2n &= n(n + 1) \end{aligned}$$

$$1^2 + 2^2 + 3^2 + 4^2 + \dots + (n - 1)^2 + n^2 = \frac{n(n + 1)(2n + 1)}{6}$$

$$1^3 + 2^3 + 3^3 + 4^3 + \dots + (n - 1)^3 + n^3 = \frac{n^2(n + 1)^2}{4}$$

$$\frac{1}{1 + x} = 1 - x + x^2 - x^3 + x^4 + \dots + x^{2n} - x^{2n+1} + \dots$$

$$\frac{1}{1 - x} = 1 + x + x^2 + x^3 + x^4 + \dots + x^{2n} + x^{2n+1} + \dots$$

$$\frac{1}{(1 + x)^2} = 1 - 2x + 3x^2 - 4x^3 + 5x^4 - \dots - 2nx^{2n-1} + (2n + 1)x^{2n} - \dots$$

$$\frac{1}{(1 - x)^2} = 1 + 2x + 3x^2 + 4x^3 + 5x^4 + \dots + 2nx^{2n-1} + (2n + 1)x^{2n} + \dots$$

$$\sqrt{1 + x} = 1 + \frac{1}{2}x - \frac{1}{8}x^2 + \frac{1}{16}x^3 - \frac{5}{128}x^4 + \frac{7}{256}x^5 - \dots$$

$$\sqrt{1 - x} = 1 - \frac{1}{2}x - \frac{1}{8}x^2 - \frac{1}{16}x^3 - \frac{5}{128}x^4 - \frac{7}{256}x^5 - \dots$$

*Разложение тригонометрических функций в ряд
(аргумент x задается в радианах)*

$$\sin x = x - \frac{x^3}{6} + \frac{x^5}{120} - \frac{x^7}{5040} + \dots$$

или

$$\sin x = x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \frac{x^7}{7!} + \dots$$

$$\cos x = 1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} - \frac{x^6}{6!} + \frac{x^8}{8!} - \dots$$

$$\operatorname{tg} x = x + \frac{x^3}{3} + \frac{2x^5}{15} + \frac{17x^7}{315} + \dots$$

$$\operatorname{ctg} x = \frac{1}{x} - \frac{x}{3} + \frac{x^3}{45} - \frac{2x^5}{945} - \dots$$

$$\sec x = 1 + \frac{x^2}{2} + \frac{5x^4}{24} + \frac{61x^6}{720} + \dots$$

$$\operatorname{cosec} x = \frac{1}{x} + \frac{x}{6} + \frac{7x^3}{360} + \frac{31x^5}{15120} + \dots$$

Разложение Бинома Ньютона

$$(1+x)^m = 1 + mx + \frac{m(m-1)}{2!}x^2 + \frac{m(m-1)(m-2)}{3!}x^3 + \dots +$$

$$+ \frac{m(m-1)(m-2)\dots(m-n+1)}{n!}x^n + \dots + \frac{m(m-1)}{2!}x^{m-2} + mx^{m-1} + x^m$$

$$(a \pm b)^m = a^m \pm ma^{m-1} \cdot b + \frac{m(m-1)}{2!}a^{m-2} \cdot b^2 \pm \frac{m(m-1)(m-2)}{3!}a^{m-3} \cdot b^3 +$$

$$+ \dots + \frac{m(m-1)(m-2)\dots(m-n+1)}{n!}a^{m-n} \cdot b^n \pm \dots \pm \frac{m(m-1)}{2!}a^2b^{m-2} \mp$$

$$\mp tab^{m-1} \pm b^m$$

Формулы для отыскания корней квадратного и кубического уравнений

В общем виде квадратное уравнение имеет вид

$$ax^2 + bx + c = 0$$

Его корни отыскиваются по формуле

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

В общем виде кубическое уравнение имеет вид

$$ax^3 + bx^2 + cx + d = 0$$

или

$$x^3 + Ax^2 + Bx + C = 0,$$

где $A = \frac{b}{a}$; $B = \frac{c}{a}$ и $C = \frac{d}{a}$.

Используя подстановку $x = y - \frac{A}{3}$, кубическое уравнение приводится к неполному виду $y^3 + py + q = 0$,

где $p = -\frac{A^2}{3} + B$, а $q = \frac{2A^3}{27} - \frac{AB}{3} + C$

$$y_1 = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} + \sqrt{\left(\frac{q}{2}\right)^2 + \left(\frac{p}{3}\right)^3}} + \sqrt[3]{-\frac{q}{2} + \sqrt{\left(\frac{q}{2}\right)^2 + \left(\frac{p}{3}\right)^3}}.$$

Два остальных корня являются комплексными числами и здесь не приводятся.

Логарифмирование и потенцирование

Логарифмом положительного числа A при положительном основании a называется показатель степени, в которую нужно возвести основание a , чтобы получить данное число A , т. е. $x = \lg_a A$, если $a^x = A$. Основанием логарифмов может быть любое число, но широко применяют только натуральные с основанием e

$$e = 2,718281 \dots = \lim_{\alpha \rightarrow \infty} (1 + \alpha)^{\frac{1}{\alpha}} = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n$$

и десятичные с основанием 10

$$y = \ln A, \text{ если } e^y = A,$$

$$y = \lg A, \text{ если } 10^y = A.$$

Натуральные и десятичные логарифмы связаны между собой так называемым модулем:

$$\lg A = \mu \ln A,$$

$$\text{где } \mu = \lg e = \lg 2,718281 \dots = 0,43429 \dots,$$

$$\text{отсюда } \ln_{10} 10 = \frac{1}{\mu} = 2,30258 \dots$$

$$\lg (A_1 A_2 A_3 \dots A_n) = \lg A_1 + \lg A_2 + \lg A_3 + \dots + \lg A_n$$

$$\lg \frac{A}{B} = \lg A - \lg B$$

$$\lg A^n = n \lg A$$

$$\lg \sqrt[n]{A} = \frac{1}{n} \lg A.$$

$$\text{Если } \lg x = \lg A + \lg B - 3 \lg C, \text{ то } x = \frac{A \cdot B}{C^3};$$

$$\text{если } \lg x = \frac{2}{3} \lg A, \text{ то } x = \sqrt[3]{A^2};$$

$$\text{если } \lg x = 0, \text{ то } x = 1.$$

Тригонометрия плоская и сферическая

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}$$

$$\operatorname{ctg} \alpha = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}$$

$$\sec \alpha = \frac{1}{\cos \alpha}$$

$$\operatorname{cosec} \alpha = \frac{1}{\sin \alpha}$$

$$\sec^2 \alpha - \operatorname{tg}^2 \alpha = 1$$

$$\operatorname{cosec}^2 \alpha - \operatorname{ctg}^2 \alpha = 1$$

$$\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cos \alpha$$

$$\cos 2\alpha = \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha = 1 - 2 \sin^2 \alpha = 2 \cos^2 \alpha - 1$$

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2 \operatorname{tg} \alpha}{1 - \operatorname{tg}^2 \alpha} = \frac{2}{\operatorname{ctg} \alpha - \operatorname{tg} \alpha}$$

$$\operatorname{ctg} 2\alpha = \frac{1 - \operatorname{tg}^2 \alpha}{2 \operatorname{tg} \alpha} = \frac{1}{2} (\operatorname{ctg} \alpha - \operatorname{tg} \alpha) = \frac{\operatorname{ctg}^2 \alpha - 1}{2 \operatorname{ctg} \alpha}$$

$$\sec 2\alpha = \frac{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}{1 - \operatorname{tg}^2 \alpha}$$

$$\operatorname{cosec} 2\alpha = \frac{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}{2 \operatorname{tg} \alpha} = \frac{1}{2} (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{tg} \alpha)$$

$$\sin 3\alpha = 3 \sin \alpha - 4 \sin^3 \alpha$$

$$\cos 3\alpha = 4 \cos^3 \alpha - 3 \cos \alpha$$

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \pm \sqrt{\frac{1 - \cos \alpha}{2}}; \quad \cos \frac{\alpha}{2} = \pm \sqrt{\frac{1 + \cos \alpha}{2}}$$

$$\sin (\alpha + \beta) \sin (\alpha - \beta) = \sin^2 \alpha - \sin^2 \beta = \cos^2 \beta - \cos^2 \alpha$$

$$\cos (\alpha + \beta) \cos (\alpha - \beta) = \cos^2 \alpha - \sin^2 \beta = \cos^2 \beta - \sin^2 \alpha$$

$$\sin (\alpha + \beta) \cos (\alpha - \beta) = \frac{1}{2} (\sin 2\alpha + \sin 2\beta)$$

$$\sin (\alpha - \beta) \cos (\alpha + \beta) = \frac{1}{2} (\sin 2\alpha - \sin 2\beta)$$

$$\sin (\alpha + \beta) = \sin \alpha \cos \beta + \cos \alpha \sin \beta$$

$$\sin (\alpha - \beta) = \sin \alpha \cos \beta - \cos \alpha \sin \beta$$

$$\cos (\alpha + \beta) = \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta$$

$$\cos (\alpha - \beta) = \cos \alpha \cos \beta + \sin \alpha \sin \beta$$

$$\sin \alpha + \sin \beta = 2 \sin \frac{1}{2} (\alpha + \beta) \cos \frac{1}{2} (\alpha - \beta)$$

$$\sin \alpha - \sin \beta = 2 \cos \frac{1}{2} (\alpha + \beta) \sin \frac{1}{2} (\alpha - \beta)$$

$$\cos \alpha + \cos \beta = 2 \cos \frac{1}{2} (\alpha + \beta) \cos \frac{1}{2} (\alpha - \beta)$$

$$\cos \alpha - \cos \beta = -2 \sin \frac{1}{2} (\alpha + \beta) \sin \frac{1}{2} (\alpha - \beta)$$

$$\sin \alpha + \cos \beta = 2 \sin \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\alpha - \beta}{2} \right) \cos \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\alpha + \beta}{2} \right)$$

$$\sin \alpha - \cos \beta = -2 \cos \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\alpha - \beta}{2} \right) \sin \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\alpha + \beta}{2} \right)$$

$$\sin \alpha + \cos \alpha = \sqrt{2} \cos \left(\frac{\pi}{4} - \alpha \right)$$

$$\sin \alpha - \cos \alpha = -\sqrt{2} \sin \left(\frac{\pi}{4} - \alpha \right)$$

Если в сферическом треугольнике стороны обозначить через a , b и c , а противолежащие им углы через A , B и C соответственно, то будут справедливы следующие равенства:

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A$$

$$\cos b = \cos c \cos a + \sin c \sin a \cos B$$

$$\cos c = \cos a \cos b + \sin a \sin b \cos C$$

$$\cos A = -\cos B \cos C + \sin B \sin C \cos a$$

$$\cos B = -\cos C \cos A + \sin C \sin A \cos b$$

$$\cos C = -\cos A \cos B + \sin A \sin B \cos c$$

$$\sin a \sin B = \sin A \sin b$$

$$\sin b \sin C = \sin B \sin c$$

$$\sin c \sin A = \sin C \sin a$$

Последние три формулы можно представить в виде пропорции:

$$\frac{\sin a}{\sin A} = \frac{\sin b}{\sin B} = \frac{\sin c}{\sin C}$$

Полезны также формулы котангенсов или четырех рядом лежащих элементов:

$$\operatorname{ctg} A \sin B = \operatorname{ctg} a \sin c - \cos c \cos B$$

$$\operatorname{ctg} A \sin C = \operatorname{ctg} a \sin b - \cos b \cos C$$

$$\operatorname{ctg} B \sin A = \operatorname{ctg} b \sin c - \cos c \cos A$$

$$\operatorname{ctg} B \sin C = \operatorname{ctg} b \sin a - \cos a \cos C$$

$$\operatorname{ctg} C \sin B = \operatorname{ctg} c \sin a - \cos a \cos B$$

$$\operatorname{ctg} C \sin A = \operatorname{ctg} c \sin b - \cos b \cos A$$

Для прямоугольных сферических треугольников справедливы равенства:

$$\cos a = \cos b \cos c$$

$$\sin b = \sin a \sin B$$

$$\sin c = \sin a \sin C$$

$$\cos a = \operatorname{ctg} B \operatorname{ctg} C$$

$$\cos B = \cos b \sin C$$

$$\cos C = \cos c \sin B,$$

где a — «гипотенуза», b и c — «катеты» сферического прямоугольного треугольника, а A , B и C — углы, противолежащие им.

Для элементарных сферических треугольников приведенные выше шесть формул упрощаются, так как \sin элементарно малого угла заменяется самим углом, а \cos элементарно малого угла заменяется единицей.

Существует два типа элементарных сферических треугольников. К первому типу относятся сферические треугольники с элементарно малыми сторонами. Их можно рассматривать как плоские треугольники и для решения задач применять формулы плоской тригонометрии. В элементарных сферических треугольниках второго типа один угол и противолежащая ему сторона являются элементарно малыми. Такие треугольники можно разбить на два прямоугольных сферических треугольника, один из которых будет первого типа, а другой — второго типа.

Аналитическая геометрия

Уравнения некоторых кривых. Окружность радиуса R , с координатами центра a и b , описывается уравнением вида:

$$(x - a)^2 + (y - b)^2 = R^2.$$

Эллипс, с полуосями a и b , с центром эллипса в начале координат и направлением осей координат, совпадающим с осями эллипса, описывается уравнением вида:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1.$$

Гипербола, когда координатные оси являются осями симметрии гиперболы, описывается уравнением вида:

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1.$$

Координаты фокусов гиперболы в этом случае лежат на оси X и находятся на расстоянии C и $-C$ от начала координат, при этом

$$C = \sqrt{a^2 + b^2}.$$

Парабола, если начало координат совпадает с вершиной параболы, а ее ось совпадает с осью X , описывается уравнением вида:

$$y^2 = 2px,$$

где p — абсцисса фокуса параболы.

Приближенные расчеты

$$\begin{array}{l} (1 \pm \alpha) (1 \pm \beta) = 1 \pm \alpha \pm \beta \\ (1 \pm \alpha) (1 \pm \beta) (1 \pm \gamma) = 1 \pm \alpha \pm \beta \pm \gamma \\ \frac{1}{1 \pm \alpha} = 1 \mp \alpha \\ \frac{1 \pm \alpha}{1 \pm \beta} = 1 \pm \alpha \mp \beta \\ (1 \pm \alpha)^n = 1 \pm n\alpha \\ \frac{1}{(1 \pm \alpha)^n} = 1 \mp n\alpha \end{array} \left| \begin{array}{l} \sqrt[n]{1 \pm \alpha} = 1 \pm \frac{1}{n} \alpha \\ \frac{1}{\sqrt[n]{1 \pm \alpha}} = 1 \mp \frac{1}{n} \alpha \\ \sqrt{A^2 \pm \alpha} = A \pm \frac{\alpha}{2A} \\ \sqrt[3]{A^3 \pm \alpha} = A \pm \frac{\alpha}{3A^2} \\ \sqrt[n]{A^n \pm \alpha} = A \pm \frac{\alpha}{nA^{n-1}} \end{array} \right.$$

Формулы справедливы при: $\alpha \ll 1$, $\beta \ll 1$, $\gamma \ll 1$, $\alpha \ll A$.

Дифференцирование функций

$$y = a; \quad dy = 0.$$

$$y = a + x; \quad dy = dx.$$

$$y = ax; \quad dy = adx.$$

$$y = x + z + t; \quad dy = dx + dz + dt.$$

$$y = xz; \quad dy = zdx + xdz.$$

$$y = \frac{x}{z}; \quad dy = \frac{zdx - xdz}{z^2}.$$

$$y = xzt; \quad dy = \left(\frac{dx}{x} + \frac{dz}{z} + \frac{dt}{t} \right) xzt = ztdx + xt dz + xzdt.$$

$$y = f(z); \quad z = F(t); \quad t = \varphi(x); \quad \frac{dy}{dx} = \frac{dy}{dz} \cdot \frac{dz}{dt} \cdot \frac{dt}{dx}.$$

$$y = x^m; \quad dy = mx^{m-1}dx.$$

$$y = \frac{a}{x}; \quad dy = -\frac{a}{x^2} dx.$$

$$y = \sqrt{x}; \quad dy = \frac{dx}{2\sqrt{x}}.$$

$$y = \frac{1}{\sqrt{x}}; \quad dy = -\frac{dx}{2\sqrt{x^3}}.$$

$$y = \frac{1}{x^m}; \quad dy = -\frac{mdx}{x^{m+1}}.$$

$$y = e^x; \quad dy = e^x dx.$$

$$y = a^x; \quad dy = a^x \ln a dx.$$

$$y = \ln x; \quad dy = \frac{dx}{x}.$$

$$y = \lg x; \quad dy = \frac{\lg e}{x} dx.$$

$$y = \sin x; \quad dy = \cos x dx.$$

$$y = \cos x; \quad dy = -\sin x dx.$$

$$y = \operatorname{tg} x; \quad dy = \frac{dx}{\cos^2 x}.$$

$$y = \operatorname{ctg} x; \quad dy = -\frac{dx}{\sin^2 x}.$$

$$y = \sec x; \quad dy = \operatorname{tg} x \sec x dx.$$

$$y = \operatorname{cosec} x; \quad dy = -\operatorname{ctg} x \operatorname{cosec} x dx.$$

$$y = \arcsin x; \quad dy = \frac{dx}{\sqrt{1-x^2}}.$$

$$y = \arccos x; \quad dy = -\frac{dx}{\sqrt{1-x^2}}.$$

$$y = \operatorname{arctg} x; \quad dy = \frac{dx}{1+x^2}.$$

$$y = \operatorname{arctg} x; \quad dy = -\frac{dx}{1+x^2}.$$

$$y = \operatorname{arcsec} x; \quad dy = \frac{dx}{x\sqrt{x^2-1}}.$$

$$y = \operatorname{arccosec} x; \quad dy = -\frac{dx}{x\sqrt{x^2-1}}.$$

$$y = f(x, z, t); \quad dy = \frac{\partial f}{\partial x} dx + \frac{\partial f}{\partial z} dz + \frac{\partial f}{\partial t} dt.$$

II. Основы применения программируемых микрокалькуляторов при решении задач кораблевождения

Большую помощь в эффективном решении задач кораблевождения оказывает применение малой вычислительной техники — программируемых микрокалькуляторов (ПМК). С 1988 г. на корабли ВМФ поставляется штурманский вычислительный комплект (ШВК) «Электроника

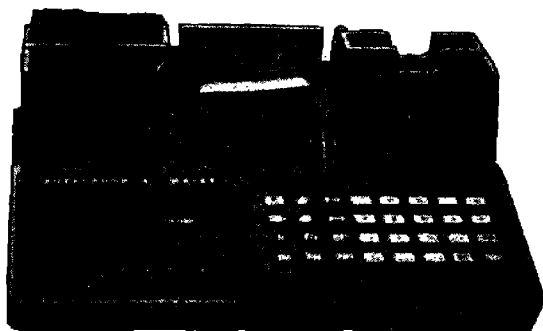


Рис. 1

МК-52-Астро», в состав которого входят ПМК «Электроника» МК-52 и блок расширения памяти БРП-2 «Электроника-Астро» (рис. 1). Отечественные микрокалькуляторы типа «Электроника» БЗ-34, МК-52,

МК-54, МК-56, МК-61 имеют единый язык программирования и близкую символику записи команд на пульте управления, поэтому все программы вычислений на ПМК, помещенные в данной книге, могут быть реализованы на любом из перечисленных микрокалькуляторов. Наиболее удобны для штурманских вычислений МК-52 и МК-61, имеющие команды перевода градусной (часовой) меры углов в градусы (часы) и их десятичные доли, и команды обратного перевода, а также ряд дополнительных команд, облегчающих штурманские расчеты.

Программы навигационных вычислений на ПМК, кроме данной книги, можно найти в пособиях: «Методика обработки навигационных измерений с оценкой точности», № 9257, ГУНиО МО, 1985 (с приложением «Сборник программ (СП-1-84)»), «Астронавигационный альманах на 1986—1990 гг.», № 9009, ГУНиО МО, 1987, «Микрокалькулятор в кораблевождении», М., Воениздат, 1989. Соответствие между символами записи команд в тексте указанных пособий и на пультах ПМК приведено в табл. 1.

Таблица 1

Команда	Символ команды		
	Пособия № 9035.1, 9257, 9009	БЗ-34	МК-52, МК-54, МК-56, МК-61
Запись в память	П; xП	П	x → П
Вызов из памяти	ИП; Пх	ИП	П → x
Разделение вводимых чисел	↑	↑	B ↑
Обмен содержимым регистров x и y	→ xy; ⇐	↔ xy	↔
Операция деления	:	÷	÷
Вычисление арксинуса	F arcsin	F arcsin	sin ⁻¹
Вычисление арккосинуса	F arccos	F arccos	cos ⁻¹
Вычисление арктангенса	F arctg	F arctg	tg ⁻¹
Кольцевое перемещение информации в стековой памяти	○	○	○

Микрокалькулятор МК-52, в отличие от других ПМК, обладает двумя важными для штурмана особенностями:

— имеет полупостоянное запоминающее устройство (ППЗУ), позволяющее разместить в нем пять программ (по 98 шагов каждая) и хранить их при выключенном питании сроком до полугода; в рабочую программную память эти программы вызываются по мере необходимости;

— позволяет подключить дополнительно блок расширения памяти БРП-2 «Электроника-Астро», предназначенный для постоянного хранения программ, записанных на заводе-изготовителе; в нем же могут храниться массивы исходных данных для решения навигационных или астронавигационных задач; объем одновременно считываемой из БРП-2 программы может быть до 98 шагов.

Блок расширения памяти БРП-2 «Электроника-Астро» содержит программы, приведенные в табл. 2.

Кроме того, в БРП-2 содержится таблица экваториальных координат 35 навигационных звезд, обеспечивающая их расчет до 2000 г.

с точностью до $0,1'$, а в руководстве по эксплуатации БРП-2 имеются исходные данные еще для 80 звезд. Координаты Солнца до 2000 г. также вычисляются с точностью до $0,1'$.

Таблица 2

Программа	Время счета, мин	Количество шагов
Вычисление $t_{гр}^{\cap}$, δ^{\odot} , α^{\odot} , $t_{гр}^{\ominus}$, R^{\odot}	4	546
Вычисление $t_{гр}^{\cap}$, δ^{\star} , α^{\star} , $t_{гр}^{\times}$	5	217
Вычисление δ , $t_{гр}$ Луны и планет по исходным данным из АНА 86—90 гг.	5,5	182
Вычисление высоты и азимута светила	1	73
Вычисление элементов высотной линии положения $n = h - h_c$ и $ИП_c$	6—7	640
Уточнение места корабля по одной высотной линии положения	1,5	91
Вычисление координат обсервованного места корабля, с оценкой его точности, по двум и более линиям положения (обобщенный метод наименьших квадратов)	3,5—4,5	259
Вычисление широты места по высоте Полярной звезды	6	49
Опознавание наблюдаемого светила	3,5	119
Вычисление судового времени восхода и захода Солнца, наступления сумерек	6	133
Исправление измеренных высот светил	1,3	98
Вычисление экваториальных координат светил с использованием МАЕ	2	91
Вычисление координат счислимого места по пути и плаванью	2	126
Вычисление доксодромического расстояния и пути для перехода из одной точки в другую	2	154
Вычисление ортодромического расстояния и пеленга (начального курса)	2	245
Вычисление геодезической линии при расстоянии более 100 км	3	98
Решение прямой геодезической задачи при расстоянии до 1000 км	3	154
Решение обратной геодезической задачи при расстоянии до 1000 км	3,5	273

Примечание. Программы, имеющие объем более 98 шагов, вводятся в программную память и реализуются по частям.

Другие навигационные и астронавигационные программы даны в данной книге и в упомянутых выше пособиях.

Ввод программы в рабочую программную память ПМК. Программы для ПМК могут быть записаны в построчной или табличной форме.

В *построчной форме* (см., напр., программы в гл. 1, 5, 7, 9, 12, 13) команды располагаются слева направо по 10 команд в строке и в конце записи указывается в скобках общее количество шагов в программе — оно служит для контроля ввода команды по показанию счетчика поступивших команд на табло ПМК. Адрес любой команды в случае необ-

ходности легко устанавливается по номеру строки (сверху вниз) и месту команды в строке.

В *табличной форме* (см. напр., программы в гл. 22—26 и в табл. 3 настоящего приложения) указываются номер (адрес) каждого шага начиная с исходного 00, содержание команды на каждом шаге, код команды на табло ПМК; иногда дается значение каждой команды для реализации алгоритма решения задачи.

Для *ввода программы* вначале дают команду перехода ПМК в режим записи программы В/О F ПРГ, нажимая на пульте ПМК соответствующие этим символам клавиши; после этого на табло высветится 00 — запрос начального шага программы.

Затем вводят команды последовательно нажимая клавиши, соответствующие символам, записанным в каждом шаге программы. На табло при этом высвечиваются: номер очередного запрашиваемого шага и коды трех последних введенных команд. Исправление ошибочно введенной команды выполняется путем сдвига программы на шаг влево клавишей $\overleftarrow{\text{ШГ}}$ или на шаг вправо клавишей $\overrightarrow{\text{ШГ}}$ и вводом правильной команды.

По окончании ввода программы дают команду перехода ПМК в режим автоматического вычисления: F АВТ.

Необходимо неукоснительно придерживаться правила: *введенная программа должна быть немедленно проверена.*

Эта проверка осуществляется наиболее надежно просмотром всей программы по кодам команд: дают команду В/О F ПРГ и нажимая клавишу $\overrightarrow{\text{ШГ}}$ последовательно проверяют соответствие высвечиваемых кодов команд тем, которые записаны в таблице программы. Убедившись в правильности ввода программы, включают режим автоматических вычислений командами F АВТ.

Контроль ввода программы по количеству введенных шагов, высвечиваемых на табло при вводе, может указать лишь на пропуск какого-либо шага, но не на неверный ввод.

Следующей обязательной операцией является проверка правильности работы ПМК путем решения тестовой задачи. Тестовыми задачами могут служить примеры, помещенные в данной книге.

Выполнение вычислений на ПМК. Каждая программа сопровождается инструкцией, выполнение которой гарантирует получение правильного результата при соблюдении следующих общих требований:

— тщательно продумайте организацию ввода исходных данных: они должны быть представлены в той же последовательности, в какой будут вводиться в ПМК согласно инструкции или таблице прохождения информации (эти таблицы даны в разд. VII настоящей книги); однородные данные (например, серия отсчетов секстана и т. п.) должны вводиться в непрерывной последовательности;

— очищайте регистры операционной памяти ПМК до ввода данных, вводя последовательно *ноль* командами $x \rightarrow \text{П0}$, $x \rightarrow \text{П1}$, $x \rightarrow \text{П2}$, ..., $x \rightarrow \text{Пе}$;

— до начала вычислений проверьте правильность ввода исходных данных обратным их вызовом из регистров памяти в соответствии с таблицей прохождения информации или адресами их записи в программе. Помните, что *ошибки в результатах вычислений на ПМК в подавляющем большинстве случаев вызываются плохой подготовкой или неверным вводом исходных данных.*

Не пытайтесь экономить время вычислений путем сокращения контрольных операций: вы больше потеряете времени на поиски причин

ошибочного решения или создадите аварийную ситуацию, опираясь на результаты вычислений, ошибочность которых не смогли установить. Исправный ПМК не ошибается; ошибки вносятся неверными действиями оператора на пульте.

При вводе данных обязательно обратите внимание на *системы счета вводимых координат и не забудьте ввести их знаки*, оговоренные в инструкциях: в разных программах эти системы счета могут быть различными. Например, в некоторых иностранных пособиях западным долготам приписывают знак *плюс*, азимут считают от точки юга и т. п. На это же надо обращать внимание при записи результатов вычислений.

После ввода данных проверьте положение переключателей:

Д—П (данные—программа), который должен быть в положении П;

Р—ГРД—Г (радианы—градусы—градусы), который при решении навигационных задач чаще всего ставится в положение Г, что оговаривается в инструкции к программе; измерения в градах в штурманской практике не употребляются;

С—З—СЧ (стирание—запись—считывание), который ставится в положение СЧ.

Счет с начального шага начинается по команде В/О С/П. Результаты вычислений после останова счета находятся на табло и по адресам, указанным в инструкции и в таблице прохождения информации по данной программе. Обратите внимание на то, что в адресуемом регистре памяти и на табло полученная величина может быть в разной размерности, что оговаривается в инструкции.

Работа с ППЗУ МК-52. Вызов программ при работе с БРП-2 «Электроника-Астро» детально описан в руководстве по его эксплуатации и частично в Астронавигационном альманахе на 1986—1990 гг. Хранение других программ при выключенном питании ПМК осуществляется с помощью ППЗУ.

Адресное поле памяти ППЗУ удобно представить в виде таблицы из 64 строк (номера 00—63) по 16 четырехбитовых ячеек в каждой строке (один бит—элементарная единица информации; двоичный разряд, принимающий значения 0 и 1):

Номер строки	Адреса ячеек памяти ППЗУ															
00	0000	0001	0002	0003	0004	0005	0006	0007	...	0013	0014	0015				
01	0016	0017	0018	0019	0020	0021	0022	0023	...	0029	0030	0031				
02	0032	0033	0034	0035	0036	0037	0038	0039	...	0045	0046	0047				
..
..
63	1008	1009	1010	1011	1012	1013	1014	1015	...	1021	1022	1023				

Емкость одного адресуемого регистра памяти ПМК равна 56 битам. Поэтому для хранения в ППЗУ содержимого *одного регистра памяти* требуется занять $56 : 4 = 14$ ячеек памяти ППЗУ.

При работе ППЗУ ввод в него или считывание информации осуществляется «пачками», содержащими 14 ячеек памяти ППЗУ. Например, при вводе содержимого регистра памяти 0 по начальному адресу ППЗУ 0000 содержимое регистра займет ячейки от 0000 до 0013 включительно; содержимое следующего регистра памяти 1 займет ячейки 0014—0027 и т. д. Если же начать ввод данных из регистровой памяти с 50-й строки, начинающейся с адреса 0800, то регистр 0 разместится в ячейках 0800—0813 и т. д.

Все 15 регистров памяти МК-52 (от адреса $P \rightarrow x_0$ до адреса $P \rightarrow x_e$) требуют для размещения $15 \times 14 = 210$ ячеек памяти ППЗУ. Но по конструкции ПМК в адресе обращения к ППЗУ, для указания длины занимаемого по этому адресу участка памяти ППЗУ, выделено только двузначное число от 00 до 98, каждая единица которого принята равной длине двух ячеек (8 битам); это двузначное число обозначается НН. Следовательно, по заданному одному адресу можно записать максимум $98 \times 2 = 196$ ячеек памяти ППЗУ или, иначе говоря, содержащее только первых 14 регистров памяти ПМК. По этой причине не следует заносить по адресу $x \rightarrow P_e$ данные для последующего их размещения в ППЗУ.

Содержимое регистров памяти ПМК переписывается в память ППЗУ и считывается оттуда в строгом порядке: обязательно начиная с регистра $P \rightarrow x_0$; в ходе записи в ППЗУ содержимое регистров памяти ПМК стирается.

Адрес обращения к ППЗУ символически представляется семизначным числом, набираемым на табло с помощью клавиатуры пульта ПМК. В буквенной записи адрес обращения можно представить в виде ЦААААНН.

В этой записи буквы означают:

Ц — место любого числа от 1 до 9; это число выбирает сам штурман, оно может обозначать номер задачи, номер программы и т. п.;

АААА — адрес начальной ячейки памяти ППЗУ, с которой начнется запись данных из памяти ПМК или же программы из программной памяти ПМК;

НН — длину записываемой информации (занимаемой в памяти ППЗУ зоны) в шагах, по 8 бит каждый.

Емкость одной ячейки программной памяти ПМК равна 8 битам. Однократно из ППЗУ может быть считана программа длиной не более 98 шагов. Поэтому программы, содержащие более 98 шагов, могут быть занесены в ППЗУ только по нескольким адресам и считываются для реализации по частям.

Полная емкость памяти ППЗУ равна 512 шагам программ, но необходимо учитывать особенности стирания из ППЗУ старых данных или старых программ: эта очистка происходит полными строками по 16 ячеек памяти (по 8 шагов программы). Например, если какая-то программа начиналась с ячейки 0013 и оканчивалась ячейкой 0195, то при ее стирании очистятся все ячейки от 0000 до 0207 включительно. По этой причине каждую новую запись в ППЗУ лучше начинать с начальной ячейки строки (0000, 0016, 0032, . . . 0192, 0208, . . . 0352, . . . и т. п.), а не с любой свободной ячейки.

Адрес начальной ячейки строки находится по формуле $A_0 = \text{АААА} = 16C$, где номер строки C имеет значение от 0 до 63 включительно.

Адрес конечной ячейки, занимаемой вводимой программой или вводимыми данными из регистров памяти ПМК, находится по формуле $A_k = \text{АААА} = A_0 + 2 \times \text{НН} - 1$.

Например, если какая-то программа № 1 из 98 шагов вводится начиная с ячейки 0000, то ее адрес в полной записи будет 1000098 и последняя занятая программой ячейка ППЗУ имеет адрес $A_k = 0 + 2 \times 98 - 1 = 0195$ на строке $C = 12$. Если далее необходимо ввести программу № 2 из 77 шагов, то ее запись лучше начать со строки $C = 13$ по начальному адресу $A_0 = 16 \times 13 = 208$; конечной ячейкой будет $A_k = 208 + 2 \times 77 - 1 = 0361$; полная запись адреса для ввода или вывода программы № 2 имеет вид 2020877.

При записи в ППЗУ данных из регистровой памяти ПМК учитывается, что каждый регистр памяти занимает 7 шагов (14 ячеек) в ППЗУ. Если, например, требуется записать в ППЗУ данные из девяти регистров памяти ПМК, то это потребует $9 \times 7 = 63$ шага (126 ячеек). Удобно размещать данные в конце поля памяти ППЗУ, например, начиная со строки $C=50$. Тогда $A_0 = 16 \times 50 = 0800$ и $A_k = 800 + 2 \times 63 - 1 = 0925$, полный адрес получается -1080063 (здесь перед адресом поставлен знак *минус*, который служит символом принадлежности этого адреса к вводу или выводу данных, в отличие от адресов программ). Во всех случаях составления адреса программы или данных число НН должно быть кратным 7.

Операцию размещения программ и данных в ППЗУ можно автоматизировать с помощью приведенной в табл. 3 программы для расчета A_0 и A_k по известному начальному адресу предыдущей записан-

Таблица 3

Адрес	Команда	Код	Адрес	Команда	Код
	В/О F ПРГ				
00	П→x3	63	24	x→Pd	4Г
01	x→Пb	4L	25	K {x}	35
02	7	07	26	Fx ≠ 0	57
03	:	13	27	36	36
04	x→Пc	4C	28	П→xd	6Г
05	K {x}	35	29	K [x]	34
06	Fx ≠ 0	57	30	1	01
07	15	15	31	+	10
08	П→xc	6C	32	1	01
09	K [x]	34	33	6	06
10	1	01	34	×	12
11	+	10	35	x→Па	4—
12	7	07	36	П→xb	6L
13	×	12	37	2	02
14	x→Пb	4L	38	×	12
15	П→x2	62	39	П→xa	6—
16	2	02	40	+	10
17	×	12	41	1	01
18	П→x1	61	42	—	11
19	+	10	43	x→Pd	4Г
20	x→Па	4—	44	П→xa	6—
21	1	01	45	С/П	50
22	6	06		F АВТ	
23	:	13			

ной программы $A_{оп}$ и ее числу шагов $НН_n$ (или записанных в ППЗУ данных) и по заданному числу шагов новой вводимой программы НН (или числу считываемых регистров памяти ПМК, умноженному на 7).

Исходные данные и результаты размещаются в регистровой памяти ПМК по адресам:

$A_{оп}$ $x \rightarrow П1$	$П \rightarrow xa$ A_0
$НН_п$ $x \rightarrow П2$	$П \rightarrow xb$ $НН$
$НН$ $x \rightarrow П3$	$П \rightarrow xd$ A_k

Например, если ранее в ППЗУ была записана программа по адресу 2020877 и необходимо записать новую информацию из 98 шагов с ближайшей новой строки, то число 208 вводит по адресу $x \rightarrow П1$, число 77 по адресу $x \rightarrow П2$, число 98 по адресу $x \rightarrow П3$. Командой В/О С/П начинают счет и после окончания получают:

на табло и по адресу $П \rightarrow xa$ начальный адрес ввода $A_0 = 368$;

по адресу $П \rightarrow xd$ адрес конечной ячейки $A_k = 563$. Полный адрес новой программы или введенных данных будет Ц036898.

Рекомендуется записывать и иметь при ПМК все адреса занесенных в ППЗУ программ и данных, что избавит от случайного их стирания и искажения. Необходимо также оградить подготовленный для работы в море ПМК от любителей «тыкать пальцем» в его клавиатуру.

Операции ввода программы в ППЗУ, ввода данных в ППЗУ, вызова программы и данных из ППЗУ, режима навигационных вычислений показаны в необходимой последовательности на рис. 2.

Например, *ввод программы в ППЗУ* включает последовательное выполнение операций: переключатель С — З — С4 поставить в режим С, переключатель Д — П поставить в режим П, набрать на табло адрес программы, ввести адрес командой $A \uparrow$, очистить все ячейки в строках с этим адресом командой $\uparrow \downarrow$; переключатель С — З — С4 поставить в режим З, проверить положение переключателя Д — П в режиме П, включить режим программирования командами В/О F ПРГ, ввести в программную память ПМК необходимую программу и выполнить контроль ее ввода (правила его указаны выше), включить режим автоматических вычислений командами F АВГ, записать программу в ППЗУ командами $A \uparrow \uparrow \downarrow$. Для вызова программы из ППЗУ набрать на табло ее адрес, переключатель С — З — С4 поставить в режим С4, переключатель Д — П поставить в режим П, командами $A \uparrow \uparrow \downarrow$ записать программу из ППЗУ в программную память ПМК.

Последовательное положение переключателей при вводе данных в ППЗУ и в режиме навигационных вычислений с ППЗУ показаны в правой и нижней частях рис. 2.

Если ПМК длительное время не был в работе, то рекомендуется после записи программы или данных из ППЗУ проверить их правильность пошаговым просмотром программы и всех регистров памяти ПМК.

При работе ПМК в режиме стирания С одновременно с очисткой заданного адресом участка ППЗУ происходит стирание информации либо в программной памяти (включен режим П), либо в регистровой памяти (включен режим Д). Если требуется сохранить данные, ранее имевшиеся в регистровой памяти, то стирание надо выполнить включив режим П; если же требуется сохранить имеющуюся в программной памяти программу, то стирание надо производить при включенном режиме Д.

Основные правила подготовки исходных данных и оценки результатов вычислений на ПМК. Точность результатов вычислений на ПМК зависит от качества подготовки исходных данных, их точности и правильного ввода.

ОПЕРАЦИИ С ПЗУ МИКРОКАЛЬКУЛЯТОРА МК-52

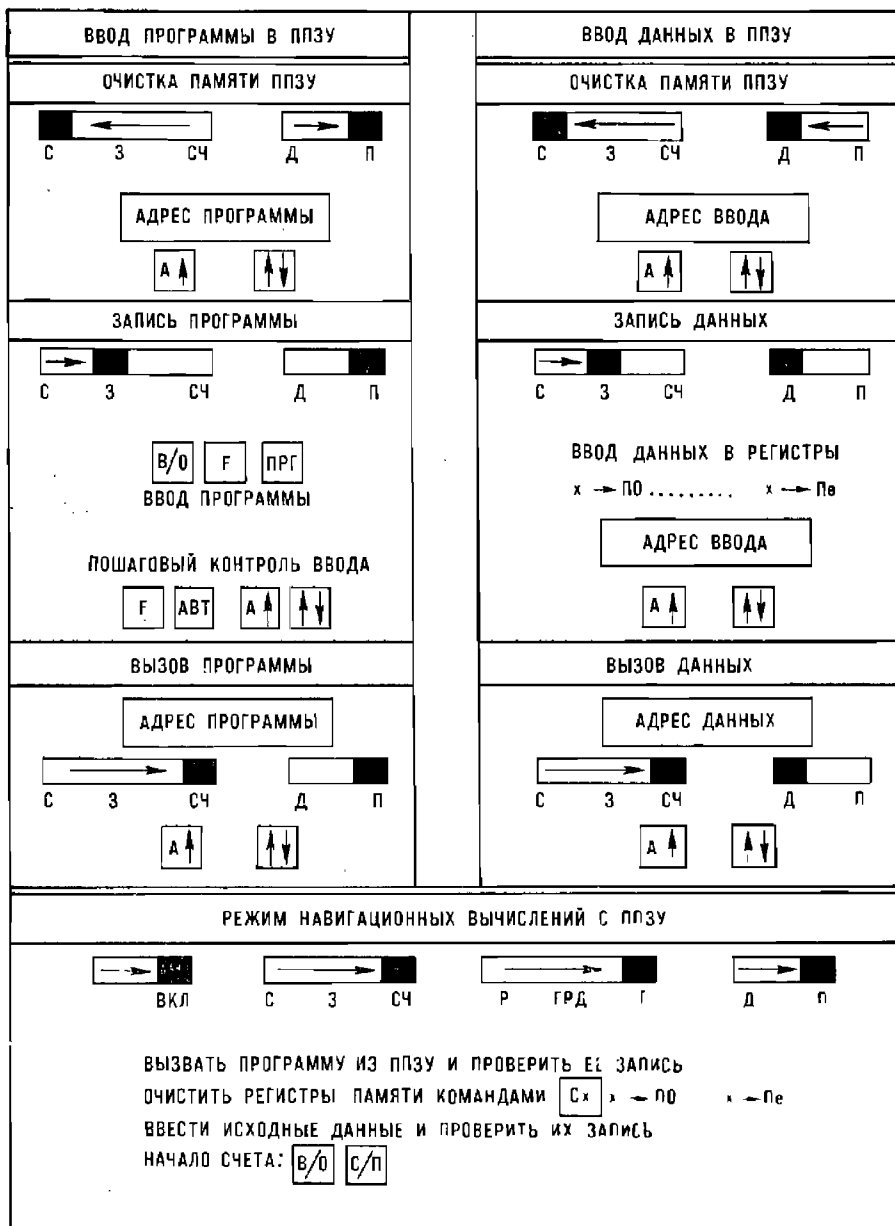


Рис. 2

При решении задач кораблевождения исходными данными являются в той или иной степени приближенные величины (известные с ограниченной точностью). Они являются результатами измерений средствами навигации, выбора из навигационных пособий, измерений на картах и т. п.; характеристика их точности дается в соответствующих главах книги. Поэтому результат вычислений на сколь угодно совершенной ЭВМ также является приближенным; всегда следует помнить, что *точность результата вычислений не может быть выше точности исходных данных.*

В результате вычислений с приближенными числами будет не более верных значащих цифр, чем их было в более грубом исходном числе (значащими называются все цифры числа, кроме нулей, расположенных левее первой отличной от нуля его цифры, и нулей справа, стоящих вместо неизвестных цифр). Например, при умножении числа 2,3212 на число 0,34 математически получается число 0,789208, но верны в нем только первые две цифры после запятой (как в грубейшем сомножителе) и результат надо записать как 0,79; при извлечении квадратного корня из числа 0,13 получается 0,360555127, но верным результатом будет только 0,36; при возведении в квадрат числа 0,38 получается 0,1444, но верным в этом числе является только 0,14. Если в расчеты были введены численные широта и долгота, измеренные по путевой карте масштаба 1:200 000, и координаты светила из МАЕ или АНА-86-90 (известные с точностью до 0,1'), то вычисленные высота и азимут не могут быть точнее 0,1—0,2' при пользовании любой ЭВМ.

При задании исходных данных до 0,1' = 0,0017° в вычислениях на ПМК достаточно удерживать четвертый знак после запятой, а в результате производить округление до третьего знака после запятой, так как все более мелкие доли градуса недостоверны. Их удержание создаст опасную иллюзию о точности результата и является вредным.

ПМК как вычислительное средство обладает рядом вычислительных погрешностей, обусловленных ограниченным числом разрядов в мантиссах вводимых чисел и регистрах стековой памяти, ограниченной точностью вычисления элементарных функций по жестко зашитым в ПЗУ программам (например, в МК-52 функция \sqrt{x} вычисляется с относительной погрешностью $1 \cdot 10^{-4}$). Эти погрешности должны учитываться при составлении программ: следует избегать многократного повторения операций \sqrt{x} и x^y , вычисления разности близких по величине чисел и деления на их разность и др. *Вообще следует стремиться к наименьшему числу операций в формулах, составляющих алгоритм решения задачи.*

В общем виде средняя квадратическая погрешность $m_{сл}$ результата навигационных вычислений на ПМК может быть представлена следующей формулой

$$m_{сл} = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2},$$

где m_1 — СКП, обусловленная погрешностями вводимых исходных данных;

m_2 — СКП, обусловленная методом решения (погрешностями модели решаемой задачи, приближенностью формул алгоритма);

m_3 — СКП, обусловленная вычислительными погрешностями ПМК.

При решении астронавигационных задач, например, с использованием данных из МАЕ или АНА-86-90 при расчетах высоты $m_1 \approx 0,05'$, при расчетах азимута $m_1 \approx 0,08'$.

Величина m_2 в навигационных задачах может быть следствием пренебрежения погрешностями замены эллипсоида шаром, замены ортодромических направлений локсодромическими, замены изолиний навигационных параметров линиями положения и др. Для уменьшения влияния этих причин может применяться итерационный метод (первый результат принимается в качестве первого приближения и вводится взамен исходных численных данных), косвенные методы решения задачи определения места корабля могут заменяться прямыми и т. п. Величина m_2 может быть сведена к несущественному минимуму путем точной подготовки исходных данных и правильного составления алгоритма решения.

Вычислительная погрешность ПМК составляет при решении навигационных и астронавигационных задач величину $m_3 \approx 0,05'$, поскольку натуральные величины \sin , \cos , \lg , \arcsin , \arccos , \arctg на МК-52 вычисляются с шестью верными цифрами.

Так как погрешности вычислений следуют нормальному закону, то для оценки предельной погрешности решения задач кораблевождения на ПМК величину $m_{\text{ср}}$ надо утроить: расстояния, высоты светил, курсы, пеленги при корректном вводе исходных данных получаются с погрешностью до $0,2'$ в средних условиях.

При расчетах на ПМК, как и вообще при работе штурмана с высокоавтоматизированными средствами навигации, иногда возникает опасность отрыва его от реальной морской обстановки и среды, в которой движется корабль; штурман начинает «управлять» не движением корабля в реальной среде, а «зелеными глазами» цифровых индикаторов и дисплеев, что ведет к промахам и аварийным ситуациям. Меры по предотвращению промахов в работе оператора с ПМК были указаны выше при описании процесса вычислений.

Меры выявления промахов в результатах вычислений, в том числе при работе с ПМК, должны быть сведены в систему и применяться неукоснительно: пока контроль не произведен — вычисления не закончены. Этот контроль может осуществляться по специальным контрольным формулам, применением дублирующих вычислительных средств (хотя бы и меньшей точности — например, номограмм), сравнением вычисленных навигационных параметров с наблюдаемыми, по дополнительной независимой навигационной информации, выполнением вычислений по другой системе формул с новым вводом исходных данных, повторением или параллельным выполнением решения другим оператором независимо от первого.

Не конкурируя со специализированными навигационными ЭВМ, универсальными ЭВМ и персональными компьютерами по объему обрабатываемой информации, уровню программ и быстродействию, ПМК позволяет решать задачи кораблевождения на более высоком научном уровне, освобождает от рутинного вычислительного труда на ходовом мостике корабля, существенно повышает точность и надежность обработки навигационной информации. В итоге освобождается время для творческого анализа обстоятельств плавания и принятия обоснованных решений по управлению кораблем с предвидением наступающих событий и изменений в обстановке плавания.

Достоинствами ПМК является его доступность на кораблях любых классов, возможность работы с ним в любом удобном месте, универсальность питания, небольшие габариты и простота работы на пульте, прямое указание команд на клавиатуре пульта и простота языка программирования. Сочетание точности результата с высокой надежностью при приемлемых в большинстве случаев штурманской практики затра-

тах времени — основное достоинство решения задач кораблевождения на ПМК. Имеющиеся у штурмана личные возможности оптимизировать стандартные программы с учетом опыта плавания, формулировать и лично программировать новые навигационные задачи, вырабатывать в себе алгоритмический эвристический стиль мышления для творческого решения навигационных задач — полезные в штурманской службе стороны работы с ПМК, дающие необходимые навыки для работы с ЭВМ более высокого уровня. При наличии на корабле специализированных навигационных ЭВМ программируемые микрокалькуляторы могут рассматриваться как дублирующее и резервное автономное вычислительное средство.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ В ОЦЕНКЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ НАВИГАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ

1. Теория вероятностей изучает статистические закономерности, присущие массовым событиям случайного характера. Большая Советская Энциклопедия дает ей такое определение: «Теория вероятностей — математическая наука, позволяющая по вероятности одних случайных событий находить вероятность других случайных событий, связанных каким-либо образом с первыми».

2. Случайным считается такое событие, наступление которого нельзя предсказать абсолютно точно, но можно оценить вероятность его появления. Вероятность наступления (появления) случайного события — это мера объективной возможности его появления в определенных условиях, могущих повторяться неограниченное число раз.

Численное значение вероятности случайного события определяется как отношение числа случаев n , благоприятствующих появлению данного события, к общему числу всех возможных случаев N , т. е.

$$P = \frac{n}{N}.$$

Вероятность можно выражать и в процентах, если умножить отношение $\frac{n}{N}$ на 100.

Измерение навигационного параметра можно рассматривать как случайное событие, так как на результат измерения оказывают влияние многочисленные случайные факторы, искажая его результат.

К случайным факторам относятся:

- несовершенство органов чувств наблюдателя;
- несовершенство измерительных устройств, используемых при измерениях;
- влияние внешних условий.

3. Случайные события являются *независимыми*, если появление или непоявление одного события не изменяет вероятность появления другого события, и *зависимыми*, когда такая зависимость между вероятностью появления случайных событий имеется.

4. Погрешности измерений (наблюдений) принято подразделять на три основные группы, отличающиеся своими свойствами и характером влияния на результаты измерений.

Первую группу составляют систематические погрешности, подразделяющиеся в свою очередь на методические и повторяющиеся. Они носят характер погрешностей, изменяющих результаты всех измерений в ряду (в серии) на одну и ту же величину или по заранее известному закону, позволяющему предвычислить величину и знак систематической погрешности для каждого измерения в серии. Поэтому задачей наблюдателя после производства наблюдений является определение систематической погрешности каждого замера и исправление результатов измерений поправкой, равной по абсолютной величине значению систематической погрешности, но противоположной ей по знаку.

Вторую группу составляют случайные погрешности. Случайные погрешности в отличие от систематических изменяют свои величину и знак таким образом, что заранее предсказать их значения для каж-

дого замера и тем самым конкретную величину, на которую они изменяют результат измерения, невозможно. Случайные погрешности обладают тремя важными свойствами. Во-первых, случайные погрешности в данной серии измерений, как правило, не могут превышать по абсолютной величине некоторого определенного значения. Во-вторых, малые по абсолютной величине случайные погрешности появляются в измерениях чаще, чем большие. Наконец, в-третьих, при большом числе измерений погрешности с положительным знаком встречаются (в среднем) так же часто, как и равные им по абсолютной величине с отрицательным знаком.

Закономерности теории вероятностей применимы только к случайным погрешностям.

К третьей группе погрешностей относятся грубые ошибки или промахи. Они возникают в результате нарушений (промахов) наблюдателем методики и правил производства измерений. Причины, порождающие промахи, чаще проявляются у наблюдателей, имеющих слабые практические навыки или выполняющих измерения в состоянии крайнего переутомления, а также при выполнении измерений в непривычной (неблагоприятной) обстановке, без соблюдения рекомендаций по мерам самоконтроля. Промахи при измерениях могут также возникнуть в результате пользования неисправным инструментом (прибором) или из-за неучета резких аномалий, сильно изменяющих состояние внешней среды, а следовательно, и условий производства измерений.

По абсолютной величине промахи вызывают изменения результатов измерений, как правило, во много раз превышающие те изменения, которые вызваны влиянием случайных погрешностей, свойственных данной серии измерений. По этой причине наблюдения (измерения), содержащие промахи, должны быть своевременно обнаружены и исключены из дальнейшей обработки. Признаком, указывающим на наличие в измерении промаха, является резкий «выброс» результата из общего согласующегося ряда.

5. В зависимости от характера измеряемых величин и случайных факторов, влияющих на результаты измерений, случайные погрешности могут изменять закон распределения, а следовательно, и математическую зависимость, существующую между вероятностью появления погрешностей случайного характера и их абсолютной величиной.

В кораблевождении наибольшее применение получил нормальный закон распределения случайных погрешностей (закон Гаусса), при котором вероятность того, что случайная погрешность измерения лежит в пределах от 0 до z_3 , определяется интегралом вида:

$$P = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{z_3} e^{-\frac{z^2}{2}} dz,$$

где π — постоянная, равная 3,14159...;

e — основание натуральных логарифмов, равное 2,71828...;

z — переменная интегрирования.

Кроме закона нормального распределения иногда при решении задач кораблевождения пользуются:

- законом равномерного распределения;
- законом треугольника;
- законом Релея;
- законом редких событий (закон Пуассона).

Закон равномерного распределения случайных погрешностей применяется при оценке погрешностей, происходящих от округления отсчетов по шкалам, а также от округления чисел, выбираемых из таблиц или вносимых в таблицы при их составлении.

Средняя квадратическая погрешность отсчета вычисляется по формуле

$$\sigma = \frac{l}{\sqrt{3}},$$

где l — половина минимального, уверенно различимого деления шкалы или ее части.

Величину l принимают равной:

0,5 — при округлении чисел до целой единицы последнего знака;

0,5° — при отсчете пеленгов или курсов по картушке компаса, имеющей градусные деления;

$\frac{1}{5}$ — цены минимального деления шкалы — при отсчете расстояния по боковой рамке карты или при снятии координат точки с карты.

Закон треугольника применяется при оценке точности величин, выбираемых из различных таблиц на промежуточное значение аргумента. Средняя квадратическая погрешность интерполяции согласно этому закону равна 0,23 единицы последнего знака (разряда).

С учетом ошибок округления любая табличная величина, выбираемая на промежуточное значение аргумента, обладает средней квадратической погрешностью 0,37 единицы последнего знака (разряда).

Закон Релея применяется для определения вероятности попадания в круг радиусом r случайной точки, имеющей круговое рассеяние со средней квадратической погрешностью σ по заданному направлению. Эта вероятность определяется уравнением вида:

$$P = 1 - e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}}.$$

Закон редких событий (закон Пуассона) применяется для оценки вероятности какого-либо случайного события в зависимости от величины параметра Q , определяемого опытным путем или априорно на основе анализа обстановки. Между вероятностью случайного события и параметром Q существует зависимость:

$$P = 1 - e^{-Q}.$$

Вероятность погрешности по направлению, выраженная в величине средней квадратической погрешности, может быть получена из нижеприведенной таблицы.

Q	0,0	0,5	0,6745	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,3
P	0,000	0,383	0,500	0,683	0,866	0,954	0,988	0,997	0,999

6. Погрешность округления табличных значений любых величин оценивается величиной, равной $\pm 0,29$ единицы последнего знака (разряда), как средней квадратической ошибкой этой величины.

7. Нередко некоторые величины определяют не прямым их измерением, а получают косвенным путем, через измерения других величин, с которыми эти некоторые величины связаны известной зависимостью,

Например, величины x_1 и x_2 связаны с некоторой величиной l , допустимой для прямого измерения, линейной зависимостью вида:

$$ax_1 + bx_2 = l,$$

где a и b — коэффициенты, не содержащие ошибок.

Произведя несколько измерений величины l (больше числа искомых величин), можно составить ряд уравнений:

$$a_1x_1 + b_1x_2 = l_1,$$

$$a_2x_1 + b_2x_2 = l_2,$$

$$a_3x_1 + b_3x_2 = l_3.$$

Примечание. Для упрощения пример приводится с двумя величинами, отыскиваемыми по результатам трех независимых измерений величины l . Более общее решение этой задачи приводится в специальной литературе (Н. М. Груздев «Математическая обработка и анализ навигационной информации», М., Воениздат, 1979).

Приведенные выше три уравнения не являются точными равенствами, так как в измеренных величинах l_1 , l_2 и l_3 содержатся, в общем случае, различные по величине погрешности. Это значит, что такая система уравнений не является совместной, поэтому получение необходимых величин с наибольшей точностью требует специального приема. Таким приемом и является способ наименьших квадратов. Если бы нам удалось измеренные величины l_1 , l_2 и l_3 исправить поправками Δ_1 , Δ_2 и Δ_3 , чтобы уравнения превратить в точные равенства, то такая система уравнений была бы уже совместной, т. е.

$$a_1x_1 + b_1x_2 = l_1 + \Delta_1,$$

$$a_2x_1 + b_2x_2 = l_2 + \Delta_2,$$

$$a_3x_1 + b_3x_2 = l_3 + \Delta_3.$$

Теория показывает, что из множества возможных значений Δ приводит к отысканию наиболее вероятных значений искомых величин x_1 и x_2 такая лишь система поправок Δ , которая удовлетворяет условию, при котором сумма квадратов этих поправок будет наименьшей т. е. $\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 = \min$. На практике не удается определить значения поправок Δ_1 , Δ_2 и Δ_3 из непосредственных наблюдений. Однако при избыточном числе измерений соблюдение условия, при котором сумма квадратов этих поправок является минимальной, достигается за счет преобразования уравнений, полученных в результате измерения величины l и, следовательно, содержащих случайные погрешности, в систему нормальных уравнений, количество которых равно числу искомых величин.

Для нашего примера это выглядит следующим образом. Умножив все три исходных уравнения на соответствующий коэффициент при x_1 и сложив их, получим первое нормальное уравнение. А затем, умножив исходные уравнения на соответствующий коэффициент при x_2 и также сложив их, получим второе нормальное уравнение:

$$a_1a_1x_1 + a_1b_1x_2 = a_1l_1$$

+

$$a_2a_2x_1 + a_2b_2x_2 = a_2l_2$$

+

$$a_3a_3x_1 + a_3b_3x_2 = a_3l_3$$

$$(a_1a_1 + a_2a_2 + a_3a_3)x_1 + (a_1b_1 + a_2b_2 + a_3b_3)x_2 = a_1l_1 + a_2l_2 + a_3l_3$$

$$\begin{aligned}
 & b_1 a_1 x_1 + b_1 b_1 x_2 = b_1 l_1 \\
 + & \\
 & b_2 a_2 x_1 + b_2 b_2 x_2 = b_2 l_2 \\
 + & \\
 & b_3 a_3 x_1 + b_3 b_3 x_2 = b_3 l_3
 \end{aligned}$$

$$(b_1 a_1 + b_2 a_2 + b_3 a_3) x_1 + (b_1 b_1 + b_2 b_2 + b_3 b_3) x_2 = b_1 l_1 + b_2 l_2 + b_3 l_3.$$

Обычно нормальные уравнения записывают более кратко, а именно:

$$\begin{aligned}
 \sum a_i^2 x_1 + \sum a_i b_i x_2 &= \sum a_i l_i, \\
 \sum a_i b_i x_1 + \sum b_i^2 x_2 &= \sum b_i l_i.
 \end{aligned}$$

Приведенную систему нормальных уравнений можно решить известными алгебраическими приемами. В нашем случае

$$\begin{aligned}
 x_1 &= \frac{\sum a_i l_i \sum b_i^2 - \sum b_i l_i \sum a_i b_i}{\sum a_i^2 \sum b_i^2 - \sum a_i b_i \sum a_i b_i}; \\
 x_2 &= \frac{\sum a_i l_i \sum a_i b_i - \sum b_i l_i \sum a_i^2}{\sum a_i b_i \sum a_i b_i - \sum a_i^2 \sum b_i^2}.
 \end{aligned}$$

где $\sum a_i^2 = a_1^2 + a_2^2 + a_3^2,$
 $\sum b_i^2 = b_1^2 + b_2^2 + b_3^2,$
 $\sum a_i b_i = a_1 b_1 + a_2 b_2 + a_3 b_3,$
 $\sum a_i l_i = a_1 l_1 + a_2 l_2 + a_3 l_3,$
 $\sum b_i l_i = b_1 l_1 + b_2 l_2 + b_3 l_3.$

Примечания: 1. В случае неравноточных наблюдений должны учитываться их веса; при этом должно соблюдаться условие $p_1 \Delta_1^2 + p_2 \Delta_2^2 + p_3 \Delta_3^2 = \min$. В остальном порядок решения задачи аналогичен приведенному выше.

2. В случае зависимых наблюдений вместо весов используются величины C_{ij} (см. п. 17 приложения 3).

8. Случайная погрешность, имеющая определенное направление своего действия, называется векториальной погрешностью. При совместном действии на плоскости двух и более векториальных погрешностей, имеющих разное направление действия, геометрической фигурой, характеризующей кривую, все точки которой имеют одинаковую плотность вероятности, является *эллипс* (рис. 1), полуоси которого через векториальные погрешности выражаются следующей системой уравнений:

$$\begin{aligned}
 a^2 + b^2 &= V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_n^2; \\
 a^2 - b^2 &= \bar{V}^2,
 \end{aligned}$$

где a — большая полуось эллипса погрешностей;

b — малая полуось эллипса погрешностей;

V^2 — сумма квадратов модулей векториальных погрешностей, образующих данный эллипс;

\bar{V}^2 — геометрическая сумма квадратов векториальных погрешностей проведенных по направлению удвоенного угла, характеризующего направление каждой векториальной погрешности.

Графически получение геометрической суммы квадратов векторных погрешностей производится методом построения квадратичного полигона. Направление большой полуоси эллипса совпадает с биссектрисой азимута суммарного вектора квадратичного полигона.

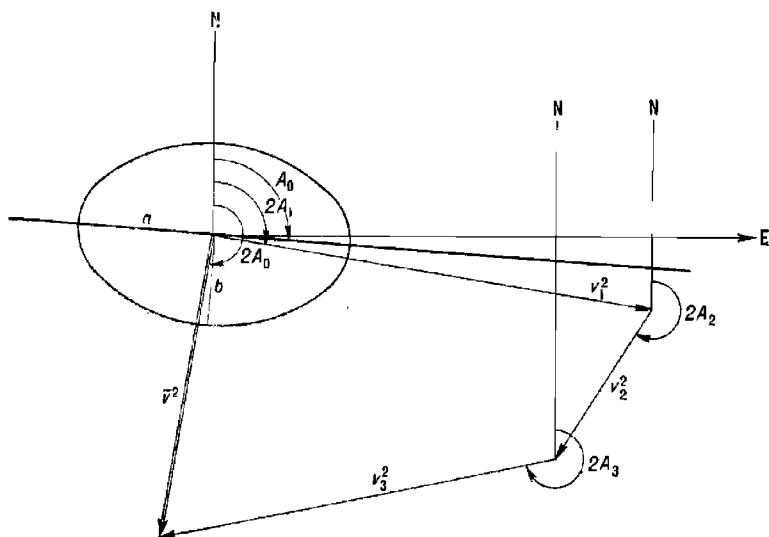


Рис. 1

Так, например, если совместно действуют три векторные погрешности: $V_1=2,2$ мили, $V_2=1,5$ мили и $V_3=2,0$ мили, а направления их действия совпадают соответственно с азимутами 50° , 110° и 310° , то $a^2 + b^2 = (2,2)^2 + (1,5)^2 + (2,0)^2 = 11,09$; $a^2 - b^2 = 3,30$ (отыскиваем построением квадратичного полигона). $2A_1=100^\circ$, $2A_2=220^\circ$ и $2A_3=260^\circ$.

Решение полученной системы уравнений дает следующие значения полуосей эллипса погрешностей: $a=2,7$ мили, $b=2,0$ мили.

Из построения квадратичного полигона (см. рисунок) определяем азимут суммарного (замыкающего) вектора \vec{V}^2 . Он равен 190° , следовательно, большая полуось эллипса погрешностей должна иметь направление $\frac{190^\circ}{2} = 95^\circ$.

По величинам a , b и A_0 эллипс погрешностей имеет определенную величину и конкретное направление своих полуосей. Такой эллипс погрешностей принято называть *средним квадратическим* (единичным). Вероятность того, что точка, рассеяние которой подчиняется нормальному закону, находится внутри единичного эллипса, равна $39,3\%$. В эллипсе, подобном единичному и одинаково с ним ориентированном, но имеющем другие размеры, вероятность нахождения точки внутри его может быть определена из уравнения:

$$P = 1 - e^{-\frac{c^2}{2}},$$

где c — коэффициент, показывающий отношение размеров данного эллипса к соответствующим размерам подобного ему единичного эллипса погрешностей.

Значение вероятности для некоторых конкретных значений коэффициента c может быть получено из приведенной ниже таблицы.

c	0,5	0,6745	1,0	2	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
$P, \%$	11,8	20,3	39,3	63,2	67,5	86,5	95,6	98,9	99,8	99,97

9. Более простой для построения фигурой, характеризующей область нахождения внутри ее точки, является круг. Однако одновременно с упрощением построения круга мы встречаемся со значительным усложнением определения вероятности нахождения точки внутри этого круга. Если построить круг радиусом, равным $\sqrt{a^2 + b^2}$, где a и b — полуоси единичного эллипса погрешностей, то оказывается, что вероятность нахождения точки внутри этого круга, в зависимости от соотношения полуосей единичного эллипса, будет изменяться в пределах от 63,2 % (при $\frac{b}{a} = 1$) до 68,3 % (при $\frac{b}{a}$, близкой к нулю). Для некоторых конкретных значений отношения полуосей вероятность нахождения в круге радиусом, равным $\sqrt{a^2 + b^2}$, может быть найдена из приведенной ниже таблицы.

$e = \frac{b}{a}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$P, \%$	68,2	68,1	67,7	67,2	66,3	65,0	64,1	63,6	63,3	63,2

В тех случаях, когда штурману требуется определить радиус круга, внутри которого вероятность нахождения точки имеет заданное значение, можно воспользоваться следующей таблицей для определения искомого радиуса, выраженного в величинах среднего квадратического радиуса ($R = \frac{M_{зад}}{M}$).

$P, \%$	$b : a$					
	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
70,0	1,03	1,04	1,05	1,06	1,07	1,08
80,0	1,33	1,32	1,30	1,28	1,27	1,25
90,0	1,67	1,64	1,60	1,56	1,52	1,48
95,0	1,96	1,93	1,86	1,79	1,74	1,73
99,0	2,57	2,54	2,43	2,29	2,18	2,15
99,3	2,69	2,66	2,52	2,38	2,27	2,23
99,7	2,96	2,92	2,78	2,61	2,47	2,41

10. В случае если рассеяние точки вызвано действием двух равных по модулю векториальных погрешностей, угол между которыми равен θ° , то $M = \sqrt{V_1^2 + V_2^2}$, а $\frac{b}{a} = \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}$. Поэтому вероятность места корабля в круге можно определять из таблицы.

P, %	θ						
	0°	20°	30°	40°	50°	70°	90°
70,0	1,03	1,04	1,04	1,05	1,05	1,06	1,08
80,0	1,33	1,32	1,31	1,30	1,29	1,28	1,25
90,0	1,67	1,63	1,62	1,61	1,59	1,54	1,48
95,0	1,96	1,93	1,91	1,89	1,84	1,76	1,76
99,0	2,58	2,53	2,50	2,44	2,38	2,26	2,15
99,3	2,70	2,66	2,61	2,56	2,48	2,34	2,23
99,7	3,00	2,94	2,88	2,82	2,73	2,54	2,41

11. В некоторых случаях командира корабля и штурмана интересует вероятность и величина погрешности по определенному направлению. Такая задача возникает при плавании по каналу или фарватеру, а также при тралении, когда важно оценить величину и вероятность лишь бокового отклонения корабля от оси канала или тральной полосы. Погрешность по заданному направлению характеризуется векториальным отклонением d по этому направлению. Если известны элементы эллипса погрешностей, характеризующего рассеяние точки, то величину d можно определить из формулы

$$d = \sqrt{a^2 \cos^2 \alpha + b^2 \sin^2 \alpha},$$

где α — угол между направлением большей полуоси эллипса погрешностей и заданным направлением.

Величина d может быть получена графически как наименьшее расстояние от центра эллипса погрешностей до касательной к нему. Вероятность векториального отклонения, равного величине d , составляет 68,3 %.

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ НАВИГАЦИИ

1. Терминология

Векториальная погрешность — случайная погрешность места корабля или линии положения по заданному направлению.

Векториальная средняя квадратическая погрешность — средняя квадратическая погрешность места корабля или линии положения по заданному направлению.

Вероятнейшее значение навигационного элемента (НЭ) — рассчитанное по результатам измерений значение, соответствующее максимальной плотности распределения (имеющее минимальную при данных измерениях среднюю квадратическую погрешность).

Вес НЭ (измерения, наблюдения) — относительная точность НЭ — величина, обратно пропорциональная квадрату ее СКП.

Градиент навигационного параметра (НП) в данной точке — величина, определяющая изменение навигационного параметра при смещении соответствующей ему изолинии (линии положения) в районе заданной точки параллельно самой себе на одну единицу длины.

Грубая ошибка (промах) — ошибка, существенно превышающая предельную случайную погрешность, является следствием нарушения правил измерения.

Зависимые НЭ — навигационные элементы (наблюдения, измерения), в формировании погрешностей которых участвуют частные случайные факторы (для каждого НЭ свои) и общий случайный фактор.

Измерение — нахождение значения НЭ с помощью специальных технических средств.

Информация избыточная — информация, полученная сверх необходимой.

Информация необходимая — информация, обеспечивающая определение искомых величин.

Корреляционная функция нормированная — функциональная зависимость коэффициента корреляции от времени (или от другого аргумента).

Коэффициент корреляции — величина, характеризующая степень случайной линейной взаимосвязи погрешностей двух навигационных элементов.

Круговая погрешность — эллиптическая погрешность с равными главными полуосями.

Методическая погрешность — систематическая погрешность, являющаяся следствием несовершенства метода или физического принципа измерения.

Наблюдение — однократное измерение.

Навигационная информация (НИ) — комплекс сведений, определяющих положение корабля (кораблей) и его элементы движения.

Навигационные элементы — величины, составляющие навигационную информацию: координаты, навигационные параметры, элементы числения, поправки, время.

Независимые НЭ — навигационные элементы (наблюдения, измерения), в формировании погрешностей которых участвуют только частные (для каждого элемента свои) случайные факторы.

Неравноточные наблюдения (измерения, НЭ) — те, точность которых оценивается различными СКП.

Однородные измерения (однородная НИ) — измерения, выполненные с помощью одного измерительного прибора.

Повторяющаяся погрешность — случайная по происхождению погрешность, входящая одинаковым значением во все НЭ данной совокупности (погрешность общих для всех НЭ поправок), или погрешность, обусловленная случайным фактором, воздействующим на все НЭ данной группы.

Погрешность НЭ (наблюдения, измерения) — отклонение НЭ (результата наблюдения, измерения) от истинного значения НЭ (наблюдаемой, измеряемой величины).

Полная погрешность — сумма случайных и систематических погрешностей.

Поправка — величина, вводимая в измеренный результат для компенсации систематической погрешности, равная систематической погрешности, но взятая с обратным знаком.

Предельная погрешность места — погрешность, равная радиусу круга, в пределах которого находится истинное место корабля (искомая точка на плоскости) с вероятностью $P \geq 95\%$.

Предельный эллипс погрешностей — эллипс, подобный среднему квадратическому эллипсу, в пределах которого находится искомая точка на плоскости с вероятностью $P \geq 95\%$.

Равноточные наблюдения (измерения, НЭ) — те, которые имеют точность, характеризующую одной и той же средней квадратической погрешностью (СКП).

Погрешность места — погрешность, равная радиусу круга, в пределах которого находится истинное место корабля с вероятностью, зависящей от отношения радиуса этого круга к средней квадратической погрешности и от отношения главных полуосей среднего квадратического эллипса погрешностей.

Средняя квадратическая погрешность места (радиальная СКП места) — погрешность, равная радиусу круга, полученному как геометрическая сумма главных полуосей среднего квадратического эллипса. Вероятность нахождения истинного места корабля в пределах круга зависит от отношения главных полуосей эллипса.

Размах — разность между максимальным и минимальным результатами наблюдений данной группы.

Разнородные измерения (разнородная НИ) — измерения, выполненные с помощью различных приборов и систем.

Систематическая погрешность — погрешность, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины (или постоянная погрешность для всех НЭ рассматриваемой совокупности).

Случайная погрешность — погрешность, изменяющаяся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины в данном комплексе условий.

Среднее квадратическое значение повторяющейся погрешности места (точки на плоскости) — векторная погрешность места корабля (точки на плоскости), обусловленная только повторяющимися погрешностями навигационных параметров.

Средняя квадратическая погрешность места корабля (точки на плоскости) по заданному направлению — радиус-вектор подеры среднего квадратического эллипса погрешностей.

Средняя квадратическая погрешность (СКП) — вероятностная оценка случайной погрешности, численно равная корню квадратному из дисперсии.

Среднее квадратическое значение повторяющейся погрешности — вероятностная оценка повторяющейся погрешности, численно равная корню квадратному из ее дисперсии (средней квадратической погрешности общей поправки НЭ).

Среднее квадратическое значение полной погрешности — квадратическая сумма средних квадратических значений частной и повторяющейся погрешностей.

Средний квадратический эллипс — эллипс, ограничивающий погрешности точки на плоскости, соответствующие вероятности 39,3 %.

Частная случайная погрешность — погрешность, сформированная случайным фактором, воздействующим только на данный НЭ.

Эллипс погрешностей — эллипс, ограничивающий случайные погрешности точки на плоскости, соответствующие одной и той же вероятности (эллипс, внутри которого находится истинное место с определенной вероятностью).

II. Погрешности навигационных элементов и их взаимосвязь

1. Абсолютная погрешность

$$\Delta = U - U_0, \quad (1)$$

где U — измеренное значение НЭ;

U_0 — истинное значение НЭ.

2. Относительная погрешность:

$$\left. \begin{aligned} \Delta_{\text{отн}} &= \frac{\Delta}{U} = \frac{U - U_0}{U} = 1 - \frac{U_0}{U}; \\ \Delta_{\text{отн}} &= \left(1 - \frac{U_0}{U}\right) 100, \% \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

3. Вероятность случайной погрешности Δ , подчиненной нормальному закону распределения:

— рассчитывается нормированная погрешность

$$z = \frac{\Delta}{\sigma} \approx \frac{\Delta}{m},$$

где σ — СКП, m — оценка СКП;

— по величине z из табл. 1-б МТ—75 выбирается искомая вероятность P .

4. Погрешность Δ , соответствующая заданной вероятности P (нормальный закон):

— по P из табл. 1-б МТ—75 определяется величина z ;

— рассчитывается искомая погрешность

$$\Delta = z\sigma \approx zm.$$

5. Вероятность случайной погрешности, подчиненной закону равномерной плотности

$$P = \frac{\Delta}{l}, \quad (3)$$

где l — половина интервала, в пределах которого распределяются погрешности.

6. Погрешность Δ , соответствующая заданной вероятности P (закон равномерной плотности распределения)

$$\Delta = Pl.$$

7. Средняя квадратическая погрешность закона равномерной плотности

$$\sigma \approx m = \frac{l}{\sqrt{3}}. \quad (4)$$

8. Расчет СКП по отклонениям v измеренных значений U_i от их среднего арифметического результата U_a

$$m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (U_i - U_a)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-1}}, \quad (5)$$

где n — число измерений (наблюдений НЭ).

9. Расчет СКП по размаху результатов измерений (общее число измерений делится на k групп):

а) число измерений n_k в группе одинаково ($n_k = 3 \dots 7$)

$$m = \frac{(U_{\max} - U_{\min})_{\text{ср}}}{Z} = \frac{R_{\text{ср}}}{Z}, \quad (6)$$

где $R_{\text{ср}} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k (U_{\max} - U_{\min})_j$ — средний арифметический размах;

Z — нормированный размах, определяемый из приведенной ниже таблицы по числу измерений в группе (по n_k)

n_k	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14
Z	1,69	2,06	2,33	2,53	2,70	2,85	2,97	3,08	3,26	3,41

$$Z \approx \sqrt{n_k} \text{ при } n_k \leq 12;$$

б) число измерений в группах различно

$$m = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k m_j, \text{ где } m_j = \frac{R_j}{Z_j} \text{ — СКП, определяемая по } j\text{-й группе.}$$

10. Полная погрешность:

$$\Delta_{\text{п}} = \Delta + \Delta_0, \quad (7)$$

где Δ — случайная погрешность;

Δ_0 — систематическая погрешность.

11. Среднее квадратическое значение полной погрешности i -го НЭ

$$m_{n_i} = \sqrt{m_i^2 + m_0^2}, \quad (8)$$

где m_i — среднее квадратическое значение частной случайной погрешности i -го НЭ, обусловленной неточностью измерения и частных поправок;

m_0 — среднее квадратическое значение повторяющейся погрешности (общей погрешности для данной совокупности НЭ).

12. Коэффициент корреляции i -го и j -го навигационных элементов: — априорное значение

$$r_{ij} = \frac{m_0^2}{\sqrt{(m_i^2 + m_0^2)(m_j^2 + m_0^2)}}; \quad (9)$$

— апостериорное значение (навигационных элементов U и V)

$$r_{ij} = \frac{\sum_{n=1}^n (U_i - U_n)(V_i - V_n)}{\sqrt{\sum_{n=1}^n (U_i - U_n)^2 \sum_{n=1}^n (V_i - V_n)^2}}. \quad (10)$$

13. Коэффициент корреляции двух функций случайных аргументов:

$$U = f_1(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_l, \dots, \alpha_n, \gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_k, \dots, \gamma_s, \dots, \gamma_r);$$

$$V = f_2(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_j, \dots, \beta_m, \gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_k, \dots, \gamma_s, \dots, \gamma_r);$$

$$r = \frac{1}{m_{n_l} m_{n_s}} \left(\sum_{a_l \beta_j} \frac{\partial f_1}{\partial \alpha_l} \frac{\partial f_2}{\partial \beta_j} r_{\alpha_l \beta_j} m_{\alpha_l} m_{\beta_j} + \sum_s \frac{\partial f_1}{\partial \gamma_s} \frac{\partial f_2}{\partial \gamma_s} m_{\gamma_s}^2 + \sum_{s \neq k} \frac{\partial f_1}{\partial \gamma_s} \frac{\partial f_2}{\partial \gamma_k} r_{\gamma_s \gamma_k} m_{\gamma_s} m_{\gamma_k} \right). \quad (11)$$

При независимых аргументах:

$$r = \frac{1}{m_{n_l} m_{n_s}} \sum_s \frac{\partial f_1}{\partial \gamma_s} \frac{\partial f_2}{\partial \gamma_s} m_{\gamma_s}^2. \quad (12)$$

14. Средняя квадратическая погрешность функции случайных зависимых аргументов:

$$U = f(x_1, x_2, \dots, x_l, \dots, x_n);$$

$$m_U = \sqrt{\sum_{l=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_l} \right)_0^2 m_{n_l}^2 + 2 \sum_{l < j} \left(\frac{\partial f}{\partial x_l} \right)_0 \left(\frac{\partial f}{\partial x_j} \right)_0 r_{lj} m_{n_l} m_{n_j}}. \quad (13)$$

Если аргументы x_i независимы, то

$$m_U = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1} \right)_0^2 m_1^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2} \right)_0^2 m_2^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n} \right)_0^2 m_n^2}. \quad (14)$$

Если функция $U = x_1 \pm x_2 \pm \dots \pm x_n$, то

$$m_U = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + \dots + m_n^2}. \quad (15)$$

15. Корреляционная матрица

$$[K] = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & \dots & K_{1n} \\ K_{21} & K_{22} & \dots & K_{2n} \\ \dots & \dots & K_{lj} & \dots \\ K_{n1} & K_{n2} & \dots & K_{nn} \end{bmatrix}, \quad (16)$$

где K_{ij} — корреляционные моменты i -го и j -го НЭ;

$$K_{ij} = r_{ij} m_{n_i} m_{n_j} = m_{0_{ij}}^2.$$

16. Нормированная корреляционная матрица

$$[r] = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & r_{13} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & 1 & r_{23} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & r_{ij} & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & r_{n3} & \dots & 1 \end{bmatrix}. \quad (17)$$

17. Вероятнейшее значение навигационного элемента и его точность:

а) НЭ взаимозависимы и неравноточны:

$$U_b = \frac{\sum_{i,j}^s c_{ij} U_i}{\sum_{i,j}^s c_{ij}}; \quad m_{U_b}^2 = \frac{\sum_{i,j}^s c_{ij} (U_i - U_b)(U_j - U_b)}{(n-1) \sum_{i,j}^s c_{ij}}, \quad (18)$$

где $s = \frac{n^2 - n}{2}$; n — общее число НЭ;

$$c_{ij} = \frac{A_{ij}}{m_{n_i} m_{n_j} |r|},$$

где c_{ij} — ij -й элемент матрицы, обратной по отношению к нормированной корреляционной матрице;

A_{ij} — алгебраическое дополнение ij -го элемента нормированной корреляционной матрицы — минор ij -го элемента, взятый со знаком $(-1)^{i+j}$;

$|r|$ — определитель нормированной корреляционной матрицы;

б) НЭ взаимозависимы и равноточны:

$$U_b = \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{n};$$

$$m_{U_b} = \frac{m_n}{\sqrt{n}} \sqrt{1 + (n-1)r} = \sqrt{\frac{m^2}{n} + m_0^2}; \quad (19)$$

в) НЭ независимы и неравноточны:

$$U_b = \frac{\sum_{i=1}^n p_i U_i}{\sum_{i=1}^n p_i}; \quad m_{U_b} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n p_i (U_i - U_b)^2}{(n-1) \sum_{i=1}^n p_i}}; \quad (20)$$

при $n < 5$

$$m_{U_b} = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^n p_i}}, \quad (21)$$

где $p_i = \frac{1}{m_i^2}$ — вес i -го НЭ;

г) НЭ независимы и равноточны:

$$U_b = \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{n}; \quad m_{U_b} = \frac{m}{\sqrt{n}}. \quad (22)$$

18. Необходимое число измерений (по критерию заданной точности)

$$n = \frac{m_n^2(1-r)}{m_{U_B}^2 - m_n^2 r} = \frac{m^2}{m_{U_B}^2 - m_0^2}. \quad (23)$$

Если задана величина Δ_{U_B} и соответствующая ей вероятность P , то

$$n = \frac{Z^2 m_n^2(1-r)}{\Delta_{U_B}^2 - Z^2 m_n^2 r} = \frac{Z^2 m^2}{\Delta_{U_B}^2 - Z^2 m_0^2}. \quad (24)$$

III. Оценка точности места корабля, полученного по двум навигационным изолиниям (линиям положения)

19. Уравнение линии положения

$$a\Delta\varphi + b\Delta\omega = l, \quad (25)$$

где $a = g \cos \tau$
 $b = g \sin \tau$ } — коэффициенты уравнения линии положения;
 $l = U - U_c$ — свободный член уравнения линии положения;
 g — модуль градиента навигационного параметра $U = f(\varphi, \omega)$

$$g = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial \varphi}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \omega}\right)^2};$$

τ — направление градиента в круговой географической системе счета направления (относительно географического меридиана);

U — измеренный и исправленный поправками навигационный параметр (обсервованный навигационный параметр);

U_c — счислимый навигационный параметр — навигационный параметр, вычисленный относительно счислимых координат.

Уравнение линии положения в нормальном виде

$$\Delta\varphi \cos \tau + \Delta\omega \sin \tau = n, \quad (26)$$

где $n = (U - U_c)/g$ — перенос линии положения — длина перпендикуляра, опущенного из счислимого места корабля на линию положения.

20. СКП линии положения

$$m_{\text{лп}} = \frac{m_U}{g}. \quad (27)$$

21. Вес линии положения

$$p_{\text{лп}} = \frac{1}{m_{\text{лп}}^2} = \frac{g^2}{m_U^2}. \quad (28)$$

22. Векториальная СКП линии положения

$$m_l = \frac{m_{\text{лп}}}{\sin \alpha}, \quad (29)$$

где α — угол между линией положения и заданным направлением.

23. Зависимость между углом пересечения линий положения θ и углом между их градиентами

$$\theta = \begin{cases} 180^\circ - \Delta\tau & \text{при } \Delta\tau > 90^\circ; \\ \Delta\tau & \text{при } \Delta\tau \leq 90^\circ. \end{cases} \quad (30)$$

24. Градненты основных навигационных параметров приведены ниже в таблице.

Навигационный параметр	Направление градиента τ	Модуль градиента g	Примечание
Локсодромический пеленг с корабля на ориентир	$P - 90^\circ$	$\frac{57,3}{D} \left[\frac{\text{градус}}{\text{мили}} \right]$ $\frac{3438}{D} \left[\frac{\text{дуг. мин}}{\text{мили}} \right]$	$D < 300$ миль; $D < 300$ миль;
Ортодромический пеленг с ориентира на корабль (ориентирный угол)	$P' + 90^\circ$ $(P + \gamma + 90^\circ)$	$\frac{57,3}{D} \left[\frac{\text{градус}}{\text{мили}} \right]$ $\text{ctg } D \left[\frac{\text{дуг. мин}}{\text{мили}} \right]$	$D > 300$ миль $D < 300$ миль; P' — направление ортодромии в числ. точке; $P' = P + \gamma$
Расстояние до ориентира	$P \pm 180^\circ$	1	$D > 300$ миль
Высота светила	A	1	A — азимут светила
Разность расстояний до двух ориентиров	$\frac{A_1 + A_2}{2} - 90^\circ$	$2 \sin \frac{\omega}{2}$	ω — угол между направлениями на ориентир
Глубина	По перпендикуляру к изобате в сторону увеличения глубины	$\frac{\Delta}{L} \left[\frac{\text{м}}{\text{ед. расст.}} \right]$	Δ — разность двух соседних глубин; L — расстояние между этими глубинами
Горизонтальный угол	$P_1 + \arctg \frac{D_1 \sin \alpha}{D_1 \cos \alpha - D_2} - 90^\circ$	$\frac{3438d}{D_1 D_2} \left[\frac{\text{дуг. мин}}{\text{ед. расст.}} \right]$	D_1 и D_2 — расстояние до ориентиров; d — расстояние между ориентирами
Разность азимутов двух светил	$\cos(\tau - A_1) = \frac{\sin \Delta A \text{tg } h_2}{g}$	$\sqrt{\frac{\text{tg}^2 h_1 + \text{tg}^2 h_2 - 2 \text{tg } h_1 \text{tg } h_2 \cos \Delta A}{g}}$	

25. СКП координат точки, определенной по двум навигационным параметрам:

$$\left. \begin{aligned} m_{\Delta\varphi}^2 &= \frac{1}{\sin^2 \Delta\tau} (m_{\Delta\lambda_1}^2 \sin^2 \tau_2 + m_{\Delta\lambda_2}^2 \sin^2 \tau_1 - 2r m_{\Delta\lambda_1} m_{\Delta\lambda_2} \sin \tau_1 \sin \tau_2); \\ m_{\Delta\omega}^2 &= \frac{1}{\sin^2 \Delta\tau} (m_{\Delta\lambda_1}^2 \cos^2 \tau_2 + m_{\Delta\lambda_2}^2 \cos^2 \tau_1 - 2r m_{\Delta\lambda_1} m_{\Delta\lambda_2} \cos \tau_1 \cos \tau_2). \end{aligned} \right\} (31)$$

26. Корреляционный момент обсервованных координат (два навигационных параметра)

$$K_{\Delta\varphi, \Delta\omega} = -\frac{1}{2 \sin^2 \Delta\tau} [m_{\Delta\lambda_1}^2 \sin 2\tau_2 + m_{\Delta\lambda_2}^2 \sin 2\tau_1 - 2r m_{\Delta\lambda_1} m_{\Delta\lambda_2} \sin(\tau_1 + \tau_2)]. \quad (32)$$

27. Уравнение эллипса погрешностей

$$\frac{\Delta_x^2}{m_x^2} + \frac{\Delta_y^2}{m_y^2} - \frac{2r_{xy} \Delta_x \Delta_y}{m_x m_y} = c. \quad (33)$$

28. Элементы среднего квадратического эллипса погрешностей в общем виде:

$$\left. \begin{aligned} a^2 &= \frac{1}{2} \left[m_x^2 + m_y^2 + \sqrt{(m_x^2 - m_y^2)^2 + 4K_{xy}^2} \right]; \\ b^2 &= \frac{1}{2} \left[m_x^2 + m_y^2 - \sqrt{(m_x^2 - m_y^2)^2 + 4K_{xy}^2} \right]; \end{aligned} \right\} \quad (34)$$

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2K_{xy}}{m_x^2 - m_y^2}, \quad (35)$$

где α — угол ориентировки эллипса — угол между направлением оси x и направлением большой полуоси эллипса.

29. Элементы среднего квадратического эллипса погрешностей, выраженные через СКП линий положения:

$$\left. \begin{aligned} a^2 &= \frac{1}{2 \sin^2 \Delta\tau} \left[m_{\text{лн}_1}^2 + m_{\text{лн}_2}^2 - 2rm_{\text{лн}_1}m_{\text{лн}_2} \cos \Delta\tau + \right. \\ &+ \left. \sqrt{(m_{\text{лн}_1}^2 + m_{\text{лн}_2}^2 - 2rm_{\text{лн}_1}m_{\text{лн}_2} \cos \Delta\tau)^2 - 4(1-r^2)m_{\text{лн}_1}^2m_{\text{лн}_2}^2 \sin^2 \Delta\tau} \right]; \\ b^2 &= \frac{1}{2 \sin^2 \Delta\tau} \left[m_{\text{лн}_1}^2 + m_{\text{лн}_2}^2 - 2rm_{\text{лн}_1}m_{\text{лн}_2} \cos \Delta\tau - \right. \\ &- \left. \sqrt{(m_{\text{лн}_1}^2 + m_{\text{лн}_2}^2 - 2rm_{\text{лн}_1}m_{\text{лн}_2} \cos \Delta\tau)^2 - 4(1-r^2)m_{\text{лн}_1}^2m_{\text{лн}_2}^2 \sin^2 \Delta\tau} \right]; \end{aligned} \right\} \quad (36)$$

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{m_{\text{лн}_1}^2 \sin 2\tau_2 + m_{\text{лн}_2}^2 \sin 2\tau_1 - 2rm_{\text{лн}_1}m_{\text{лн}_2} \sin(\tau_1 + \tau_2)}{m_{\text{лн}_1}^2 \cos 2\tau_2 + m_{\text{лн}_2}^2 \cos 2\tau_1 - 2rm_{\text{лн}_1}m_{\text{лн}_2} \cos(\tau_1 + \tau_2)}. \quad (37)$$

30. Угол ориентировки эллипса погрешностей относительно второй линии положения

$$\operatorname{tg} 2\varphi = \frac{m_{\text{лн}_2}^2 \sin 2\Delta\tau - 2rm_{\text{лн}_1}m_{\text{лн}_2} \sin \Delta\tau}{m_{\text{лн}_2}^2 \cos 2\Delta\tau - 2rm_{\text{лн}_1}m_{\text{лн}_2} \cos \Delta\tau + m_{\text{лн}_1}^2}. \quad (38)$$

31. Элементы среднего квадратического эллипса погрешностей при равноточных линиях положения:

$$\left. \begin{aligned} a &= m_{\text{лн}} \sqrt{\frac{1+r}{2}} \sec \frac{\Delta\tau}{2}; \\ b &= m_{\text{лн}} \sqrt{\frac{1-r}{2}} \operatorname{cosec} \frac{\Delta\tau}{2}; \end{aligned} \right\} \quad (39)$$

$$\varphi = \frac{\Delta\tau}{2}. \quad (40)$$

32. Элементы среднего квадратического эллипса погрешностей при независимых линиях положения:

$$\left. \begin{aligned} a^2 &= \frac{1}{2 \sin^2 \theta} \left[m_{\text{лн}_1}^2 + m_{\text{лн}_2}^2 + \sqrt{(m_{\text{лн}_1}^2 + m_{\text{лн}_2}^2)^2 - 4m_{\text{лн}_1}^2m_{\text{лн}_2}^2 \sin^2 \theta} \right]; \\ b^2 &= \frac{1}{2 \sin^2 \theta} \left[m_{\text{лн}_1}^2 + m_{\text{лн}_2}^2 - \sqrt{(m_{\text{лн}_1}^2 + m_{\text{лн}_2}^2)^2 - 4m_{\text{лн}_1}^2m_{\text{лн}_2}^2 \sin^2 \theta} \right]; \end{aligned} \right\} \quad (41)$$

$$\operatorname{tg} 2\varphi = \frac{m_{\text{лн}_2}^2 \sin 2\theta}{m_{\text{лн}_2}^2 \cos 2\theta + m_{\text{лн}_1}^2}. \quad (42)$$

33. Элементы среднего квадратического эллипса погрешностей при независимых равноточных линиях положения:

$$\left. \begin{aligned} a &= \frac{m_{\text{элп}}}{\sqrt{2}} \sec \frac{\Delta\tau}{2}; \\ b &= \frac{m_{\text{элп}}}{\sqrt{2}} \operatorname{cosec} \frac{\Delta\tau}{2}; \end{aligned} \right\} \quad (43)$$

$$\varphi = \frac{\Delta\tau}{2}. \quad (44)$$

34. Элементы среднего квадратического эллипса погрешностей при наличии только повторяющейся погрешности:

$$a_o^2 = \frac{1}{\sin^2 \Delta\tau} (m_{\text{элп}_1}^2 + m_{\text{элп}_2}^2 - 2m_{\text{элп}_1} m_{\text{элп}_2} \cos \Delta\tau); \quad (45)$$

$$b_o^2 = 0 \text{ (эллипс вырождается в прямую линию);}$$

$$\operatorname{tg} 2\varphi = \frac{m_{\text{элп}_2}^2 \sin 2\Delta\tau - 2m_{\text{элп}_1} m_{\text{элп}_2} \sin \Delta\tau}{m_{\text{элп}_2}^2 \cos 2\Delta\tau - 2m_{\text{элп}_1} m_{\text{элп}_2} \cos \Delta\tau + m_{\text{элп}_1}^2}, \quad (46)$$

где $m_{\text{элп}}$ — СКП линии положения, отягощенная только повторяющейся погрешностью.

35. Элементы среднего квадратического эллипса погрешностей при наличии только повторяющейся погрешности и при одинаковых градиентах линий положения:

$$\left. \begin{aligned} a_o &= m_{\text{элп}} \sec \frac{\Delta\tau}{2}; \\ b_o &= 0; \end{aligned} \right\} \quad (47)$$

$$\varphi = \frac{\Delta\tau}{2}. \quad (48)$$

36. Вероятность нахождения истинного места корабля (точки) в пределах эллипса с полуосями $A=ca$ и $B=cb$

$$P = 1 - e^{-\frac{c^2}{2}}, \quad (49)$$

рассчитывается с помощью табл. 1-а МТ—75.

37. Уравнение разностной линии положения

$$A\Delta\varphi + B\Delta\vartheta = L, \quad (50)$$

$$\text{где } A = a_i - a_j;$$

$$B = b_i - b_j;$$

$$L = l_i - l_j;$$

$a_{i(j)}$, $b_{i(j)}$ и $l_{i(j)}$ — коэффициенты и свободные члены тех линий положения, которым соответствует данная разностная $л$.

38. Градиент разностной линии положения

$$g_{\text{рлп}ij}^2 = g_i^2 + g_j^2 - 2g_i g_j \cos \Delta\tau_{ij}, \quad (51)$$

где $g_{i(j)}$ — градиенты исходных линий положения;

$$\operatorname{tg} \tau_{\text{рлп}} = \frac{g_i \sin \tau_i - g_j \sin \tau_j}{g_i \cos \tau_i - g_j \cos \tau_j}. \quad (52)$$

При $g_i = g_j = g$

$$g_{\text{рлп}ij} = 2g \sin \frac{\Delta\tau}{2}. \quad (53)$$

39. СКП разностной линии положения

$$m_{\text{рлп}ij} = \sqrt{\frac{m_{U_i}^2 + m_{U_j}^2}{g_i^2 + g_j^2 - 2g_i g_j \cos \Delta\tau_{ij}}}. \quad (54)$$

При $m_{U_i} = m_{U_j}$; $g_i = g_j$

$$m_{\text{рлп}ij} = \frac{0,7m_{\text{лп}}}{\sin \frac{\Delta\tau_{ij}}{2}}. \quad (55)$$

40. СКП места, полученного по двум линиям положения

$$M = \frac{1}{\sin \Delta\tau} \sqrt{m_{\text{лп}_1}^2 + m_{\text{лп}_2}^2 - 2m_{\text{лп}_1} m_{\text{лп}_2} \cos \Delta\tau}, \quad (56)$$

где $m_{\text{лп}_i}$ — полные СКП линий положения.

41. СКП места, полученного по двум независимым линиям положения

$$M = \frac{1}{\sin \theta} \sqrt{m_{\text{лп}_1}^2 + m_{\text{лп}_2}^2}. \quad (57)$$

42. СКП места, полученного по двум независимым равноточным линиям положения

$$M = \frac{m_{\text{лп}} \sqrt{2}}{\sin \theta}. \quad (58)$$

43. Вероятность нахождения истинного места корабля в круге с радиусом

$$M_3 = \hat{M} = RM = R \sqrt{a^2 + b^2}; \quad (59)$$

$$P = 1 - \frac{2}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \exp \left[-\frac{R^2}{2} \left(\frac{1 + e^2}{\cos^2 \varphi + e^2 \sin^2 \varphi} \right) \right] d\varphi, \quad (60)$$

где $R = \frac{M_3}{M}$;

$e = b/a$ — отношение главных полуосей среднего квадратического эллипса погрешностей. Рассчитывается с помощью табл. 1-в МТ-75.

44. Вероятность радиальной средней квадратической погрешности при $e = b/a = 1$

$$P = 1 - e^{-\frac{M_3^2}{M^2}} = 1 - \exp \left(-\frac{M_3}{M} \right)^2. \quad (61)$$

45. Средняя квадратическая погрешность места по заданному направлению:

$$a) m_L = \sqrt{a^2 \cos^2 \alpha + b^2 \sin^2 \alpha}, \quad (62)$$

где a и b — полуоси среднего квадратического эллипса;

α — угол между большой полуосью и заданным направлением;

$$b) m_L = \frac{M}{\sqrt{2}} \approx 0,7M. \quad (63)$$

46. Средняя квадратическая погрешность счислимо-обсервованного места:

$$M_{co} = \frac{1}{\sin \Delta \tau} \sqrt{m_{\Delta n_1}^2 + m_{\Delta n_2}^2 + \frac{M_c^2}{2} - 2r m_{\Delta n_1} m_{\Delta n_2} \cos \Delta \tau}; \quad (64)$$

при независимых параметрах

$$M_{co} = \frac{1}{\sin \theta} \sqrt{m_{\Delta n_1}^2 + m_{\Delta n_2}^2 + \frac{M_c^2}{2}}, \quad (65)$$

где M_c — СКП счисления на интервале между измерениями навигационных параметров.

47. СКП счислимого места

$$M_{сч} = \sqrt{M_0^2 + M_c^2}, \quad (66)$$

где M_0 — СКП исходного места;

M_c — СКП счисления.

48. СКП счисления:

$$а) t \leq 2 \text{ ч, } M_c = 0,7K_c t; \quad (67)$$

$$б) t > 2 \text{ ч, } M_c = K_c \sqrt{t}, \quad (68)$$

где M_c — в милях;

t — интервал счисления в часах.

IV. Оценка точности вероятнейшего места корабля

49. Средний квадратический эллипс погрешностей при определении места по трем и более навигационным параметрам:

$$\left. \begin{aligned} a^2 &= \frac{m_{(1)}^2}{2D} \left[A_1 + B_2 + \sqrt{(B_2 - A_1)^2 + 4A_2^2} \right]; \\ b^2 &= \frac{m_{(1)}^2}{2D} \left[A_1 + B_2 - \sqrt{(B_2 - A_1)^2 + 4A_2^2} \right]; \end{aligned} \right\} \quad (69)$$

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2A_2}{A_1 - B_2}, \quad (70)$$

где $D = A_1 B_2 - A_2 B_1$.

Аргументы A_1 , A_2 , B_1 , B_2 и величина $m_{(1)}$ рассчитываются:

а) при корреляционно зависимых неравноточных навигационных параметров ($0 \leq r \leq 1$):

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= \sum^n p_i a_i^2 - \left(\sum^n p_i a_i \right)^2 / \left(\sum^n p_i + \frac{1}{m_0^2} \right); \\ B_2 &= \sum^n p_i b_i^2 - \left(\sum^n p_i b_i \right)^2 / \left(\sum^n p_i + \frac{1}{m_0^2} \right); \\ B_1 = A_2 &= \sum^n p_i a_i b_i - \left(\sum^n p_i a_i \sum^n p_i b_i \right) / \left(\sum^n p_i + \frac{1}{m_0^2} \right). \end{aligned} \right\} \quad (71)$$

При $n \geq 5$

$$m_{(1)}^2 = \frac{\sum C_{ij} [l_i - a_i \Delta \varphi - b_i \Delta \omega] [l_j - a_j \Delta \varphi - b_j \Delta \omega]}{n - 2}. \quad (72)$$

При $n < 5$

$$m_{(1)} = 1;$$

б) при корреляционно зависимых равнооточных навигационных параметрах:

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= \sum a_i^2 - \frac{r \left(\sum a_i \right)^2}{r(n-1)+1}; \\ B_2 &= \sum b_i^2 - \frac{r \left(\sum b_i \right)^2}{r(n-1)+1}; \\ A_2 = B_1 &= \sum a_i b_i - \frac{r \left(\sum a_i \sum b_i \right)}{r(n-1)+1}; \end{aligned} \right\} \quad (73)$$

$m_{(1)}$ рассчитывается по правилу, изложенному в пункте «а»;

в) при независимых неравнооточных навигационных параметрах ($r=0$):

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= \sum p_i a_i^2; \\ B_2 &= \sum p_i b_i^2; \\ A_2 = B_1 &= \sum p_i a_i b_i; \end{aligned} \right\} \quad (74)$$

$$m_{(1)}^2 = \frac{\sum p_i (l_i - a_i \Delta \varphi - b_i \Delta \omega)^2}{n-2}; \quad (75)$$

г) при независимых равнооточных навигационных параметрах:

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= \sum a_i^2; \\ B_2 &= \sum b_i^2; \\ A_2 = B_1 &= \sum a_i b_i; \end{aligned} \right\} \quad (76)$$

$$m_{(1)}^2 = \frac{\sum (l_i - a_i \Delta \varphi - b_i \Delta \omega)^2}{n-2}. \quad (77)$$

50. СКП вероятнейшего места, определенного по трем и более навигационным параметрам

$$M = m_{(1)} \sqrt{\frac{A_1 + B_2}{D}}, \quad (78)$$

где значения A_1 , B_2 , D и $m_{(1)}$ определяются по формулам предыдущего пункта.

51. СКП вероятнейшего места, найденного по независимым НП центрографическим способом,

$$M = m_{(1)} \sqrt{\frac{\sum^n p_{\lambda \mu_i}}{\sum_s p_{\lambda \mu_j} p_{\lambda \mu_j} \sin^2 \theta_{ij}}}, \quad (79)$$

при $n < 5$ $m_{(1)} = 1$.

52. Приближенное значение СКП вероятнейшего места, найденного по независимым навигационным параметрам,

$$M = \frac{1,4m_{\text{лпср}}}{\sqrt{n - \Gamma \sin \theta_{\text{ср}}}}, \quad (80)$$

где $m_{\text{лпср}}$ — среднее арифметическое значение СКП линий положения;
 n — количество линий положения;
 $\theta_{\text{ср}}$ — среднее арифметическое значение острых углов между линиями положения.

53. Средняя квадратическая погрешность вероятнейшего места, найденного графоаналитическим способом,

$$M_0 = \frac{M_{0_1} M_{0_2}}{\sqrt{M_{0_1}^2 + M_{0_2}^2}}, \quad (81)$$

где M_0 — СКП точки, найденной без учета зависимости НП:

$$M_{0_1} = \sqrt{\frac{\sum p_{\text{лп}i}}{\sum p_{ij}} + (1,4m_{0\text{лпср}})^2}, \quad (82)$$

здесь $p_{ij} = p_{\text{лп}i} p_{\text{лп}j} \sin^2 \theta_{ij}$;

$m_{0\text{лпср}}$ — среднее арифметическое значение СКП линий положения, обусловленное наличием повторяющейся погрешности:

$$m_{0\text{лпср}} = \frac{m_0 n}{\sum g_i}; \quad (83)$$

M_{0_1} — СКП точки, найденной с учетом только повторяющейся погрешности (по двум независимым $p_{\text{лп}}$):

$$M_{0_1} = \frac{m_{\text{лпср}}}{\sin \frac{\Delta \tau_{\text{ср}}}{2} \sin \gamma}; \quad (84)$$

$\Delta \tau_{\text{ср}}$ — средний арифметический угол между градиентами в точках, через которые проведены разностные $лп$;

γ — угол между разностными $лп$.

54. СКП вероятнейшего места, найденного путем осреднения мест:
 а) осреднение зависимых равноточных мест:

$$M_{0\text{ср}} = \frac{M_n}{\sqrt{N}} \sqrt{1 + (N-1)R}, \quad (85)$$

где M_n — полная СКП осредняемых мест;

N — количество осредняемых мест;

R — коэффициент корреляции обсерваций, приближенное значение которого равно:

$$R = \frac{r(n-1)(1 - \cos \Delta \tau)}{(1-r) + r(n-1)(1 - \cos \Delta \tau)}; \quad (86)$$

r — коэффициент корреляции навигационных параметров;

n — среднее число линий положения, приходящееся на каждую обсервацию;

$\Delta \tau$ — средний арифметический угол между градиентами навигационных параметров (линий положения).

б) осреднение независимых неравноточных мест ($N > 5$)

$$M_{\text{оср}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N p_i d_i^2}{(N-1) \sum_{i=1}^N p_i}}, \quad (87)$$

где p_i — вес i -го осредненного места, равный

$$p_i = \frac{1}{M_i^2}; \quad (88)$$

d_i — расстояние между i -м осредняемым местом и вероятнейшим местом.

При $N < 5$

$$M_{\text{оср}} = \frac{1}{\sqrt{\sum p_i}}. \quad (89)$$

При $N = 2$

$$M_{\text{оср}} = \frac{M_1 M_2}{\sqrt{M_1^2 + M_2^2}}, \quad (90)$$

где M_1 и M_2 — СКП осредняемых мест.

в) осреднение независимых равноточных мест

$$M_{\text{оср}} = \frac{M}{\sqrt{N}}. \quad (91)$$

55. Удаление вероятнейшего места от счислимого (по направлению невязки) при осреднении счислимого и обсервованного мест

$$C_{\text{в}} = C \frac{M_{\text{сч}}^2}{M_{\text{сч}}^2 + M_0^2}, \quad (92)$$

где C — невязка обсервации;

$M_{\text{сч}}$ и M_0 — СКП счислимого и обсервованного мест соответственно.

56. СКП места, найденного путем осреднения счислимого места и измеренной линии положения

$$M = m_c \sqrt{\frac{2m_{\text{лп}}^2 + m_c^2}{m_{\text{лп}}^2 + m_c^2}}, \quad (93)$$

где m_c — линейная СКП счислимой линии положения; $m_c = 0,7M_{\text{сч}}$.

57. Корреляционная матрица навигационных элементов, найденных с помощью оптимального фильтра Калмана,

$$P = SH^T (HSH^T + K)^{-1} (H^T)^{-1} K, \quad (94)$$

где S — корреляционная матрица счислимых навигационных элементов;
 H — матрица коэффициентов уравнения связи результатов измерения с искомыми величинами;

K — корреляционная матрица погрешностей измерения навигационных элементов.

V. Анализ надежности навигационных элементов

58. Критерии отсутствия промахов (грубых ошибок):

а) навигационные элементы

$$\frac{|U_{\max} - U_{\text{в}}|}{m} < \tau_{\alpha}, \quad (95)$$

где $U_{\text{в}}$ — вероятнейшее значение НЭ;
 m — СКП одного НЭ.

Критические значения τ_{α} при различном количестве навигационных элементов (n) представлены в ниже приведенной таблице для доверительной вероятности $P=0,99$.

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	15	30
τ_{α}	1,41	1,72	1,96	2,13	2,27	2,37	2,46	2,54	2,61	2,80	3,16

б) линии положения равноточные:

$$\frac{n_i - (\Delta\varphi \cos \tau_i + \Delta w \sin \tau_i)}{m_{ли_i}} < \tau_{\alpha} \text{ или } \frac{v_i}{m_{ли_i}} < \tau_{\alpha}, \quad (96)$$

где $\Delta\varphi$ и Δw — рассчитанные вероятнейшие поправки к счислимым координатам;

n_i — перенос i -й $ли$;

τ_i — направление градиента i -й $ли$;

v_i — отстояние i -й $ли$ от вероятнейшего места;

в) линии положения неравноточные

$$v_i < 3 \sqrt{m_{ли_i}^2 + 0,5M_{\text{в}}^2}, \quad (97)$$

где $M_{\text{в}}$ — СКП вероятнейшего места;

г) обсервации равноточные

$$\frac{d_{\max}}{M} < R, \quad (98)$$

где R — коэффициенты, определяемые из табл. 1-в МТ—75 по заданной доверительной вероятности P ;

d_{\max} — максимальное расстояние между вероятнейшим и осредняемым местами;

д) обсервации неравноточные

$$d_i < 2,1 \sqrt{M_i^2 + M_{\text{в}}^2}, \quad (99)$$

где M_i — СКП i -й обсервации.

59. Критерий существенности поправок навигационных элементов

$$\Delta U > \frac{t_{\alpha} m}{\sqrt{n}}, \quad (100)$$

где m — СКП одного измерения;

n — число измерений;

t_{α} — величина, определяемая из приведенной ниже таблицы для доверительной вероятности $P=0,99$.

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	15	30
t_{α}	9,93	5,84	4,60	4,03	3,71	3,50	3,36	3,25	3,17	2,98	2,76

60. Критерий равнозначности двух навигационных элементов

$$\frac{m_1^2}{m_2^2} < F_\alpha, \quad (101)$$

где $m_1 > m_2$; F_α — определяется из приведенной ниже таблицы для доверительной вероятности $P = 0,99$.

n_1	n_2								
	3	4	5	6	7	9	20	60	∞
	F_α								
3	99,0	30,8	18,0	13,3	10,9	8,7	5,9	5,0	4,6
4	99,2	29,5	16,7	12,1	9,8	7,6	5,0	4,1	3,8
5	99,3	28,7	16,0	11,4	9,2	7,0	4,5	3,7	3,3
6	99,3	28,2	15,5	11,0	8,8	6,6	4,2	3,3	3,0
7	99,4	27,9	15,2	10,7	8,5	6,4	3,9	3,1	2,8
9	99,4	27,5	14,8	10,3	8,1	6,0	3,6	2,8	2,5
25	99,5	26,1	13,5	9,0	6,9	4,9	2,4	1,6	1,0

61. Критерий стабильности выработки НЭ

$$|U_{B_1} - U_{B_2}| < \frac{mt_\alpha}{\sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}}}, \quad (102)$$

где n_1 — число измерений при определении U_{B_1} ;

n_2 — число измерений при определении U_{B_2} ;

m — СКП одного измерения;

t_α — коэффициент, определяемый по табл. п. 59.

62. Анализ невязок:

а) при $C < R\sqrt{M_{исх}^2 + M_0^2}$ промахов в прокладке нет, невязка с большой вероятностью обусловлена случайными погрешностями исходной ($M_{исх}$) и данной (M_0) обсерваций; R — выбирается из табл. 1-в МТ-75 по P_3 ;

б) при $R\sqrt{M_{исх}^2 + M_0^2} < C < R\sqrt{M_0^2 + M_{сч}^2}$ промахов в прокладке нет, невязка обусловлена случайными погрешностями счисления и обсерваций;

в) при $C > R\sqrt{M_0^2 + M_{сч}^2}$ в навигационной прокладке содержится грубая ошибка.

63. Требуемая дискретность обсерваций (часы):

а) при плавании вблизи берегов и навигационных опасностей

$$t_{\text{д}} \leq \frac{1,4}{K_c} \sqrt{M_{\text{д}}^2 - M_0^2}; \quad (103)$$

б) при плавании в открытом море

$$t_{\text{д}} \leq \frac{1}{K_c^2} (M_{\text{д}}^2 - M_0^2), \quad (104)$$

где $M_{\text{д}}$ — допустимая СКП, мили;

M_0 — СКП последней обсервации, мили.

VI. Ожидаемые значения средних квадратических погрешностей и коэффициентов корреляции основных навигационных элементов (параметров)

Название навигационных элементов (параметров)	Частные погрешности измерения и обработки m	Повторяющаяся погрешность m_0	Полная погрешность m_n	Коэффициент корреляции r
1. Компасный пеленг, измеренный пеленгатором ПГК-2 гирокомпаса	0,3—0,4°	0,5—1,6°	0,6—1,7°	0,1—0,9
2. Компасный пеленг, измеренный пеленгатором магнитного компаса	0,5—1,1°	0,4—1,2°	0,7—1,8°	0,1—0,9
3. Пеленг, измеренный с помощью навигационной РЛС	0,5—0,8°	0,6—1,8°	0,7—2,0°	0,4—0,8
4. Пеленг, измеренный с помощью радиопеленгатора	Днем — 0,6—1,1°; ночью — 0,7—2,6°	0,7—1,8°	Днем — 0,7—2,0°; ночью — 0,8—3,0°	Днем — 0,6—0,8; ночью — 0,2—0,3
5. Расстояние, измеренное с помощью навигационной РЛС	0,5—1,0 % от D (точечные ориентиры)	0,2 кбт	0,8 % от D	0—0,2
6. Горизонтальный угол, измеренный секстаном	1,0—2,0'	0,1—0,4'	1,1—2,1'	0—0,2
7. Вертикальный угол, измеренный секстаном	0,4—1,0'	0,1—0,4'	0,5—1,1'	0—0,2
8. Расстояние, вычисленное по вертикальному углу:				
а) приближенная формула $D = 1,86 h/\beta$;	$(0,4—1,0') \frac{D}{\beta}$	$(0,1—0,4') \frac{D}{\beta}$	$(0,5—1,1') \frac{D}{\beta}$	0—0,2
б) формула, учитывающая высоту глаза и наклонение горизонта (зрительного луча)	$(0,4—1,0') K$	$(0,5—0,7') K$	$(0,6—1,3') K$	0,3—0,7
		где $K = 1,2 \left \frac{\beta'}{D-\beta} - 1 \right $		
9. Высота светила	0,3—0,6'	0,2—1,5'	0,4—1,6'	0,3—0,9
10. Навигационный параметр, измеренный РНС «Брас»	0,06 ф. п. точн. сети	0,06 ф. п. точн. сети	0,06 ф. п. точн. сети	0,4—0,6
11. Навигационный параметр, измеренный РНС Декка	Днем — 0,05 ф. п. точн. сети; ночью — 0,08—0,2 ф. п. точн. сети	0,02—0,08 ф. п. точн. сети	Днем — 0,05—0,09 ф. п. точн. сети; ночью — 0,08—0,2 ф. п. точн. сети	Днем — 0,2—0,8; ночью — 0,1—0,4

Продолжение

Название навигационных элементов (параметров)	Частные погрешности измерения и обработки m	Повторяющаяся погрешность m_0	Полная погрешность m_n	Коэффициент корреляции r
12. Навигационный параметр, измеренный импульсно-фазовой РНС: поверхностная радиоволна	0,2—0,5 мкс ($D < 1400$ миль)	0,1 мкс	0,3—0,6 мкс	0,1
пространственная волна	1—1,7 мкс	0,2—8 мкс	1—8 мкс	0,2—0,4
13. Навигационный параметр, измеренный фазовой РНС «Омега»	—	—	0,04 ф. п. днем; 0,06—0,08 ф. п. ночью	0 (при отсутствии общей наземной станции) 0,4÷0,7 (при наличии общей наземной станции)

64. Допустимые погрешности места:

а) при плавании по фарватеру:

— по перпендикуляру к оси ФВК (меньшая из двух)

$$m_{\perp}^{\perp} = \frac{0,5Ш_1}{z}; \quad m_{\perp}^{\perp} = \frac{0,5Ш_2}{z \cos \alpha} - m_{\perp}^{\circ} \operatorname{tg} \alpha; \quad (105)$$

— по оси ФВК

$$m_{\perp}^{\circ} \leq \frac{0,5Ш_2}{z \sin \alpha} - m_{\perp}^{\perp} \operatorname{ctg} \alpha, \quad (106)$$

где $Ш$ — ширина ФВК; z — величина, определяемая из табл. 1-6 МТ—75 по заданной вероятности P_a ; α — угол поворота на очередное колено ФВК;

б) при плавании вблизи одной навигационной опасности

$$M_a \leq \frac{1,4D}{z}, \quad (107)$$

где величина z определяется по аргументу $2P_a - 1$ из табл. 1-6 МТ—75; D — кратчайшее расстояние до опасности;

в) при плавании среди навигационных опасностей

$$M_n \leq \frac{D}{R}, \quad (108)$$

где D — минимальное расстояние от линии пути до навигационной опасности на данном участке маршрута; R — коэффициент, определяемый из табл. 1-в МТ—75.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

МИРОВОЙ ОКЕАН: ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЕГО ВОД,
РЕЛЬЕФА ДНА И БЕРЕГОВ

I. Воды Мирового океана

Мировой океан — это совокупность океанов и морей Земли, образующих непрерывную водную оболочку, окружающую все материки и острова. Поверхность Мирового океана составляет 70,8 % поверхности Земли. Официально принято деление Мирового океана на океаны: Тихий, Атлантический, Индийский и Северный Ледовитый. Морфологические характеристики океанов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Морфологические характеристики океанов

Название океана	Площадь		Объем млн. км ³	Средняя глубина, м	Максимальная глубина, м
	млн. км ²	%			
Тихий	178,7	49,5	707,1	3957	11022
Атлантический	91,6	25,4	330,1	3602	9207
Индийский	76,2	21,0	284,6	3736	7450
Северный Ледовитый	14,8	4,1	16,7	1131	5449
Мировой	361,3	100,0	1338,5	3794	11022

Примечание. Иногда южные части Атлантического, Индийского и Тихого океанов выделяют в Южный Ледовитый океан.

Море — это часть Мирового океана, обособленная сушей или возвышениями дна и отличающаяся от океанической акватории соленостью и температурой вод, характером течений, приливов или строением земной коры дна. Моря разделяются на окраинные, внутренние и межостровные. *Окраинные моря* (Баренцево, Карское, Северное, Берингово и др.) хорошо сообщаются с океанами и их воды мало отличаются от океанических. *Внутренние моря* могут быть *межматериковыми* (Средиземное, Красное и др.) и *внутриматериковыми* (Балтийское, Белое, Черное и др.). Внутренние моря отчленены от океана и соединяются с ним только узкими проливами. Природа этих морей тесно связана с природой окружающей суши и заметно отличается от природы океана, к которому они принадлежат. *Межостровные моря* (Филиппинское, Соломоново, Фиджи и др.) окружены более или менее тесным кольцом островов или островных дуг. По температуре, солености и другим свойствам воды межостровные моря не отличаются от соседних открытых районов океана, но многочисленные острова и подводные хребты сказываются на распространении приливных волн и течениях. Моря Каспийское, Аральское и Мертвое не связаны с океаном и являются, по существу, солеными озерами.

Морская вода представляет собой раствор многих веществ; в среднем в ней содержится 88,7 % хлоридов, 10,8 % сульфатов, 0,3 % карбонатов и 0,2 % прочих солей. В практике океанографических

расчетов концентрацию солей в морской воде, называемую соленостью S и измеряемую в граммах на килограмм или в промилле ($1 \text{ ‰} = 0,1 \text{ ‰}$), принято выражать суммарным содержанием твердых минеральных веществ.

Пространственно-временная изменчивость солености в океане довольно сложна, кроме основной, глубинной части океана, где и вертикальные и горизонтальные градиенты солености ничтожны. На поверхности открытых частей океанов, за исключением Северного Ледовитого, соленость меняется в довольно узких пределах от 33 до 37 ‰ с наиболее вероятными значениями 34—35 ‰ при общей тенденции уменьшения солености от низких широт к высоким. На соленость в каждом конкретном районе океана оказывают влияние береговой сток, атмосферные осадки, образование и таяние льда, интенсивность испарения, процессов перемешивания и водообмена.

Главным источником тепла Мирового океана является суммарная (прямая и рассеянная) *солнечная радиация*, достигающая поверхности океана и оцениваемая величиной $3,1 \cdot 10^2$ ккал/см² в год. Около 8 % этого количества отражается обратно в атмосферу, а остальное поглощается океаном, причём около 60 % поглощается верхним метровым и более 80 % — десятиметровым слоем воды. Нагретые воды океана сами являются источником излучения. Содержание тепла в них непрерывно меняется, однако в каждой точке океана средние годовые температуры остаются практически постоянными.

Определяющим фактором распределения температуры по глубинам являются процессы смешивания, которые протекают по-разному в различных морях и районах океана. Однако в самом общем виде вертикальную термическую структуру вод океана можно охарактеризовать наличием четырех более или менее четко выраженных слоев: *верхнего квазигоризонтального слоя* толщиной порядка 100 м, *сезонного термоклина* толщиной 50—100 м, где летом вертикальные градиенты имеют наибольшие значения, *главного термоклина*, имеющего толщину порядка 1 км, и *основной массы воды* в глубинной зоне — абиссали.

Плотность и удельный вес морской воды принято выражать в относительных величинах. Относительная плотность — это безразмерная величина, равная отношению плотности морской воды при температуре пробы t к плотности дистиллированной воды при температуре ее наибольшей плотности $\theta = 3,98 \text{ °C} \approx 4 \text{ °C}$.

Большой практический интерес представляют слои скачка плотности морской воды, которые препятствуют обмену веществ и энергии между поверхностной и глубинной зонами океана и нередко являются местом скопления взвесей, планктонных организмов и их останков (детрита), создавая своеобразные экраны для звуковой и электромагнитной энергии. Слой скачка представляет собой слой морской воды от единиц до десятков метров толщины с большими вертикальными градиентами плотности, разделяющий слои с малыми градиентами.

Возникновение слоев скачка плотности обусловлено термическими и соленостными причинами. В общем случае в умеренных и высоких широтах они возникают при наложении более прогретых поверхностных вод, часто опресненных весенне-летним таянием льдов, на более холодные и соленые подповерхностные воды океана. Сезонный характер таких слоев скачка определяется тем, что в холодную часть года по мере выхолаживания вод и образования льдов увеличение плотности воды на поверхности океана вызывает интенсивную конвекцию, разру-

шающую летнюю стратификацию вод. В приустьевых участках рек и в других районах с интенсивным распреснением вод, например, вследствие таяния опресненных за зиму льдов или выпадения тропических дождей могут возникнуть слои скачка плотности, расположенные вблизи поверхности, обусловленные скачкообразным изменением солиности воды с глубиной.

Однако чаще всего первопричиной образования слоев скачка плотности являются чисто термические условия — наличие слоя скачка температуры. Он может быть *сезонным, квазипостоянным* (в результате горизонтального перемещения вод течением) либо *временным* (в результате процессов перемешивания вод): после штормов образуется поверхностный изотермический слой толщиной до нескольких десятков метров, ниже которого находится слой, не охваченный перемешиванием и на границе неизбежно появление слоя скачка температуры случайного характера.

Акустические свойства вод Мирового океана определяются в первую очередь их плотностью и соленостью, а также вертикальным распределением этих величин по глубине. Появление подводных лодок, обладающих новым техническим свойством — скрытностью — привело к возникновению самостоятельной научно-технической отрасли — гидроакустики, которая базируется на выводах общей акустики и учении о волнах и занимается исследованием вопросов излучения, распространения и приема звука в океане.

Скорость звука в воде является функцией температуры, солиности и гидростатического давления. Прямолинейное распространение звука возможно лишь в акустически однородных средах. В океане скорость звука меняется в довольно широких пределах, от 1450 до 1540 м/с, причем даже незначительные изменения однородности воды оказывают большое влияние на распространение звука в океане. Вследствие неоднородности физических свойств морской воды в различных направлениях вертикальные градиенты скорости звука, как правило, на 2—3 порядка выше горизонтальных, и поэтому прямолинейное распространение звука в стратифицированном океане явление не типичное (отмечается лишь иногда в пределах поверхностного однородного слоя). В общем же случае, подчиняясь законам Снеллиуса, звуковые лучи в океане искривляются, принимая форму довольно сложных кривых.

Тип рефракции звука определяется характером *вертикального распространения скорости звука (ВРСЗ)*. В глубинной зоне океана, где вертикальные градиенты температуры и солиности ничтожны, довольно монотонное увеличение скорости звука с квазипостоянным гидростатическим градиентом около $17 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ обусловлено влиянием все возрастающего с глубиной гидростатического давления. В пределах же термоклина, особенно в его верхней части, ВРСЗ отличается сложным характером.

В методическом отношении представляется удобным аппроксимировать эту сложную картину сочетаниями двух основных типов рефракции звука в океане — положительной и отрицательной.

Положительная рефракция звука обусловлена возрастанием скорости звука с глубиной при изотермии или инверсии температуры в холодную часть года. При таком распределении параметров звуковые лучи, направленные в сторону дна, в область возрастающих скоростей звука, на некоторой глубине, зависящей от угла, под которым они выходят из источника звука, претерпят полное внутреннее отражение, искривляясь к поверхности океана. Условия работы гидроакустических

средств (ГАС) в этом случае оказываются благоприятными, так как при этом формируется сплошная зона *акустической освещенности*.

Отрицательная рефракция звука обусловлена убыванием скорости звука при естественном для теплой части года понижением температуры воды с глубиной. В этом случае лучи, направленные в сторону поверхности, в область возрастающих скоростей звука, будут искривляться ко дну. Дальности действия ГАС оказываются минимальными, ограниченными траекторией верхнего предельного луча (ВПЛ).

Если кривая ВРСЗ имеет на некоторой глубине четко выраженный минимум скорости звука, то образуется пространственная область воды, называемая *подводным звуковым каналом (ПЗК)*, в которой звуковые лучи распространяются, претерпевая многократное полное внутреннее отражение, что создает условия для сверхдальнего распространения звука. Подводный звуковой канал — это природный волновод, т. е. пространственная область в толще воды, в пределах которой звуковая энергия, претерпевая многократное отражение от выше- и нижележащих слоев, распространяется концентрированно, без существенных потерь, на дальние и сверхдальние расстояния (на сотни и даже тысячи миль). Наилучшие условия звукоподводной связи обеспечиваются при нахождении источника и приемника звука на глубине, соответствующей минимуму в вертикальном распределении его скорости, т. е. вблизи оси ПЗК. Наибольшие дальности распространения звука в ПЗК ограничены в основном процессами поглощения звука.

Если источник звука находится выше оси ПЗК или ниже ее, то лучевая картина существенно меняется: уменьшается угловой интервал захватываемых каналом лучей, исчезают лучи с малыми углами скольжения, форма оставшихся лучей не меняется, но на оси ПЗК возникают участки акустической тени.

Наличие слоя скачка температуры воды на небольших глубинах, изотермия над слоем скачка и убывание температуры воды ниже его определяют изменение положительной рефракции в приповерхностном слое на отрицательную в нижележащем слое. В результате образуется *приповерхностный подводный звуковой канал (ППЗК)*.

В этом случае при нахождении источника и приемника звука над слоем скачка условия звукоподводной связи в приповерхностном слое оказываются исключительно благоприятными.

В слое скачка вертикальные градиенты скорости звука велики, достигая $0,3 \dots 0,5 \text{ с}^{-1}$, поэтому здесь аномально высоки рефракция и ослабление звука, а экранирующий эффект нередко усиливается скоплением планктона и взвесей на его верхней границе. Поэтому маневрирование подводных лодок под слоем скачка остается скрытым и вынуждает надводные противолодочные корабли применять буксируемые или погружаемые акустические антенны.

Исследования показывают, что характерные для ПЗК профили скорости звука с минимумом на некоторой глубине возникают в силу двух разных причин. В общем случае для большинства глубоководных районов Мирового океана умеренных и низких широт убывание скорости звука до оси ПЗК обусловлено естественным убыванием температуры воды с глубиной. Ниже оси ПЗК повсеместно в океане наблюдается изотермия, и поэтому положительные градиенты скорости звука обусловлены влиянием все возрастающего с глубиной гидростатического давления. Ось таких *гидростатических ПЗК* обычно залегает на глубинах 1000—1200 м, в тропической зоне — на глубинах до 2000 м,

в умеренной зоне — на глубинах 200—500 м и в полярных широтах — на глубинах 100 и менее метров. Скорость звука на оси ПЗК меняется от 1480—1490 м/с в низких широтах до 1450—1460 м/с в высоких.

В некоторых мелководных районах отмечаются также ПЗК, обусловленные чисто термическими причинами, когда ниже оси *термического ПЗК* расположены теплые водные массы повышенной солености. Если на некоторой глубине существует холодный промежуточный слой — остаточные явления вертикальной зимней циркуляции — то появляется термический ПЗК сезонного характера, залегающий вблизи поверхности океана (30—120 м). Осенью с началом охлаждения воды такие ПЗК исчезают. Зависимость сезонных ПЗК от процессов ветрового и приливного перемешивания делают их малоустойчивыми. В некоторых морях, например Балтийском и Черном, существуют только термические ПЗК.

В мелком море при плотных грунтах отмечается явление донной подсветки (ДП), а иногда — явление *донного звукового канала (ДЗК)*, когда в тонком слое у дна происходит многократное отражение звука.

К динамическим характеристикам вод Мирового океана относятся: колебания уровня морей и океанов, волнение и течения.

Колебания уровня вызываются тремя группами причин:

1) Действие *гравитационных сил* ближайших к Земле небесных тел — Луны и Солнца вызывает появление приливных волн с типичным периодом, равным половине лунных суток (≈ 12 ч 25 мин) и длиной, теоретически равной половине окружности Земли. Эти волны создают колебания уровня периодического характера — *приливы*, которые в открытом море не превышают 1 м, но в некоторых прибрежных районах достигают 10—15 и даже 18,5 м (залив Фанди, Атлантическое побережье Канады). Сведения о приливах, необходимые мореплавателям, даются в Таблицах приливов, содержащих предвычисленные данные о приливах. Решение некоторых задач кораблевождения, связанных с учетом приливных колебаний уровня, изложено в § 2.3.

2) Действие *сейсмических факторов* — резкие крупномасштабные подвижки земной коры при сильных подводных или прибрежных землетрясениях, вулканических извержениях и других тектонических процессах порождают гравитационные волны — *цунами*, которые характеризуются периодом от минут до часов, высотой в открытом океане от 0,1 до 5 м, скоростью распространения от 30 до 550 уз и длиной от 8—10 до 200—300 миль. На мелководьях эти волны деформируются, высоты их возрастают до 10 и более метров (отдельные заплески в бухтах до 50 м), обрушиваясь на побережье.

3) *Физико-химические и динамические процессы* в океане и атмосфере. Сравнительно *быстротечные атмосферные возмущения* (изменение давления, сгонно-нагонное действие ветра, локальное выпадение обильных осадков) вызывают кратковременные нарушения равновесия вод океана в виде свободных стоячих волн — *сейш* с периодом от 5—10 мин до 24 ч и высотой от нескольких сантиметров до нескольких метров (барические волны в Бенгальском заливе достигают 10 м). Движение атмосферных циклонов может вызвать в океане свободные длинные волны типа цунами. В некоторых районах такие волны приводят к значительным подъемам уровня (до нескольких метров). *Сезонные колебания уровня*, обычно не превышающие 40—60 см, обусловлены действием сезонных изменений плотности морской воды вследст-

вие годового хода ее температуры и солености, сезонных изменений атмосферного давления над океаном, сезонной смены ветров, которая особенно четко выражена в муссонных областях, и, наконец, сезонных изменений общего количества воды в данном бассейне вследствие годового хода осадков, испарения и берегового стока.

Следует подчеркнуть, что в природе перечисленные типы колебаний уровня океана в изолированном виде не существуют, а, накладываясь друг на друга, образуют те сложные колебания, которые фиксируются наблюдениями. В каждом конкретном случае можно, однако, выделить преобладающую составляющую колебания.

Морским волнением называется распространение колебательных перемещений частиц воды, происходящих с большей или меньшей регулярностью по некоторым замкнутым или почти замкнутым орбитам.

Рассматривая план взволнованной поверхности, можно нанести фронт волны — линию, проходящую по вершинам данного гребня волны перпендикулярно к направлению перемещения ее профиля, и луч волны — перпендикуляр к фронту в данной точке (луч направлен в сторону движения волны).

Если рассматривать пространственно-временную картину, можно определить скорость распространения волн (фазовую скорость), т. е. скорость перемещения гребня волны в направлении ее распространения, определяемую за короткий интервал времени (около периода).

Как по своей структуре, так и по характеру действующих сил морские волны весьма разнообразны. Поэтому волнение можно классифицировать по различным признакам:

1) В зависимости от причин, вызывающих волновые движения вод, различают морские волны: *ветровые*, возникающие под действием ветра, *анемобарические (сейши)*, вызываемые относительно быстрым изменением атмосферного давления над морем, *сейсмические (цунами)*, связанные с колебаниями дна тектонического характера, и *приливные*, порождаемые силами притяжения Луны и Солнца.

2) В зависимости от характера движения морских волн их делят на *поступательные (прогрессивные)*, когда волны перемещаются в пространстве, *стоячие*, когда волны не имеют поступательного движения, и *смешанные (прогрессивно-стоячие)*, когда движение волн определяется состоянием поступательной и стоячей волн.

3) В зависимости от соотношения между длиной волны λ и глубиной моря H различают волны: *короткие*, или волны глубокого моря (при $H/\lambda \geq 0,3 \dots 0,5$) на конечной глубине, или волны *мелководья* (при $0,1 < H/\lambda < 0,3 \dots 0,5$), *длинные*, или волны мелкого моря (при $H/\lambda < 0,1$).

4) В зависимости от действия вынуждающих сил различают волны: *вынужденные*, обусловленные воздействием силы того или иного происхождения, и *свободные*, когда сила прекращает действие после образования волн.

5) В зависимости от глубины расположения волнового возмущения различают волны *поверхностные* и *внутренние*. Последние возникают внутри водной массы на той или иной глубине и почти не проявляют себя на поверхности.

Океанические и морские течения — общие сведения о них даны в § 2.2, а определение и учет течений при плавании по численению изложены в § 12.6 и 12.7.

Цвет морской воды определяется исключительно ее оптическими свойствами. Он не зависит от внешних условий и наряду с про-

зрачностью, может служить объективной характеристикой при индикации водных масс. Для оценки цвета морской воды существует специальная шкала, содержащая 11 словесных определений цвета, от синего до коричневого, кроме того, каждый цвет подразделен на два оттенка.

Цвет морской поверхности (видимый цвет моря) хотя и зависит существенно от собственного цвета морской воды, но во многом определяется влиянием других внешних факторов: угла зрения, под которым рассматривается поверхность моря, и условий погоды — цвета неба, прозрачности атмосферы, форм и количества облаков, наличия льдов, степени волнения, состояния поверхности моря и т. д.

II. Рельеф дна

Наиболее крупными, планетарными, формами рельефа Земли, отражающими важнейшие различия в геологической структуре земной коры и возникшими главным образом в результате проявления планетарных геологических процессов, являются *геотектуры*. В пределах дна Мирового океана выделяют четыре геотектуры:

- подводные окраины материков;
- переходные зоны;
- срединно-океанические хребты;
- ложе океана.

В табл. 2 приведены площади, занимаемые отдельными геотектурами рельефа дна Мирового океана.

Таблица 2

Площади геотектур рельефа дна Мирового океана, млн км² (%)

Океан	Подводные окраины материков	Переходные зоны	Срединно-океанические хребты	Ложе океана
Тихий	18,2 (10,2)	24,0 (13,5)	19,6 (11,0)	116,8 (65,3)
Атлантический	29,5 (32,6)	4,8 (5,2)	22,3 (24,6)	34,0 (37,6)
Индийский	22,5 (29,3)	1,8 (2,3)	12,9 (16,8)	39,6 (51,6)
Северный Ледовитый	11,3 (74,6)	—	0,5 (3,0)	3,4 (22,4)
Мировой	81,5 (22,6)	30,6 (8,4)	55,3 (15,3)	193,8 (53,7)

Подводная окраина материка является частью материка, которая расположена ниже уровня океана и покрыта его водами. Она подразделяется на шельф, или материковую отмель, материковый склон и материковое подножье.

Шельф представляет собой различную по ширине (от нескольких километров до 1500 км) горизонтальную или слабонаклонную равнину. Границами шельфа являются с одной стороны береговая линия, а с другой — крутой изгиб профиля дна при переходе шельфа к материковому склону, который может располагаться на глубинах от 50 до 200 м, а иногда и до 2000 м.

Рельеф шельфа преимущественно равнинный с небольшими уклонами дна. На общем фоне плоских или слабонаклонных равнин встречается ряд значительных неровностей — островных плато, впадин, желобов. Внутренняя часть шельфа, примыкающая непосредственно к по-

бережью, распространяется в среднем до глубин порядка 100 м и характеризуется выровненным рельефом, образовавшимся под воздействием абразионных и аккумулятивных процессов. Внешняя часть шельфа, расположенная обычно за пределами 100-метровой изобаты, имеет более расчлененный рельеф. Формы рельефа, созданные еще в наземных условиях, здесь погребены лишь частично. Поэтому важнейшей особенностью рельефа внешней части шельфа является унаследование наземных аккумулятивных и эрозионных форм, свойственных рельефу прилегающих окраин материков.

Материковый склон простирается от внешнего края шельфа до материкового подножья. Характерная общая черта материкового склона состоит в резком уклоне его поверхности в сторону ложа океана.

Рельеф материкового склона отличается сложным строением. У берегов вулканических и коралловых островов, а также вблизи берегов, сложенных коренными породами, крутизна склона достигает иногда 40—45° (фьорды Норвегии, Бискайский залив). Своеобразной формой рельефа материкового склона являются также глубокие крутостенные каньоны, имеющие очень большие углы падения и представляющие собой глубокие трещины на поверхности склона. Наиболее пологие склоны встречаются на участках, прилегающих к устьям крупных рек, где поверхность дна имеет сравнительно однородный характер, а крутизна склона не превышает 2—3°.

Материковое подножье представляет собой слабонаклонную поверхность дна, прилегающую к материковому склону на глубинах до 5 км и отделяющую его от ложа океана. Характернейшей особенностью материкового подножья является мощный слой донных осадков. Рельеф материкового подножья представляет собой образованные осадками равнины, расчлененные руслами потоков донных отложений, конусами выноса, долинами.

Переходные зоны представляют собой области современного горообразования, расположенные на стыке океана и материка в некоторых районах Мирового океана (главным образом по окраинам Тихого океана). Типичная переходная зона состоит из трех заметно различающихся частей: котловины окраинного моря, островной дуги и глубоководного желоба.

Котловины окраинных морей являют собой обширные понижения дна, сочетающие равнинный рельеф с уступами, подводными вулканами, долинами и возвышенностями.

Островные дуги представляют собой подводные хребты, вытянутые на значительные расстояния (200—1500 км), имеющие в плане дугообразную форму и выходящие на поверхность океана наиболее возвышенными частями в виде изогнутых цепочек островов. В зоне островных дуг интенсивно проявляются вулканизм и землетрясения.

Глубоководные желоба — это узкие и длинные трещины в океанической коре с крутыми склонами, достигающими 25°. В плане желоба повторяют очертания прилегающей островной дуги. Дно желоба обычно плоское за счет накопления осадков. Ширина желобов не превышает 150 км, длина достигает нескольких тысяч километров, а глубина обычно более 6000 м.

Срединно-океанические хребты занимают особое место в облике подводного рельефа. Они представляют собой широкое раздробленное поднятие океанической коры, ось которого часто приурочена к средней линии океана. Эти хребты образуют непрерывную цепь в океанах, длина которой более 60 тыс. км, а площадь составляет около 15 % площади Мирового океана.

В поперечном разрезе это валы шириной от пескольных сотен до 1,5—2 тыс. км со сложнорасчлененными склонами. В осевой зоне различаются два параллельных хребта, разрезанные глубокими понижениями, получившими название *рифтовых долин*. Соответственно хребты, окаймляющие эту долину, называются *рифтовыми горами*, а вся осевая зона (долина и горы) — *рифтовой зоной*. Некоторые горы на склонах зоны образуют острова.

На всем протяжении срединно-океанические хребты разбиты на части поперечными разломами, называемыми *трансформными разломами*, по которым отдельные звенья хребтов смещены относительно друг друга на десятки и даже сотни километров.

В зонах срединно-океанических хребтов отмечаются повышенная сейсмичность, вулканизм, линейные магнитные аномалии, а также слабо выраженные аномалии гравитационного поля.

Ложе океана — основное пространство дна Мирового океана с преобладающими глубинами более 3000 м. Простирается от подводной окраины материков в глубь океана и занимает более 50 % его площади. Крупнейшими элементами рельефа дна ложа океана являются океанические котловины и разделяющие их океанические поднятия — глыбовые и вулканические хребты, валы, а также возвышенности и горы. Характерной чертой строения ложа океана являются разломы, которые в большинстве своем выражены в виде узких депрессий, крутых склонов и линий вулканических подводных гор.

Океанические котловины представляют собой обширные понижения ложа океана, ограниченные поднятиями или подводной окраиной материка. Дно котловин располагается на глубинах более 5000 м и представляет собой выровненные поверхности в виде плоских или холмистых равнин.

Хребты — это линейно вытянутые положительные формы рельефа. Вдоль гребней хребтов нередко образуются цепи островов с вулканическими вершинами. Свообразный облик имеют *глыбовые хребты*, сопряженные с системой *разломов*, — здесь вдоль гигантских линий разломов располагаются узкие и короткие хребты, а также узкие впадины или цепочки вулканов.

Валами называются широкие линейно вытянутые поднятия дна значительной протяженности, отличающиеся пологими склонами, постепенно переходящими в равнину. Их ширина достигает сотен миль, а высота 4000—5000 м.

Возвышенности представляют собой участки океанического дна, часто изометрической формы, испытавшие заметные поднятия. Среди возвышенностей отметим *плато* — поднятие ложа океана, характеризующееся плоской или волнистой поверхностью и отграниченное от соседних равнинных участков относительно крутыми склонами.

Подводные горы — это отдельные значительные повышения дна куполообразной, конической или неправильной формы, характеризующиеся сравнительно крутыми склонами и относительной высотой более 1000 м. Широкое распространение гор на дне океанов является существенным отличием подводного рельефа от рельефа суши. Отдельные подводные горы возвышаются над поверхностью котловин на высоту в несколько километров и имеют поперечники в несколько десятков километров. Некоторые горы имеют плоские вершины и называются *столовыми*, или *гайотами*, а островершинные — *подводными пиками*.

III. Берега

Берегом называется полоса суши, непосредственно примыкающая к береговой линии, на которой рельеф формируется под влиянием морских волн при современном уровне моря. Часть суши, граничащую с берегом, называют *побережьем*, а прибрежная полоса моря, где сказывается активная рельефообразующая сила волнения, называется *подводным береговым склоном*. Берег и подводный береговой склон составляют *береговую зону*.

В пределах береговой зоны наиболее активно протекают современные процессы взаимодействия суши и моря, т. е. *абразия* — механическое разрушение волнами коренных пород и *аккумуляция* — накопление наносов, создающее различные аккумулятивные формы рельефа: широкие пляжи, береговые валы, косы. В соответствии с преобладающим влиянием тех или иных процессов различают два основных типа берегов: абразионные и аккумулятивные.

Общепринятой классификации морских берегов нет. По генетическим признакам различают берега *коренные* — сложенные древними горными породами, к которым относятся, например, берега фьордовые, шхерные, риасовые, далматинские, и *современные*, или молодые, — образованные за счет современных отложений, к которым относятся, например, берега лиманные, лагунные, с приливными осушками, коралловые. Приведем краткое описание некоторых типичных берегов.

Берег фьордовый — берег, сильно расчлененный глубоко вдающимися в горную сушу узкими и разветвленными заливами — *фьордами*, с крутыми скалистыми берегами. Фьордовые берега развиты на Скандинавском полуострове, на севере Кольского полуострова, на островах Новой Земли.

Берег шхерный — берег, сильно изрезанный, с узкими заливами, окаймленный многочисленными небольшими островами, разделенными неширокими проливами с множеством банок. Шхерные берега широко развиты в Финском и Ботническом заливах Балтийского моря.

Берег риасовый — берег, изрезанный вдающимися глубоко в сушу разветвленными воронкообразными бухтами, образовавшимися в результате затопления морем речных долин гористых морских побережий. Иногда вдоль него расположены многочисленные мелкие острова. Риасовые берега характерны для залива Петра Великого и Севастопольской бухты. Наиболее развиты эти берега в Испании, где клиновидные заливы носят название *риа*.

Берег далматинский — сильно расчлененный берег, представляющий собой вытянутые параллельно общему направлению берега многочисленные острова, полуострова, заливы и проливы с крутыми склонами. Получил свое название от побережья Далмации в Адриатическом море.

Берег лиманный — берег, образующийся при затоплении устьев речных долин невысоких морских побережий, сложенных горизонтальными пластами малоустойчивых пород. Характеризуется вдающимися далеко в сушу клиновидными бухтами, называемыми лиманами. Распространен на Черном и Азовском морях.

Берег лагунный — низменный берег, расчлененный вытянутыми вдоль него мелководными заливами, называемыми *лагунами*, которые отделяются от моря береговым баром. Встречается в южной части Балтийского моря, на Чукотском полуострове и других местах.

Берег с приливными осушками — низменный берег, формирующийся в условиях значительных приливов. Приливная полоса обычно разде-

ляется на две части: нижнюю — *ваттовую*, — затопляемую каждым приливом и лишенную растительности, и верхнюю — *лайденную*, — затопляемую в самую полную воду и покрытую растительностью. Широко распространены на приливных морях в районах низменных побережий.

Берег коралловый — берег с коралловыми постройками. Различают коралловые берега с барьерными рифами, окаймляющими рифами и берега кольцеобразных коралловых рифов — *атоллов*. Встречаются в тропических и субтропических морях.

ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

- алп* — азимутальная линия положения
 АНС — астронавигационная система
 БИП — боевой информационный пост
 БИУС — боевая информационная управляющая система
 БРЛС — береговая радиолокационная станция
 ВАС — Таблицы высот и азимутов светил
 ВКС — верхний квазигодородный слой
влп — высотная линия положения
 ВМ — ведомая опорная наземная станция радионавигационной системы
 ВПЛ — верхний предельный луч
 ВРСЗ — вертикальное распределение скорости звука
 ВТ — ватерлиния
 ВЩ — ведущая опорная наземная станция радионавигационной системы
 ГА — гироазимут
 ГАЛ — гидроакустический лаг
 ГАК — гидроакустический комплекс
 ГАС — гидроакустическая станция
 ГК — гирокомпас
 ГКП — главный командный пункт корабля
 ГКУ — гироскопический курсоуказатель
 ГМК — гироманитный компас
 ГМС — географическое место спутника
 ГСВЧ — Государственная служба времени и частоты
 ГУНиО МО — Главное управление навигации и океанографии Министерства обороны
 ГЭУ — главная энергетическая установка корабля
 ДЕСО — десантный отряд
 ДЗК — донный звуковой канал
 ДП — донная подсветка
 ДПС — донный пограничный слой
 ЗИП — запасные части, инструменты и принадлежности
 ИК — истинный курс
 ИКО — индикатор кругового обзора
 ИМ — извещение мореплавателям
 ИН — истинное направление
 ИНС — инерциальная навигационная система
 ИП — истинный пеленг
 ИСЗ — искусственный спутник Земли
 К — курс
 КИК — командно-измерительный комплекс
 КИП — командно-измерительный пункт; контрольно-измерительный прибор
 КК — компасный курс
 КН — компасное направление
 КО — корабль охранения
 КП — компасный пеленг
 КПУГ — корабельная поисково-ударная группа
 КУ — курсовой угол
 КУГ — корабельная ударная группа

- КУС — компенсирующее устройство
 ЛокП — локсодромический пеленг
 лп — линия положения
 лр — линия разделения
 МАГ — Международная ассоциация геодезии
 МАЕ — Морской астрономический ежегодник
 МАС — Международный астрономический союз
 МВУ — машина вычислительная управляющая
 МК — магнитный курс
 МП — магнитный пеленг
 МППСС — Международные правила предупреждения столкновений судов в море
 МСС — Международный свод сигналов
 МТ — Мореходные таблицы
 НАВАРЕА — районное предупреждение
 НАВИП — навигационное предупреждение по прибрежным водам иностранных государств и водам открытого моря
 НГС — навигационная гидроакустическая система
 НИ — навигационная информация
 НИП — наземный измерительный пункт
 НИСЗ — навигационный искусственный спутник Земли
 НКД — неподвижный круг дальности
 НМК — навигационная морская карта
 НП — навигационный параметр
 НРЛС — навигационная радиолокационная станция
 НС — направление сноса корабля
 НЭ — навигационный элемент
 ОГЗ — обратная геодезическая задача
 ОРКУ — отсчет радиокурсового угла
 ОРП — отсчет радиопеленга
 ОртП — ортодромический пеленг
 ос — отсчет секстана
 П — пеленг
 ПЗК — подводный звуковой канал
 ПКД — подвижный круг дальности
 ПМК — программируемый микрокалькулятор
 ППЗ — плавучий предостерегательный знак
 ППЗК — приповерхностный подводный звуковой канал
 ПРИП — прибрежное предупреждение
 ПТМ — предельная точность масштаба
 ПУ — пункт управления; путь
 ралп — разностно-азимутальная линия положения
 равп — разностно-высотная линия положения
 РКУ — радиокурсовой угол
 РЛМК(отв) — радиолокационный маяк-ответчик
 РЛО — радиолокационный отражатель
 РЛП — радиолокационный пеленг
 рлп — разностная линия положения
 РЛС — радиолокационная станция
 РМК — радиомаяк круговой
 РМЧ — разность меридиональных частей
 РНП — радионавигационный параметр
 РНС — радионавигационная система
 рол — разность отсчетов лага
 РП — радиопеленг

- РСЗ — равносигнальная зона
РТСНО — радиотехническое средство навигационного оборудования
РУ — размагничивающее устройство
САРП — система автоматической радиолокационной прокладки
СБК — сектор безопасных курсов
СВЭК — электронная корабельная система времени
СКП — средняя квадратическая погрешность
СНА — спутниковая навигационная аппаратура
СНО — средство навигационного оборудования
СНП — система навигационная подводная
СНС — спутниковая навигационная система
СЦВМ — специализированная цифровая вычислительная машина
ТВА — Таблицы для вычисления высоты и азимута
ТГ — тактическая группа
ТО — техническое обслуживание
ТСН — технические средства навигации
ФВК — фарватер военный контролируемый
ФКП — флагманский командный пункт
ФТА — фототелеграфная аппаратура
ЦВУ — цифровое вычислительное устройство
ШВК — штурманский вычислительный комплект
ШОП — шаровый осветительный прибор
ЭИ — эфемеридная информация
ЭКВМ — электронная клавишная вычислительная машина
ЭНГ — электронная навигационная группа
-

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизация судовождения/А. Е. Сазонов, А. И. Родионов. М., Транспорт, 1977.
2. Астронавигационный альманах на 1986—1990 гг. № 9009, ГУНЮ МО, 1987. 223 с.
3. Астронавигационные определения места судна/М. И. Гаврюк. М., Транспорт, 1973. 176 с.
4. Гидрографические исследования Мирового океана/А. И. Сорокин. Л., Гидрометеоздат, 1980.
5. Избранные труды/В. В. Каврайский, т. I, Астрономия и геодезия. УНГС ВМС, 1956.
6. Инструкция по определению места по рельефу дна. ГУНЮ МО, 1976.
7. Использование радиотехнических средств в морской навигации/Ю. К. Баранов. М., Транспорт, 1978.
8. Картографические таблицы. Эллипсоид Ф. Н. Красовского. ГУ ВМС, 1949.
9. Картография/Л. А. Вахромеева. М., Недра, 1981.
10. Картография и математическая обработка навигационно-гидрографической информации/А. А. Дадашев. Л., ВВМУ им. М. В. Фрунзе, 1986.
11. Корабельный Устав ВМФ (КУ—78). М., Воениздат, 1978.
12. Кораблевождение (практическое пособие для штурманов)/Под редакцией В. Д. Шапдалова. ГУНЮ МО, 1972.
13. Космические средства судовождения/Е. П. Чуров, Е. Ф. Суворов. М., Транспорт, 1979. 287 с.
14. Математическая обработка зависимых величин/Б. И. Никифоров, Г. В. Макаров. М., Рекламинформбюро, 1976.
15. Математическая обработка и анализ навигационной информации/Н. М. Груздев. М., Воениздат, 1979.
16. Математические основы судовождения/В. П. Кожухов, В. В. Григорьев, С. М. Лукин. М., Транспорт, 1980.
17. Машинные методы решения задач морской астронавигации, ч. I—IV. Под общей редакцией проф. Р. А. Скубко. Л., ВВМУ им. М. В. Фрунзе, 1987. 284 с.
18. Международная космическая радиотехническая система обнаружения терпящих бедствие. Под ред. В. С. Шебшаевича. М., Радио и связь, 1987. 376 с.
19. Методика обработки навигационных измерений с оценкой точности. ГУНЮ МО, 1985.
20. Методы математической статистики в гидрографии и кораблевождении/В. С. Болдырев. Л., ВМА, 1974.
21. Мореходная астрономия/Р. А. Скубко, Н. В. Филатов. М., Воениздат, 1966. 647 с.
22. Мореходные таблицы (МТ—75). ГУНЮ МО, 1975.
23. Морская астронавигация/Р. А. Скубко. М., Воениздат, 1979. 478 с.
24. Морской астрономический ежегодник на 1989 г. № 9002, ГУНЮ МО, 1987. 320 с.
25. Морская лоция/Г. Г. Ермолаев. М., Транспорт, 1982.
26. Морская навигация, морская гидрография и оксанография. Термины и определения. Стандарт СЭВ 3849—82.
27. Навигационное оборудование морских театров/И. С. Калинин. Л., ВВМУ им. М. В. Фрунзе, 1980.
28. Навигация/Под редакцией Н. М. Груздева. М., Воениздат, 1980.
29. Навигация/М. М. Лесков, Ю. К. Баранов, М. И. Гаврюк. М., Транспорт, 1986.
30. Навигация/В. Ф. Паластров и др. М., Воениздат, 1967.
31. Навигация. Курс кораблевождения, т. I/Г. П. Понько, Е. П. Соломатин. УГС ВМФ, 1961.

32. Обработка навигационной информации с помощью электронных клавишных вычислительных машин (электронных микрокалькуляторов)/Н. М. Груздев. Л., ВВМУ им. М. В. Фрунзе, 1983.
33. Океанология. Термины и определения. ГОСТ—18451—18458—73, М., Гос. ком. СССР по стандартам, 1973.
34. Определение места судна/В. Т. Кондрашихин. М., Транспорт, 1981.
35. Основы инерциальной навигации/А. А. Якушенко. М., 1963.
36. Оценка точности определения места судна по спутниковым РНС доплеровского типа/А. Ю. Баранов, М., Мортехинформреклама, 1988. 48 с.
37. Правила штурманской службы № 27. Условные обозначения, применяемые в кораблевождении, шестое изд. перераб., дополн. ГУНнО МО, 1982.
38. Практика кораблевождения/А. И. Смирнов, В. И. Камания, Н. М. Груздев. М., Воениздат, 1978.
39. Рекомендации по астронавигационному ориентированию при плавании с поврежденными техническими средствами навигации и на спасательных средствах, № 9049, ГУНнО МО, 1984. 56 с., прил.
40. Сборник программ для решения задач на программируемых электронных клавишных вычислительных машинах типа «Электроника» (СП-1—84). Приложение и методика обработки навигационных измерений с оценкой точности. ГУНнО МО, 1985.
41. Справочник гидрографа по терминологии. ГУНнО МО, 1984.
42. Справочник вахтенного офицера/Под редакцией А. П. Проничкина. М., Воениздат, 1967.
43. Справочник штурмана/Под редакцией В. Д. Шандабылова. М., Воениздат, 1968.
44. Справочник штурмана по математике. Вып. 2. Практическая математика. ГУ ВМС, 1951.
45. Спутниковые системы морской навигации/В. А. Богданов, В. А. Сорочинский, Е. В. Яшкевич. М., Транспорт, 1987. 200 с.
46. Статистические методы анализа наблюдений/З. Бравдт. М., Мир, 1975.
47. Статистическая оптимизация навигационных систем/С. С. Рывкин, Р. И. Ивановский, А. В. Костров. Л., Судостроение, 1976.
48. Судовые комплексы спутниковой навигации/П. С. Волосов, Ю. С. Дубинко, В. Г. Мордвинов, В. Д. Шинков. Л., Судостроение, 1983. 272 с.
49. Таблицы для вычислений географических и прямоугольных координат. Для широт от 0 до 84°. Эллипсоид Ф. Н. Красовского. УГС ВМС, 1965.
50. Таблицы для вычисления длины и азимута геодезической линии большой протяженности по методу Андуайе-Ламберта/А. И. Сорокин. УГС ВМФ, 1961.
51. Теория вероятностей/Е. С. Вентцель. М., Наука, 1969.
52. Теория ошибок и ее применение к задачам судовождения/В. Т. Кондрашихин. М., Транспорт, 1981.
53. Штурман флота (справочник по кораблевождению)/Под редакцией А. Н. Мотрохова. М., Воениздат, 1986.

Бесплатно

Для внутриведомственной продажи цена 10 р. 30 к.

Редактор *М. П. Шалимов*

Технический редактор *С. Н. Холстинина*

Сдано в набор 19.02.88.

Доп. тираж
Формат 70 × 108^{1/16}

Подписано к печати 20.06.89

Г-632381. Усл. печ. л. 73,4.

Уч.-изд. л. 72,6.

Изд. № 126.

Заказ 20111

ЦКФ ВМФ

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Следует читать
5	40 сверху	352	353
5	42 сверху	354	353
5	44 сверху	359	360
5	47 сверху	361	362
167	4 снизу	давление воздуха	атмосферное давление
168	2 сверху	предварительны	предварительный
178	23 сверху	машрута	маршрута
207	8 снизу	относительно	относительного
212	11 сверху	Δt_i	t_i
231	15 снизу	V	\vec{V}
231	16 снизу	S	\vec{S}
262	4 снизу	индуцируются	индицируются
385	14 сверху	(18.2.1)	(18.1.1)
386	1 снизу	(18.2.2)	(18.1.2)
387	16 сверху	(18.2.3)	(18.1.3)
388	11 сверху	(18.2.4)	(18.1.4)
400	13 сверху	разностей	разности
499	15 сверху	24.4.7	22.4.7
577	7 снизу	M_0	M_{0i}
683	20 снизу	карты	номограммы
685	Подпису- ющая подпись	Рис. 26.22	Рис. 26.2.2
896	19 сверху	и методика	к методике

На стр. 647 строки 9, 10, 11 сверху следует читать в следующей последовательности строк: 11, 10, 9.