

Министерство образования и науки

Севастопольский национальный технический университет

Кафедра Судовождение и безопасность судоходства



## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

для подготовки к практике наблюдений по дисциплине

## **МОРЕХОДНАЯ АСТРОНОМИЯ**

для студентов

специальностей 7.07010401 и 8.07010401 - «Судовождение»



Севастополь

2013

УДК

**Методические указания** для подготовки к практике наблюдений по дисциплине Мореходная астрономия для студентов 5 курса специальности 7.00301 «Судовождение» /Сост. В.В.Вознесенский, капитан дальнего плавания, старший преподаватель кафедры СБС – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2013, - 52 с.

Цель методических указаний – дать студентам необходимую информацию и оказать практическую помощь при организации работ по подготовке астронавигационных приборов, их выверки и при самостоятельных вычислениях задач мореходной астрономии.

Методические указания соответствуют требованиям Конвенции и Кодекса ПДНВ 78/95 с Поправками 2010 в отношении подготовки специалистов уровня эксплуатации.

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры Судовождения и безопасности судоходства, протокол № \_\_\_\_ от «\_\_» \_\_\_\_\_ 2012 г.

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний.

Рецензент: Боков Г.В., старший преподаватель кафедры СБС, ШДП

# Мореходная астрономия

## Небесная сфера. Основные точки и круги.

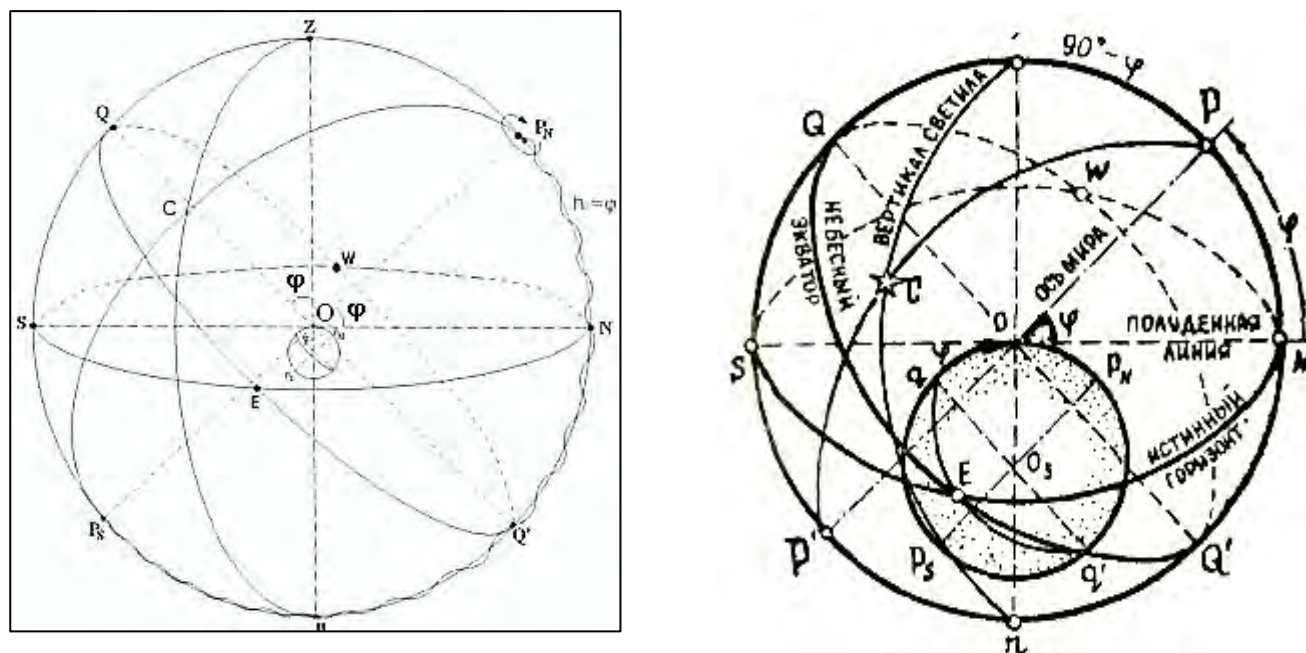


Рисунок 1. Небесная сфера

**Небесной сферой** (рис. 1) называется вспомогательная сфера произвольного радиуса, к центру которой параллельно перенесены основные линии наблюдателя и Земли и направления на светила, т.е., небесная сфера представляет собой геометрическое изображение видимого небесного свода.

Отвесная линия пересекает небесную сферу в точках зенита  $z$  и надира  $n$ . Большой круг, плоскость которого перпендикулярна отвесной линии, называется **истинным** (математическим) **горизонтом**. Полушарие, расположенное над истинным горизонтом, называется **надгоризонтным**, а расположенное под горизонтом, соответственно – **подгоризонтным**.

Большие круги, проходящие через точки зенита и надира (через отвесную линию), называются **вертикалами**.

Вертикал, пересекающий истинный горизонт в точках  $E$  и  $W$ , называется **первым вертикалом**. Вертикал, пересекающий истинный горизонт в точках  $N$  и  $S$ , называется **вертикалом наблюдателя**.

Малые круги, параллельные истинному горизонту и пересекающие отвесную линию под прямым углом, называются **альмукантарами**.

Диаметр небесной сферы, параллельный оси Земли, называется осью мира и касается сферы в точках северного  $P_N$  и южного  $P_S$  полюсов мира.

Большой круг, плоскость которого перпендикулярна оси мира  $P_N P_S$ , называется **небесным экватором**. Малые круги, пересекающие ось мира, называются **параллелями (или кругами склонений)**.

Большие круги, проходящие через полюсы мира, называются **меридианами (или кругами широт)**.

Часть небесной сферы, включающую меридиан наблюдателя с повышенной частью небесного экватора, называется **полуденной частью**, а включающую пониженную – соответственно, **полуночной частью** небесной сферы.

Большой круг, проходящий через ось мира и совпадающий с вертикалом наблюдателя, называется меридианом наблюдателя. Меридиан наблюдателя пересекает плоскость истинного горизонта в точках N и S.

## Системы сферических координат

### 1. Горизонтная система координат.

Основными кругами горизонтной системы являются *истинный горизонт* и вертикал наблюдателя (*меридиан наблюдателя*); основным направлением – *отвесная линия*  $zn$ .

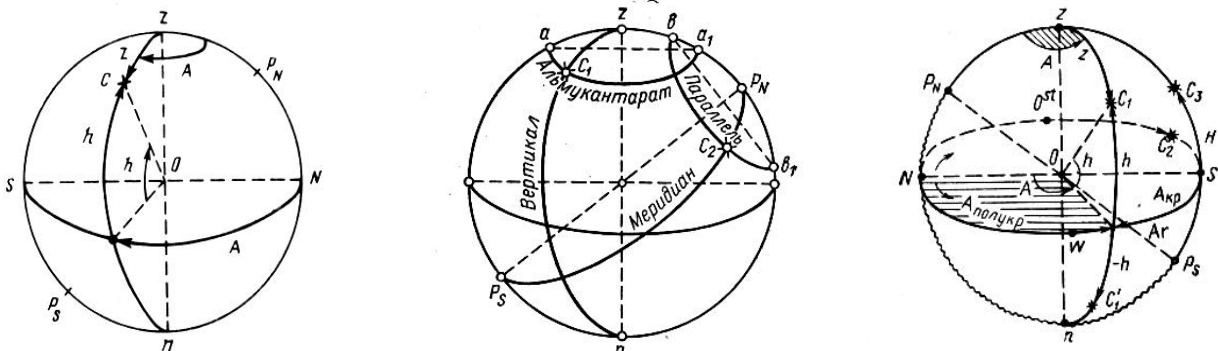


Рисунок 2. Горизонтная система координат

Вертикал (его часть), проходящий через светило, называется **вертикалом светила**. Вертикал, проходящий через истинный горизонт в точках E и W, называется **первым вертикалом**.

**Высотой** светила  $h$  называется дуга его вертикала, измеренная от плоскости истинного горизонта до места светила (вертикальный угол между горизонтом и направлением из центра сферы на светило).

Высоты измеряются в пределах  $\pm 90^\circ$ , при этом высота со знаком минус « - » называется **снижением**. Дополнение высоты до  $90^\circ$  называется **зенитным расстоянием**  $z$  (дуга вертикала от зенита до места светила):  $h+z=90^\circ$ .

При нахождении светила на меридиане наблюдателя высота светила называется **меридиональной  $H$** . Ей приписывается наименование той части горизонта, над

которой наблюдается светило. Наименование меридионального зенитного расстояния противоположно наименованию меридиональной высоты. Например:  $H = 60^\circ S$ ,  $Z = 30^\circ N$ .

Альмукантарат (круг равных высот), проходящий через светило, называется *альмукантаратом светила*.

Сферический угол при зените, заключенный между меридианом наблюдателя и вертикалом светила, называется *азимутом светила A*. Азимут также измеряется дугой истинного горизонта от меридиана наблюдателя до вертикала светила.

В мореходной астрономии применяются три системы счета азимутов: круговая, полукруговая и четвертная.

**Круговой азимут** лежит в пределах  $0 \div 360^\circ$  (совпадает с истинным пеленгом) и применяется при прокладке линий положения и определении поправки компаса.

**Полукруговой азимут** лежит в пределах  $0 \div 180^\circ$ , первая буква наименования совпадает с широтой наблюдателя, а вторая – с восточной или западной частью горизонта, в которой располагается вертикал светила. Счет применяется при решении сферических треугольников по формулам и по некоторым таблицам.

**Четвертной азимут** показывает, в какой четверти горизонта расположен вертикал светила в пределах  $0 \div 90^\circ$ . При этом наименование определяется от ближайшей части меридиана наблюдателя.

Примеры счета азимутов:  $210^\circ = N150^\circ W = 30^\circ SW$ ;  $50^\circ = S130^\circ E = 50^\circ NE$ .

## 2. Экваториальные системы координат

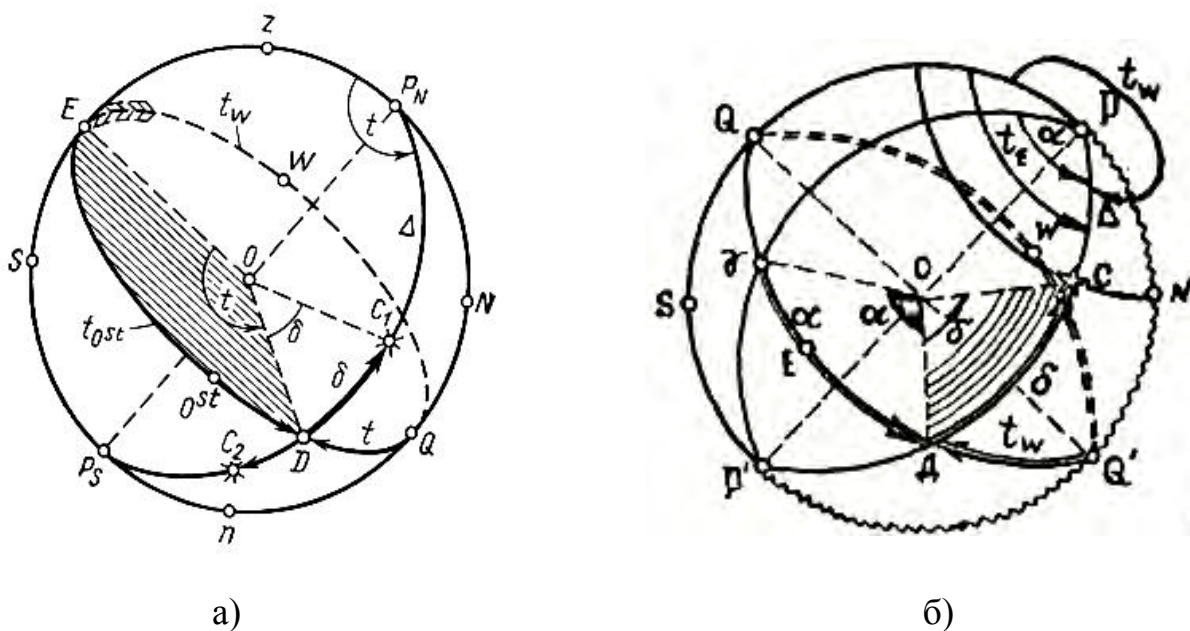


Рисунок 3. Экваториальные системы координат

### 2.1. Первая экваториальная система координат (рис. 3-а)

Основное направление в этой системе - ось мира  $P_N P_S$ , основные круги – *небесный экватор и меридиан наблюдателя*, вспомогательным кругом является *параллель светила (круг склонений)*.

*Склонением светила*  $\delta$  называется дуга меридиана светила или соответствующий ей центральный угол от небесного экватора до светила, измеряемые в пределах от  $0$  до  $90^\circ$ . Склонение имеет наименование N или S в зависимости от полушария, в котором расположено светило.

*Полярное расстояние*  $\Delta$  – дуга меридиана светила от повышенного полюса до светила в пределах  $0 \div 180^\circ$ . В общем случае это дополнение склонения до  $90^\circ$ :  $\Delta = 90^\circ - \delta$ .

*Часовым углом светила*  $t$  называется сферический угол при повышенном полюсе мира между полуденной частью меридиана наблюдателя и меридианом светила или соответствующий ему двугранный или центральный угол, измеряемый дугой небесного экватора, в сторону W от  $0$  до  $360^\circ$ . Такой часовой угол считается *обыкновенным или круговым*. Кроме него, применяется *практический счет* часовых углов от полуденной части меридиана наблюдателя в сторону E или W от  $0$  до  $180^\circ$ , при котором часовому углу присваивается наименование E или W.

## 2.2. *Вторая экваториальная система координат* (рис. 3-б)

Во второй экваториальной системе место светила определяется его *склонением и прямым восхождением*.

Склонение светила  $\delta$  или заменяющее его полярное расстояние  $\Delta$  те же, что и в первой экваториальной системе координат.

*Прямым восхождением* (R.A. – Right Ascension)  $\alpha$  называется дуга небесного экватора или соответствующий ей сферический или центральный угол от точки Овна до меридиана светила, измеряемые в сторону годового движения Солнца (навстречу видимому суточному движению светил) от  $0$  до  $360^\circ$ .

В мореходной астрономии вместо прямого восхождения  $\alpha$  чаще пользуются *звёздным дополнением*  $\tau^*$  (S.H.A. - Sidereal Hour Angle):  $\tau^* = 360^\circ - \alpha$ .

Географическая широта  $\varphi$  наблюдателя равна высоте повышенного полюса мира: в северном полушарии  $\varphi_N = h_{PN}$ , в южном полушарии  $\varphi = h_{PS}$ . Кроме того, географические координаты наблюдателя ( $\varphi, \lambda$ ) и экваториальные координаты его зенита связаны соотношениями:  $\varphi = \delta_Z, \lambda = t_{zp}^Z$ .

Первая и вторая экваториальные системы координат отличаются только положением начального меридиана: часовой угол  $t$  считается от повышенной точки экватора, а прямое восхождение - от точки Овна  $t^Y$ . Положение точки Овна определяется её часовым углом  $t_W^Y$ :  $t^Y = t + \alpha$ . В астрономии часовой угол точки Овна принято называть звёздным временем ( $S = t^Y = t + \alpha$ ).

Учитывая, что точка Овна или точка весеннего равноденствия относительно неподвижных звёзд остается в неизменном положении, то её часовой угол  $t^{\gamma}$  характеризует видимое суточное вращение небесной сферы во времени.

### 3. Эклиптическая система координат (рис. 4)

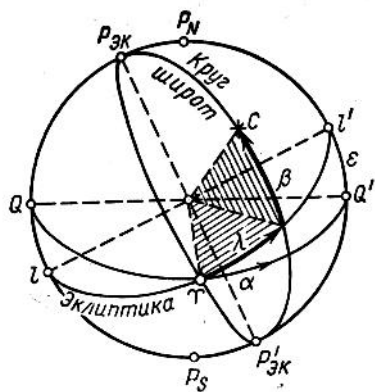


Рисунок 4

В эклиптической системе координат основным направлением является ось эклиптики, а основными кругами – эклиптика (плоскость орбиты Земли) и круг широты точки Овна  $\gamma$  (большой круг, проходящий через полюсы эклиптики и точки весеннего и осеннего равноденствия, – коллур равноденствий).

Положение светила определяется *астрономической долготой  $\lambda$*  и *астрономической широтой  $\beta$* .

Астрономической долготой светила называется сферический угол при северном полюсе эклиптики между кругом широт, проходящим через точку  $\gamma$ , и кругом широт, проходящим через определяемое светило. Долгота светила измеряется только в градусной мере; счет идет от точки  $\gamma$  вдоль эклиптики в направлении с запада на восток от 0 до 360°.

Астрономической широтой называется вертикальный угол между эклиптикой и направлением из центра сферы на светило, отсчитываемый по кругу широты в пределах  $\pm 90^\circ$ . Широты, отсчитываемые к северу от эклиптики, принято считать положительными, а к югу – отрицательными.

*Эклиптические координаты не зависят о вращения небесной сферы и от положения наблюдателя.* Они были введены астрономами древности и используются в теоретической астрономии.

## Параллактический треугольник и его решение

### Основные формулы сферической тригонометрии.

Формула косинуса стороны: *косинус любой стороны равен произведению косинусов двух других сторон плюс произведение синусов этих же сторон на косинус угла между ними.*

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A$$

Формула косинуса угла: *косинус любого угла равен отрицательному произведению косинусов двух других углов плюс произведение синусов тех же углов на косинус стороны между ними.*

$$\cos A = -\cos B \cos C + \sin B \sin C \cos a$$

Формула синусов: *синусы сторон пропорциональны синусам противолежащих углов.*

$$\frac{\sin a}{\sin A} = \frac{\sin b}{\sin B} = \frac{\sin c}{\sin C};$$

или

$$\sin a \sin B = \sin b \sin A; \sin a \sin C = \sin c \sin A; \sin b \sin C = \sin c \sin B.$$

Формула котангенсов (формула четырех рядом лежащих элементов): *произведение котангенса крайнего угла на синус среднего угла равно произведению котангенса крайней стороны на синус средней стороны минус произведение косинусов средних элементов.*

$$\operatorname{ctg} A \sin B = \operatorname{ctg} a \sin c - \cos c \cos B$$

Формула пяти элементов (промежуточная; в практике судовождения практически не применяемая): *синус стороны, умноженный на косинус прилежащего угла, равен произведению синуса другой стороны, ограничивающей этот угол, на косинус третьей стороны минус косинус стороны, ограничивающей угол, умноженный на произведение синуса третьей стороны и косинуса угла, противолежащего первой стороне.*

$$\sin b \cos A = \sin c \cos a - \cos c \sin a \cos B$$

### Параллактический треугольник (рис. 5)

Параллактическим или полярным треугольником называется сферический треугольник, образованный пересечением меридиана наблюдателя, вертикалом светила и его меридиана. Вершинами треугольника являются зенит наблюдателя, повышенный полюс мира и светило. Элементами параллактического треугольника являются дуги больших кругов  $90^\circ - \varphi$ ,  $90^\circ - \delta$ ,  $90^\circ - h$  и сферические углы  $A$ ,  $t$  и  $q$ .



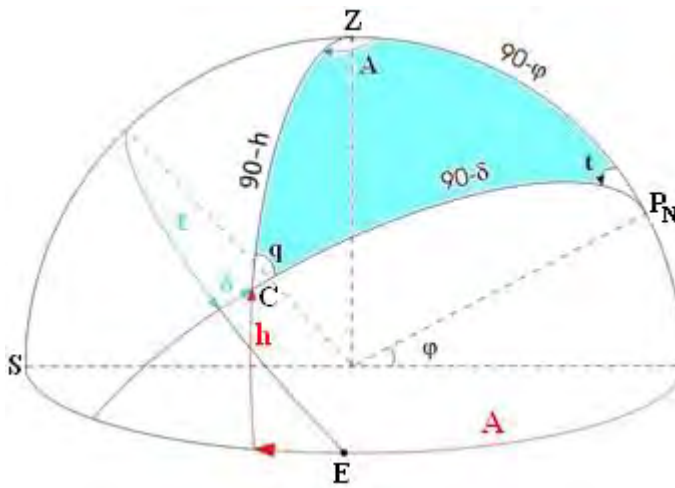


Рисунок 5.

Параллактический угол  $q$  – сферический угол при светиле между его вертикалом и меридианом.

**Решением параллактического треугольника называется определение его неизвестных элементов через заданные, которых должно быть не менее трёх.**

Аналитически параллактический треугольник решают путем вычислений по формулам сферической тригонометрии.

Аргументами для вычислений служат счислимая широта  $\varphi$ , склонение  $\delta$  и часовой угол  $t$  светила.

В зависимости от простоты и точности вычислений в практике судовождения получили распространение следующие системы формул.

*Вычисление высоты  $h$  и азимута  $A$ :*

1-я система формул  $\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t;$   
 $\sin A = \sin t \cos \delta \sec h$

2-я система формул  $\sin^2 \frac{z}{2} = \sin^2 \frac{\varphi - \delta}{2} + \cos \varphi \cos \delta \sin^2 t;$   
 $\sin A = \sin t \cos \delta \sec h; \quad h = 90^\circ - z.$

Формула синуса высоты применяется во всем диапазоне высот; наибольшую точность получают при высотах светил до  $80^\circ$ . Вычисления с помощью натуральных значений тригонометрических функций (на калькуляторе) занимают мало времени и не требуют применения таблиц.

Вычисления по формуле  $\sin^2 \frac{z}{2}$  не требуют исследования на знаки, точность вычислений высокая (особенно при высотах свыше  $30^\circ$ ). При одноименных широте и склонении в разности  $\varphi - \delta$  из большего значения вычитают меньшее, а при разноименных – берется их сумма.

**Схема вычислений горизонтных координат светил по МТ**

		$lg b$		$lg a$		$lg$	
$t_M$	$17^\circ 12,4' W$	-	-	$\sin^2$	+8,34982	$\sin$	+9,47102
$\varphi_C$	$43^\circ 20,6' N$	-	-	$\cos$	+9,86169	-	-
$\delta$	$17^\circ 36,7' N$	-	-	$\cos$	9,97915	$\cos$	+9,97915
$\varphi_C \sim \delta$	$25^\circ 43,9'$	$\sin^2$	8,69531	$\Sigma$	=8,19066	-	-
		$Arg.$ (или $\alpha$ )	0,11821	$\alpha$ (или $Arg.$ )	0,50465	$\sec h_C$	+0,30677
				$\sin^2 \frac{Z_C}{2}$	8,81352	$\sin A_C$	=9,75694
	$h_C = 90^\circ - Z_C = 90^\circ - 29^\circ 33,8' = 60^\circ 26,2'$			$Z_C$	$29^\circ 33,8'$	$A_C$	<b><math>34^\circ 51,0' SW</math></b>

**Схема вычислений  $h_C$  и  $A_C$  по «ТВА-57»**

$\delta$	17°36,7'N	+T( $\delta$ )	+60758			
$t$	17°12,4'W	S( $t$ )	397	-T( $t$ )	60543	
$X$	18°22,8'N	T( $X$ )	61155	S( $X$ )	455	
$\varphi_C$	43°20,6'N			+T( $P$ )	60088	
$Y=90^\circ+(X-\varphi_C)$	114°57,8'			S( $Y$ )	7493	-T( $Y$ ) 77366
$A_C$	<sup>11</sup> 34°51,0'SW	$-A_{Ckp} \approx 214,9^\circ$		T( $A$ )	67581	S( $A$ ) 1717
$h_C$	60°26,0'					T( $h$ ) 75649

**Схема вычислений счислимых высоты и азимута светила по таблицам «ВАС-58»**

Арг.	Заданные	Табличные	Зад.-Табл.	$h$	61°09,2'	$A$	144,8°
$\varphi$	43°20,6'N	43°	+20,6'	$\Delta h_\varphi$	-16,9'	$\Delta A_\varphi$	+0,4°
$\delta$	17°36,7'N	18°	-23,3'	$\Delta h_\delta$	-21,0'	$\Delta A_\delta$	+0,4°
$t$	17°12,4'N	17°	+12,4'	$\Delta h_t$	-5,1'	$\Delta A_t$	-0,3°
$q$	26°			$\Delta h_\delta$	-0,1'	$\Sigma \Delta A$	+0,5°
$\varphi$ и $\delta$	одноименные разноименные			$\Sigma \Delta h$	-43,1	$A_C$	N145,3°W
				$h_C$	60°26,1'		

*Примечание.* Правила вычислений, знаков, наименования азимутов и т.д. даются в объяснениях используемых таблиц.

*Вычисление азимута светила при определении поправки компаса:*

$$\text{ctg } A = \text{tg } \delta \cos \varphi \text{ cosec } t - \sin \varphi \text{ ctg } t.$$

### Выводы

- Параллактический треугольник светила связывает небесные координаты – горизонтные ( $h$  и  $A$ ) и экваториальные ( $\delta$  и  $t$ ) – с географическими координатами ( $\varphi$  и  $\lambda$ ) наблюдателя.
- Для расчета горизонтных координат светила используют формулы сферической тригонометрии:
  - формулу косинуса стороны;
  - формулу косинуса угла;
  - формулу синусов сторон и углов;
  - формулу котангенсов.
- Горизонтные координаты светила рассчитывают:
  - по таблицам логарифмических функций «МТ-75»;
  - по таблицам для вычисления высоты и азимута «ТВА-57»;
  - по таблицам «Высоты и азимута светил» («ВАС-58»);
  - с помощью микрокалькуляторов, ПК и компьютерных программ.

## Навигационный секстан

Навигационный секстан (рис. 6-а) служит для измерения:

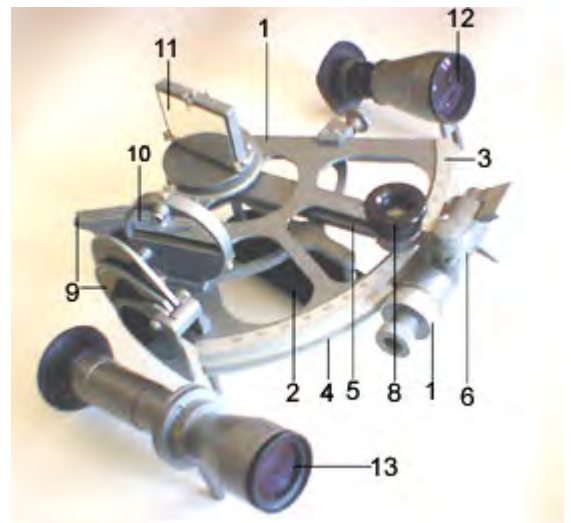
- 1 высот небесных светил в море для определения места судна астрономическими методами;
- 2 горизонтальных углов между земными ориентирами для определения места судна по двум углам или по углу и пеленгу;
- 3 вертикальных углов для определения расстояния до предмета, высота которого известна.

Устройство и принцип действия секстана основаны на законах отражения света от плоских зеркал:

- угол падения луча равен углу отражения луча от зеркала;
- падающий и отраженный лучи находятся в одной плоскости с перпендикуляром к плоскости зеркала, восстановленном в точке падения луча.



а)



б)

Рисунок 6

Устройство секстана (рис. 6-б):

1- рама (имеет форму сектора с нанесенной оцифровкой лимба от  $355^\circ$  до  $120-140^\circ$ ) и нарезанной точной зубчатой рейкой; 2- ручка; 3- лимб; 4- зубчатая рейка; 5- алидада (пластина, на одном конце которой закреплено большое зеркало с осью вращения, а на другом – отсчетное устройство с рычажками для вращения); 6- отсчётно-стопорное устройство; 7- отсчетный барабан; 8- лупа осветителя; 9- светофильтры (4 светофильтра перед большим зеркалом и 3 – за малым); 10- малое зеркало (форма зеркала круглая; половина зеркала покрыта защитным слоем, а вторая половина – прозрачная для наблюдения прямовидимого предмета; с обратной стороны стойки расположены два винта для регулировки: один – для устранения неперпендикулярности к плоскости лимба, а второй – для уменьшения

поправки индекса); 11- большое зеркало (форма зеркала прямоугольная; закреплено в металлической стойке, с расположенным с задней стороны её регулировочным винтом); 12- ночная труба для ночных и дневных (в современных секстанах) наблюдений; 13- астрономическая труба для дневных наблюдений (даёт перевёрнутое изображение предмета. Современные секстаны в большинстве случаев ею не комплектуют).

В комплект секстана входят диоптры (два угольника одинаковой высоты), ключ для регулировки зеркал, щёточка, кусочек фланели и т.п.

### Выверки (юстировка) секстана

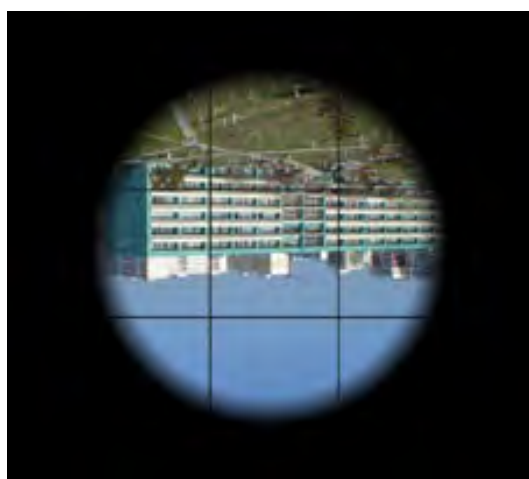
#### Устранение непараллельности оптической оси трубы плоскости лимба.



а)



б)



в)



г)

Рисунок 7

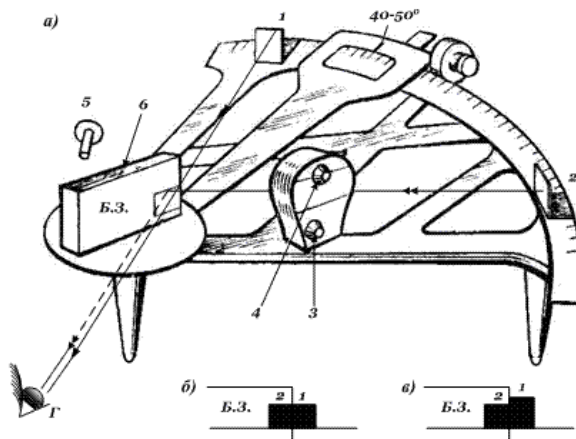
Секстан с отрегулированной дневной трубой устанавливают горизонтально на устойчивом основании (ящик из-под секстана). Алидаду располагают в середине лимба. На края лимба ставят два диоптра так, чтобы соединяющая их линия была примерно параллельна оптической оси трубы (рис.7-а)

Выбирают удаленный не менее чем на 50 м предмет, расположенный примерно на том же уровне, и устанавливают секстан так, чтобы горизонтальная линия выбранного предмета оказалась на створе верхних срезов диоптров (рис.7-б).

Затем наблюдают предмет в трубу (рис 7-в). Если горизонтальная линия не окажется в центре квадрата нитей трубы, то исправляют установку трубы. Для этого вращают отверткой верхний и нижний регулировочные винты (рис.7-г) на стойке трубы, приводя изображение горизонтальной линии в центр квадрата (один винт поджимают, а другой отдают).

*Стойка ночной трубы обычно не имеет регулировочных винтов, поэтому эта погрешность не устраняется.*

### Устранение неперпендикулярности большого зеркала плоскости лимба.



а)



б)



в)



г)

Рисунок 8

Сняв трубу, устанавливают секстан горизонтально. Алидаду ставят на отсчет  $40^\circ$ , на лимб помещают два диоптра: первый - на отсчет  $5-10^\circ$ , а второй - на отсчет  $120-130^\circ$  (рис.8-а).

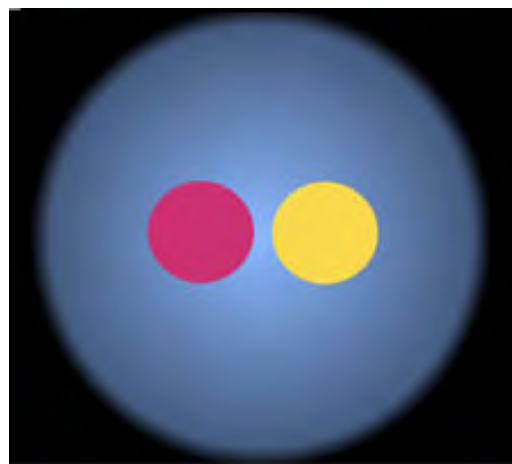
Располагая глаз на расстоянии 30-40 см от секстана на уровне диоптров, наблюдают в большом зеркале отраженное изображение правого диоптра, а непосредственно рядом с краем зеркала - прямовидимый диоптр (рис.8-б, 8-в). Передвигая правый диоптр, добиваются совмещения изображений двух диоптров. Если наблюдается излом верхних срезов диоптров, то большое зеркало не перпендикулярно плоскости лимба.

Торцовым ключом поворачивают регулировочный винт, расположенный на большом зеркале, до совпадения верхних срезов диоптров (рис. 8-г).

#### **Устранение неперпендикулярности малого зеркала плоскости лимба.**

Эту операцию производят после установки большого зеркала. Алидаду ставят на отсчет, близкий к  $0^\circ$ , трубу наводят на неяркую звезду или Солнце (в этом случае предварительно подбираются цветные светофильтры).

Если дважды отраженное изображение не располагается на одной вертикали с прямовидимым (рис.9-а), то вращением отсчетного барабана устанавливают их рядом по горизонтали (рис. 9-б).



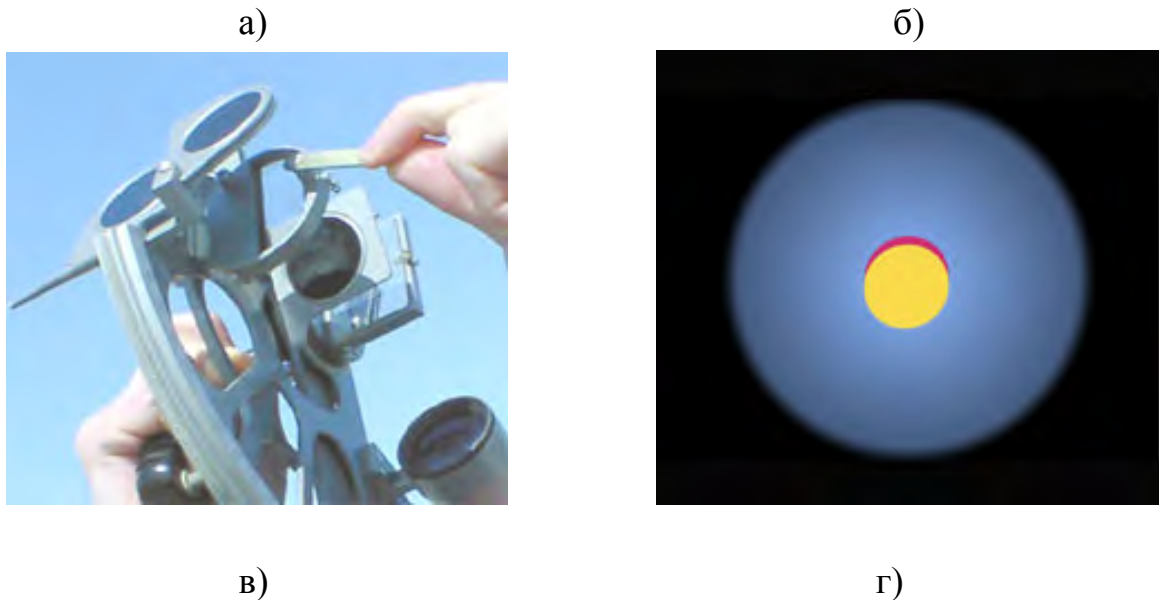


Рисунок 9

Поворачивая ключом боковой регулировочный винт малого зеркала, смещают дважды отраженное изображение вправо или влево до совпадения по вертикали с прямовидимым (рис. 9-г). При этом дважды отраженное изображение может переместиться несколько выше или ниже прямовидимого, т.е. изменится поправка индекса, которую надо определить заново.

### Определение поправки индекса.

Для наблюдений с секстаном необходимо определять величину поправки индекса (более правильно «место нуля на лимбе»). Существует несколько способов определения поправки индекса, но первоначальная подготовка к наблюдениям одинаковая. Для этого трубу устанавливают на резкость, а алидаду – на отсчет около  $0^\circ$ .

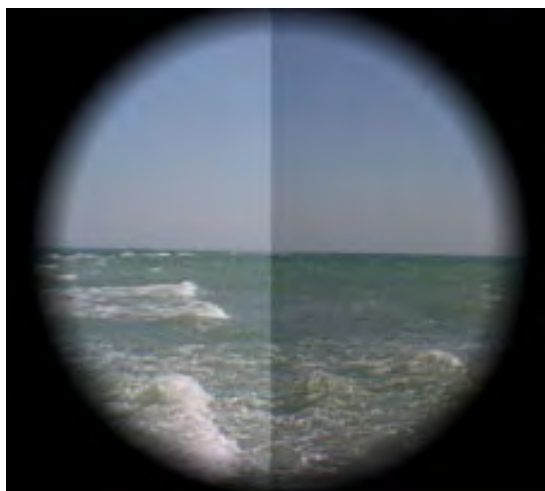
Определение поправки индекса по горизонту.



а)



б)



в)



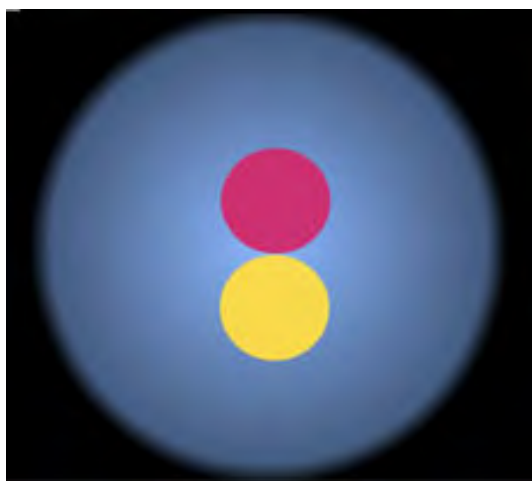
г)

Рисунок 10

Наводят секстан на горизонт (рис. 10-а). Дважды отраженное прямовидимое изображение горизонта, линия которого представляется ломаной. Вращая отсчетный барабан (рис.10-б) совмещают дважды отраженное прямовидимое изображение горизонта (рис.10-в).

Снимают отсчет индекса  $oi$  на лимбе (рис. 10-г) и определяют поправку индекса:  $i = 360^\circ - oi$ . В примере рис.10-г:  $i = 0^\circ - 0^\circ 02,9' = - 2,9'$ .

### Определение поправки индекса по наблюдениям Солнца.



$$oi = 360^\circ 33,2'$$

Рисунок 11-а





$$oi = 359^{\circ}29,3'$$

Рисунок 11-б

Перед зеркалами набрасывают светофильтры разного цвета. Секстан наводят на Солнце и вращением отсчетного барабана приводят дважды отраженное изображение с прямым вначале одним краем (рис. 11-а), а затем другим краем (рис. 11-б); при каждом совмещении снимается отсчет индекса.

Поправка индекса по Солнцу определяется по формуле:

$$i = 360 - \frac{oi_1 + oi_2}{2}. \quad \text{В примере} \quad I = 360 - \frac{360^{\circ}33,2' - 359^{\circ}29,3'}{2} = -1,8'$$

Достоинством определения поправки индекса по Солнцу является контроль наблюдений. Разность большего и меньшего отсчетов есть учетверенный радиус Солнца, который необходимо сравнить с учетверенным радиусом Солнца, выбранным из Морского астрономического ежегодника. Если разность не превышает  $0,4'$ , то наблюдения качественные и поправка надежная; в противном случае наблюдения следует повторить.

Для облегчения расчета рекомендуется практический приём: для каждого отсчета индекса находят избыток сверх  $30'$  (знак «-») или недостаток (знак «+»). Полуразность этих величин с учетом знаков дает величину  $i$ :  $i = [-3,2 - (+0,7)] / 2 = -1,8$

#### Уменьшение поправки индекса.

В принципе величина поправки индекса не имеет значения, однако для вычислений удобнее, чтобы её величина не превышала  $5-7'$ .



а)



б)



в)



г)

Рисунок 12

Для уменьшения величины  $i$  надо установить индекс алидады на  $0^\circ$ , а индекс барабана – на  $0'$  (рис. 12-а) и навести трубу на бесконечно удаленный предмет (например, горизонт (рис.12-б) или низкорасположенную звезду).

Вращая с помощью торцевого ключа верхний винт (рис. 12-в) малого зеркала, надо переместить дважды отраженное изображение на одну горизонталь с прямо-видимым (рис. 12-г) при наблюдении горизонта. При наблюдении звезды совместить оба изображения.

### Исправление высот.

Необходимость исправления высот.

Высота - дуга вертикала светила от истинного горизонта до светила или угол между плоскостью истинного горизонта и направлением на светило.

Вместе с тем:

1. Высота измеряется секстаном, у которого есть свои поправки (поправка индекса и инструментальная поправка секстана).
2. Измерение высоты происходит не над истинным горизонтом, а над видимым морским горизонтом.
3. Так как Земля окружена атмосферой, то луч, идущий от светила, преломляется в атмосфере, и светило видно не на истинном месте.

4. Измерение высоты секстаном происходит с поверхности Земли, а не из её центра.
5. Солнце, Луна имеют видимый диск. Экваториальные координаты этих светил, которые выбираются из МАЕ, даны для центра этих светил, а наблюдателю удобнее измерять высоту края диска.

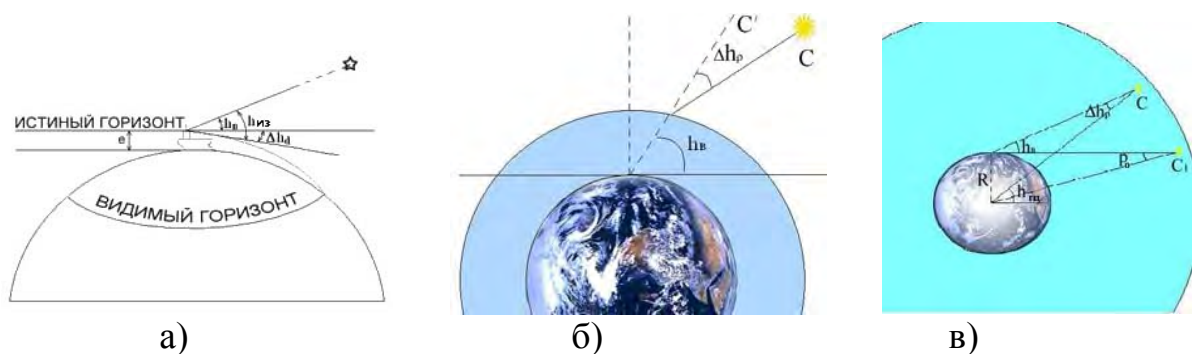


Рисунок 21

Исправлением высот называется переход путём введения поправок от измеренных высот к истинным геоцентрическим (обсервованным) высотам.

Общая формула исправления высот имеет следующий вид:

$$h_o = oc + (i+s) + \Delta h_d + \Delta h_p + \Delta h_p \pm R + \Delta h_t + \Delta h_B,$$

где  $h_o$  – обсервованная высота,

$oc$  – отсчет секстана,

$i+s$  - поправка индекса и инструментальная поправка,

$\Delta h_d$  - поправка за наклонение горизонта (рис. 21-а),

$\Delta h_p$  - поправка за рефракцию (рис. 21-б),

$\Delta h_p$  - поправка параллакс (рис.21-в),

$R$  - радиус светила,

$\Delta h_t, \Delta h_B$  - поправка за температуру и давление (при  $h < 30^\circ$ ).

*Исправлением высот называется переход путём введения поправок от измеренных высот к истинным геоцентрическим (обсервованным) высотам.*

Общая формула исправления высот имеет следующий вид:

$$h_o = oc + (i+s) + \Delta h_d + \Delta h_p + \Delta h_p \pm R + \Delta h_t + \Delta h_B,$$

где  $h_o$  – обсервованная высота,

$oc$  – отсчет секстана,

$i+s$  - поправка индекса и инструментальная поправка,

$\Delta h_d$  - поправка за наклонение горизонта (рис. 21-а),

$\Delta h_p$  - поправка за рефракцию (рис. 21-б),

$\Delta h_p$  - поправка параллакс (рис.21-в),

$R$  - радиус светила,

$\Delta h_t, \Delta h_B$  - поправка за температуру и давление (при  $h < 30^\circ$ ).

*Исправление высот звезд, Юпитера и Сатурна:*  $h_o = oc + i+s + \Delta h_d + \Delta h_p + \Delta h_t + \Delta h_B.$

*Высоты Венеры и Марса дополнительно исправляются поправкой за параллакс:*

$$h_o = oc + i+s + \Delta h_d + \Delta h_p + \Delta h_p + \Delta h_t + \Delta h_B.$$

Исправление высоты Солнца:

$$\text{нижний край} \quad h_{\odot} = oc_{\odot} + i+s + \Delta h_d + \Delta h_{p+p} + \Delta h_t + \Delta h_B + R_{\odot};$$

$$\text{верхний край } h_{\odot} = oc_{\odot} + i+s + \Delta h_d + \Delta h_{\rho+p} + \Delta h_t + \Delta h_B - R_{\odot}.$$

Исправление высоты Луны:

$$\text{нижний край } h_{\text{л}} = oc_{\text{л}} + i+s + \Delta h_d + \Delta h_{\text{л}} + \Delta h_{t+B};$$

$$\text{верхний край } h_{\text{л}} = oc_{\text{л}} + i+s + \Delta h_d + \Delta h_{\text{л}} + \Delta h_{t+B},$$

$$\text{где } \Delta h_{\text{л}} = \Delta h_{\rho} + \Delta h_p + R_{\text{л}};$$

$$\Delta h_{\text{л}} = \Delta h_{\rho} + \Delta h_p - R_{\text{л}}.$$

Примеры исправления высот (МТ-2000, ТВА-57, МАА-2013/14, ВАС-58).

	* $\alpha$ Скорпиона (Антарес)	Венера	Солнце $\odot$	Луна $\text{☾}$ ( $p_{\text{л}}=56,0'$ )
$t^{\circ} =$	- 20	0	- 5	+15
$B, \text{ мм} =$	740	770	765	760
$e, \text{ м} =$	8,6	11,5	9,5	7,2
$oc =$	17°14,2'	14°45,3'	23°37,8'	47°26,0'
$i+s =$	+ 1,4	+ 1,0	- 1,3	- 1,3
$h_{\text{изм}} =$	17 16,1	14 46,3	23 36,5	47 24,7
$\Delta h_d =$	- 5,2	- 6,0	- 5,4	- 4,7
$h_B =$	17 10,9	14 40,3	23 31,1	47 20,0
$\Delta h_{\rho} =$	- 3,1	- 3,6	$\Delta h_{\rho+p} - 2,1$	$\Delta h_{\text{л}} = +52,3$
$\Delta h_p =$	-	+ 0,4	$\Delta h_{t+}, - 0,2$	$\Delta h_{t+,B} = 0,0$
$\Delta h_{t+,B} =$	- 0,3	- 0,3	$R + 16,3$	
$h =$	17°07,5'	14°36,8'	$h_{\odot} = 23^{\circ}45,1$	$h_{\text{л}} = 48^{\circ}12,3'$

Исправление высот с использованием The Natural Almanac (Brow`s Almanac) практически не отличается от приведенных выше примеров.

## Звездный глобус и решаемые при его помощи задачи.

Звездным глобусом называется прибор, представляющий модель небесной сферы, предназначенный для приближенного решения следующих задач мореходной астрономии:

- определение названия неопознанного светила по его горизонтным координатам;
- определение высоты и азимута светила на заданное время;
- планирование сумеречных и дневных наблюдений.

Устройство звездного глобуса (рис. 13)

1. Футляр;
2. Крестовина вертикалов;
3. Большой круг эклиптики;
4. Кольцо меридиана наблюдателя;
5. Индекс вертикала;
6. Азимутальный круг.

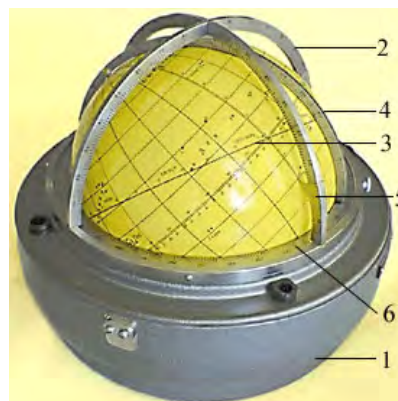


Рисунок 13

Установка звездного глобуса на момент наблюдений производят в следующем порядке:

1. Рассчитывается местное звездное время  $S_M = t_M^Y$ .
2. Звездный глобус устанавливается по широте. Для этого повышенный полюс поднимают над одноименной точкой плоскости горизонта на дугу, равную широте.
3. Устанавливают глобус по звездному местному времени, для чего вращают глобус вокруг оси (не сбивая установки широты) так, чтобы у боковой оцифрованной части кольца меридиана был отсчет шкалы экватора, равный заданному  $S_M$ .

**Штурманский (безрасчетный) способ** установки звездного глобуса на заданные сумерки. Известно, что вечерние сумеречные приходятся на середину гражданских сумерек, когда *снижение* Солнца составляет  $-3^0$ , а утренние - на середину навигационных сумерек, когда *снижение* Солнца составляет  $-9^0$ . Установка звездного глобуса происходит в следующей последовательности:

1. По дате наносят точку на эклиптике, в которой находится Солнце в заданную дату.
2. Устанавливают глобус по широте.
3. Если необходимо узнать картину звездного неба на вечерние сумерки, то, вращая глобус вокруг оси, подводят эту точку к западной части горизонта, моделируя заход Солнца, и утапливаем эту точку под горизонт на  $3^0$ .
4. Если же глобус надо установить на утренние сумерки, то данная точка подводится к восточной части горизонта и притапливается на  $9^0$ .

5. Получив картину звездного неба на начала сумеречных наблюдений, далее подбираются светила.

*Определение названия светила.*

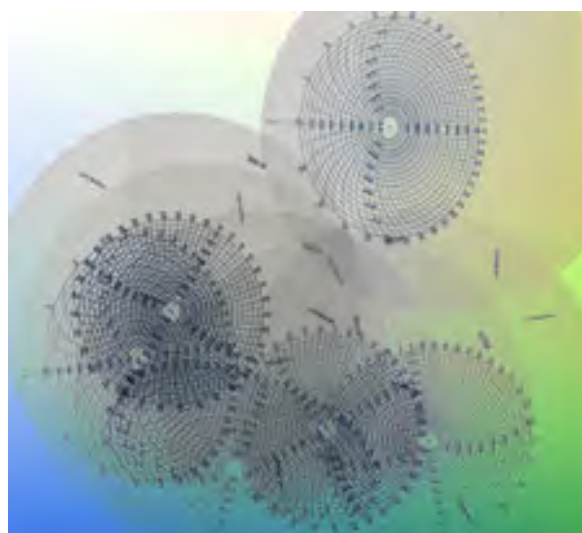
Иногда может случиться, что наблюдения произведены в просвете облаков, и светило нельзя сразу опознать. Для опознавания светила по его горизонтным координатам  $A$  и  $h$  крестовину вертикалов устанавливают так, чтобы на азимутальном круге был отсчет азимута  $A$ , а индекс вертикала – на отсчете высоты наблюдаемого светила  $h$ . В полученном месте найдем звезду. Если на глобусе не обнаружили ничего, значит искомый объект – планета.

**Star Finder 2102-D**

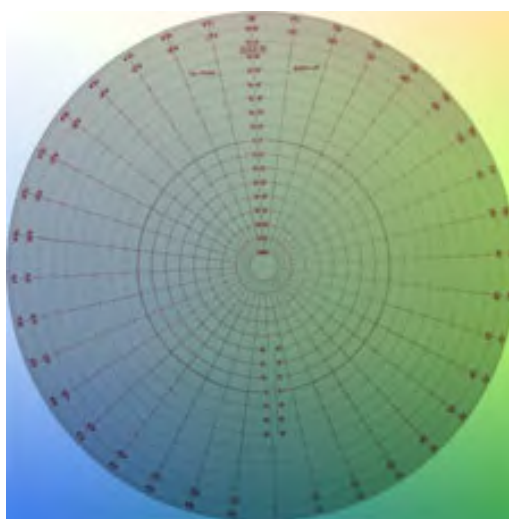
На большинстве иностранных судов небесный глобус не входит в состав обязательного навигационного снабжения. Для астрономических наблюдений используются различные устройства.



а)



б)



в)

Рисунок 14

Star Finder состоит из карты звездного неба, набора прозрачных кругов широты и специальной диаграммы. Карта звездного неба нанесена с двух сторон плотного пластмассового диска белого цвета (рис. 14-а). На одну сторону звезды нанесены так, что в центре диска располагается северный полюс (большая буква N), с другой стороны в центре диска южный полюс (большая буква S). В центре диска вставлен пластмассовый штифт, на который насаживается прозрачный круг широты. На данный круг нанесены со своими именами 57 навигационных звезд. Список этих звезд дан на развороте ежедневных таблиц The Nautical Almanac. По краю диска нанесена шкала звездного местного времени.

Star Finder имеет 8 прозрачных гибких кругов для широт  $5, 15, \dots, 85^\circ$  (рис. 14-б). На круг широты нанесена сетка вертикалов и альмукантаратов с шагом в  $5^\circ$ . Оцифровка дана с шагом в  $10^\circ$ . По контуру сетки нанесена двойная шкала кругового азимута (истинного пеленга) – внутренняя для северной широты и внешняя – для южной. Вертикал в виде прямой линии, соединяющий точки с азимута  $0 - 180^\circ$ , является и меридианом наблюдателя. Продолжение этого вертикала-меридиана заканчивается стрелкой, которая служит для установки по звездному времени.

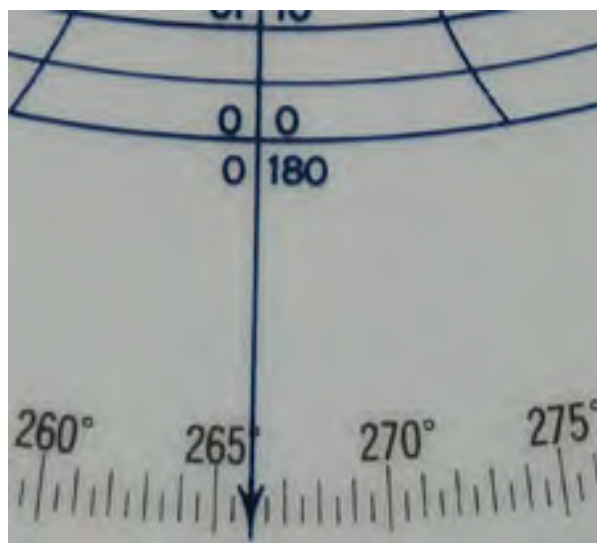
Star Finder имеет специальную прозрачную диаграмму для нанесения на карту планет, чтобы потом определять их горизонтные координаты (рис. 14-в). При помощи этой диаграммы можно быстро проверять расчет звездного местного времени  $S_M = t_M^Y$ . Данная диаграмма представляет собой сетку радиальных меридианов и концентрических окружностей – параллелей. Меридианы и параллели нанесены с шагом в  $10^\circ$ . Для нанесения планет диаграмма имеет прорезь.

Установка по широте и звездному местному времени.

Рассчитываем по МАЕ или The Nautical Almanac местный часовой угол  $S_M = t_M^Y$  (рис.15-а). Пусть наблюдения производятся 26 марта 2012 г. в  $T_c = 5^h 41^m$ , счислимые координаты: Lat= $35^\circ 12' N$ ; Long= $123^\circ 09' W$ ; L.H.A. Aries  $\approx 266^\circ$ .



а)



б)

Рисунок 15

Располагаем карту звездного неба так, чтобы большая точка N была сверху, выбираем прозрачный диск ближайшей широты 35° N и надеваем его на штифт так, чтобы слово Latitude 35°N читалось естественно, т.е. слева направо (рис.15-а). Вращая диск широты, добиваемся совмещения стрелки меридиана наблюдателя с отсчетом звездного местного времени LHA Aries ≈266° (рис.15-б). Установка завершена.

*Примечание.* Т.к. точность установки по  $S_M$  составляет  $\pm 1^\circ$ , то её можно приближенно без МАЕ (The Nautical Almanac) определить по формуле:

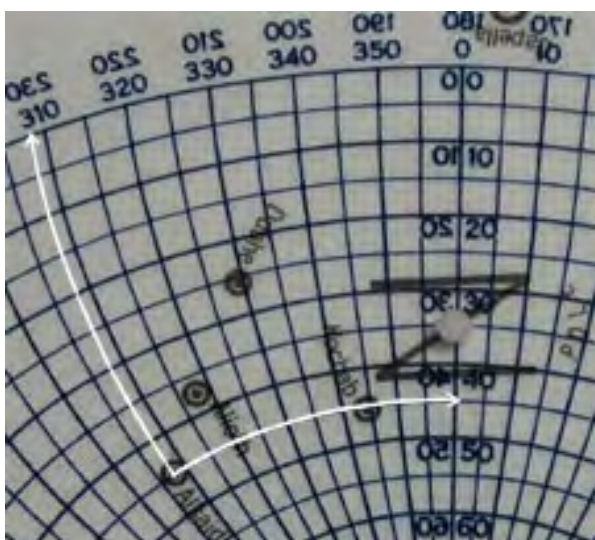
$$S_M = t_M^Y = 100^\circ + 0,9856^\circ \times (N - 1) + 15,04 \times T_{гр} \pm Long \frac{E}{W},$$

где N – порядковый номер в году гринвичской даты.

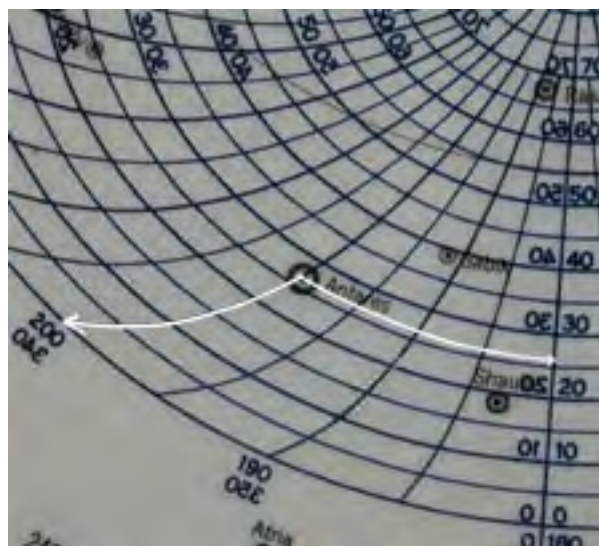
### Опознавание светил.

Произвели наблюдения двух светил в просвет облаков:

	Н	А
Светило 1	26°	199°
Светило 2	45°	308°



а)



б)

Рисунок 16

Выбираем ближайший вертикал с пеленгом 200° на внутренней шкале. Вблизи пересечения данного вертикала и альмукантарата 25° находим звезду Antares (рис.15-б). Затем по вертикалу 309° и альмукантарату 45° находим звезду Alkaid (рис.15-а). В МАЕ эта звезда Бенетнаш - \*η Большой Медведицы – единственная звезда у которой различны названия в русском и латинском звучании.



## Звездное время.

Звездное время играет важную роль в мореходной астрономии. Звездными сутками называется промежуток времени полного оборота Земли относительно точки Овна, т.е. время между последовательными верхними кульминациями точки Овна. (За начало звездных суток принимается момент верхней кульминации точки весеннего равноденствия  $\Upsilon$ ).

Промежуток времени в звездных единицах, прошедший от начала звездных суток до данного момента называется звездным временем. Его принято обозначать буквой  $S$ . Поскольку начало звездных суток совпадает с началом счета часовых углов светила, то, следовательно, звездное время в данный момент есть часовой угол точки весеннего равноденствия:  $S = t^{\Upsilon}$ .

Пусть точка  $C$  – положение светила при проекции сферы на плоскость экватора (рис. 17) в данный момент времени;  $\Upsilon$  – точка Овна;  $t^*$  – западный часовой угол и  $\alpha^*$  – прямое восхождение звезды.

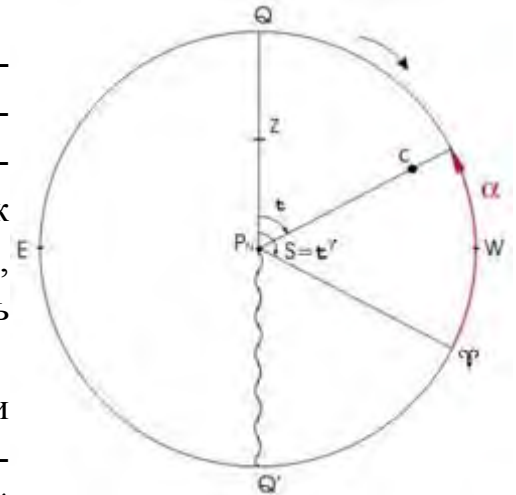


Рисунок 17

Из рисунка 17 видно, что звездное время в данный момент равно сумме прямого восхождения и часового угла звезды:

$$S = t^* + \alpha^*$$

Это выражение называется **основной формулой времени**, связывающей координаты светил со временем и позволяющей переходить от звездного времени к солнечному. Формулу применяют для расчета часовых углов:  $t_w^* = S - \alpha^*$ .

Вводя в формулу звездное дополнение  $\tau = 360^\circ - \alpha$ , получаем:

$$t_w^* = S + \tau.$$

Т.к. звездное дополнение отсчитывается в ту же сторону то и западные часовые углы, то в английских пособиях эта координата обозначается SHA (Sideral Hour Angle – в переводе: звездный часовой угол).

В повседневной жизни звездное время не используется, т.к. начало звездных суток приходится на различное время солнечных суток.

## Среднее время

Солнечными или истинными сутками называется промежуток между двумя последовательными верхними или нижними кульминациями центра Солнца на одном и том же меридиане. За начало солнечных суток принимается нижняя кульминация Солнца, поэтому истинным солнечным временем называется промежуток времени от нижней кульминации до данного момента.

Истинное время имеет большой недостаток: вследствие второго закона Кеплера суточное изменение прямого восхождения Солнца неодинаково в течение года.

Разность между самыми длинными и самыми короткими солнечными сутками составляет  $66,6' - 53,8' = 12,8'$  или 51с (почти минута).

Для того, чтобы сутки были одинаковой продолжительности, их отсчет ведется по так называемому среднему Солнцу. Среднее Солнце – это фиксированная точка, которая в отличие от истинного Солнца движется равномерно по небесному экватору.

Средние сутки – промежуток времени между двумя последовательными кульминациями среднего Солнца на меридиане наблюдателя.

Средним временем называется промежуток времени между нижней кульминацией среднего Солнца и данным моментом и измеряется от полуденной части меридиана наблюдателя до меридиана

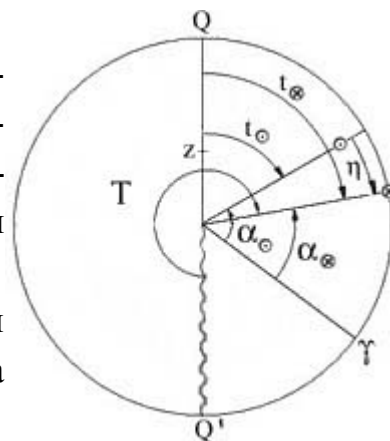


Рисунок 18

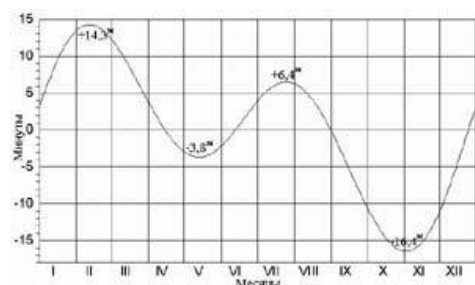


Рисунок 19.

Уравнением времени называется разность среднего и истинного времени, численно равная разности часовых углов среднего и истинного Солнца (рис. 18):

$$\eta = t_{\odot} - t_{\oplus} \quad \text{или} \quad \eta = \alpha_{\odot} - \alpha_{\oplus} .$$

Уравнение времени можно выбрать из МАЕ или из графика (рис. 19): 16 апреля, 14 июня, 1 сентября и 25 декабря  $\eta = 0$ , четыре экстремальных значения (11 февраля  $+14,3^M$ , 15 мая  $-3,8^M$ , 26 июля  $+6,4^M$  и 3 ноября  $-16,4^M$ ).

На основании взаимосвязи между истинным и средним временем уравнение времени позволяет получить часовой угол Солнца по известному времени  $t_{\odot} = T \pm 12 - \eta$  и время кульминации Солнца: для верхней кульминации  $t_{\odot} = 0$ , поэтому  $T_{в.к.} = 12^h + \eta$ . Данные приводятся внизу правого разворота ежедневных таблиц МАЕ.

## Май 28, 29, 30

Солнце			
Дата	$T_K$	$\eta$	$R$
28	11 57 <sup>М</sup>	-2 <sup>М</sup> 49 <sup>С</sup>	15.8
29	11 57	-2 41	15.8
30	11 57	-2 33	15.8

## Вычисление звездного времени, гринвичского и местного часового угла при помощи МАЕ (МАО), The Nautical Almanac (BROWN'S Almanac)

Примеры вычислений с использованием МАЕ (МАО):

1. Солнце, Венера и Луна - для долготы  $\lambda = 152^\circ 21',5$  E, 23 мая

	<u>Венера</u>	<u>Луна</u>	<u>Солнце</u>
$T_{гр}$	$1^h 30^m 16^c$	$1^h 33^m 54^c$	$1^h 36^m 10^c$
$t_T$	$237^\circ 54',6$ (1,7)	$138^\circ 44',2$ (12,4)	$195^\circ 50',6$ (0,9)
$\Delta t_1$	$7\ 33,5$	$8\ 05,3$	$9\ 01,9$
$\Delta t_2$	$0,9$	$6,9$	$0,5$
$t_{гр}$	$245\ 20,0$	$146\ 56,4$	$204\ 53,0$
$+ \lambda_E$	$152\ 21,5$	$152\ 21,5$	$152\ 21,5$
$t_M$	<b><math>37^\circ 41,5' W</math></b>	$299^\circ 17,9' W$	$357^\circ 14,5'$
$t_M$		<b><math>60^\circ 42,1' E</math></b>	<b><math>2^\circ 45,5' E</math></b>
$\delta_T$	$6^\circ 11,1'$ (+0,4)	$15^\circ 53,9'$ (-5,4)	$20^\circ 31,2'$ (+0,5)
$\Delta \delta$	$+0,2$	$-3,0$	$+0,3$
$\delta$	<b><math>6^\circ 11,3' N</math></b>	<b><math>15^\circ 50,9' N</math></b>	<b><math>20^\circ 31,5' S</math></b>

2.  $\alpha$  Пегаса (Маркаб, № 159)- для долготы  $\lambda = 31^\circ 45',0$  E ( $N = 2$  E), 31 августа 2010 г.,  $T_c = 0^h 20^m$  ( $T_{xp} = 10^h 18^m 08^s$ ,  $u = +15^c,0$ )

$T_c = 0^h 20^m$ 31.08	$t_{гр,Т}^y = 308^\circ 59',2$	$S_M = t_M^y = 345^\circ 20',7$
$N_E = -2$	$\Delta t_{гр}^y = +4^\circ 36',5$	$\tau^* = 13\ 40,0$
$T_{гр} = 22^h 20^m$ 30.08	$t_{гр}^y = 313^\circ 35',7$	$t_M^* = 359^\circ 00',7 W$
	$\lambda_E = +31\ 45,0$	$t_M^* = 0^\circ 59',3 E$
$T_{xp} = 10^h 18^m 08^s$	$S_M = t_M^y = 345^\circ 20',7$	
$u_{xp} = +15$		$\delta^* = 15^\circ 16',0 N$
$T_{гр} = 22^h 18^m 25^s$ 30.08		

Примеры вычисления гринвичского часового угла GHA и склонения (declination) с помощью The Nautical Almanac. Для получения местного часового угла исправить вычисленный GHA долготой:  $L.H.A = G.H.A \pm Long^E_W$ .

Солнце: на  $08^h 20^m 40^s$  21 января 2009 г.

G.H.A. $T$ Sun at 08h	$= 297^\circ 10,2'$	declination at 08h	$= 19^\circ 50,7' S$ d=0,5'
Incr. for $20^m 40^s$	$= 5\ 10,0$	d-correction	$= -0,2$
Required G.H.A Sun	$= 302^\circ 20,2'$	Required dec.	$= 19^\circ 50,5' S$

Луна: на  $11^{\text{h}}40^{\text{m}}30^{\text{s}}$  10 февраля 2009 г.

G.H.A. <sub>T</sub> at 11h	= $151^{\circ}16,4'$	$v=10,6$	dec. at 08h	= $8^{\circ}19,0'N$	$d=10,8'$
Incr.	= $5\ 10,0$		d-corr.	= $\underline{+10,2}$	
$v$ -corr.	= $\underline{+7,2}$		dec.	= $8^{\circ}29,2' N$	
G.H.A Moon	= $302^{\circ}20,2'$				

Юпитер: на  $13^{\text{h}}16^{\text{m}}40^{\text{s}}$  19 марта 2009 г.

G.H.A. <sub>T</sub> at 13h	= $52^{\circ}55,7'$	$v=2,0$	dec. at 13h	= $16^{\circ}22,0'$	$d=01,0'$
Incr.	= $4\ 0,0$		d-corr.	= $\underline{0,0}$	
$v$ -corr.	= $\underline{+0,6}$		dec.	= $16^{\circ}22,0' N$	
G.H.A Jupiter	= $57^{\circ}05,3'$				

$\alpha$  Волопаса (\*Арктур): на  $04^{\text{h}}36^{\text{m}}12^{\text{s}}$  31 марта 2009 г.

G.H.A. $\Upsilon$ at 04h	= $248^{\circ}40,0'$	dec. *Arcturus	= $19^{\circ}07,8'N$
Incr.	= $\underline{9\ 04,5}$		
G.H.A. $\Upsilon$	= $257\ 44,5$		
S.H.A. Arcturus	= $\underline{145\ 58,2\ (-360^{\circ})}$		
G.H.A. Arcturus	= $43^{\circ}42,7'$		

## Определение поправки компаса.

### *Краткое обоснование определения поправки компаса астрономическим способом.*

Поправка это разность между истинным и компасным пеленгом:  $\Delta K = \text{ИП} - \text{КП}$ .

Единственным и надежным способом определения поправки компаса в открытом море является астрономический. Для получения истинного пеленга необходимо решить параллактический треугольник, вычислив азимут светила.

Существует 3 способа задания параллактического треугольника и нахождения азимута: метод моментов; метод высот и метод моментов и высот.

В методе моментов азимут рассчитывается как функция от переменных широты наблюдателя, склонения и часового угла светила:  $A = f(\varphi, \delta, t)$ .

По методу высот азимут рассматривается как функция широты наблюдателя, склонения и высоты светила:  $A = f(\varphi, \delta, h)$ .

В методе высот и моментов азимут это функция склонения, высоты и часового угла светила:  $A = f(\delta, h, t)$ .

Погрешности в счислимом азимуте зависят от счислимого места:

Погрешность в азимуте, вызванная погрешностью в широте, определяется на основе дифференциальных формул:  $\Delta A_\varphi = \text{tg } h \cdot \sin A \cdot \Delta \varphi$ .

Погрешность в азимуте, вызванная погрешностью в долготе, а, следовательно, в часовом угле:  $\Delta A_t = -\cos q \cdot \sec h \cdot \Delta t$ .

Погрешность снятия пеленга:  $\Delta A = k \cdot \text{tg } h$ , где  $k$  – наклон пеленгатора.

Анализируя приведенные выше формулы, приходим к следующим рекомендациям:

- пеленговать светила на малой высоте над горизонтом (если  $h \rightarrow 0$ , то  $\Delta \varphi \rightarrow 0$ );
- при ограниченной видимости и невозможности наблюдения светила с малой высотой, следует пеленговать светило вблизи меридиана (если  $A \rightarrow 0$ , то  $\Delta A_\varphi \rightarrow 0$ );
- при пеленговании приполярных светил (если  $\delta \rightarrow 90^\circ$ , то  $\cos \delta \rightarrow 0$ ) погрешность в  $\Delta A_\lambda \rightarrow 0$ . Таким идеальным для наблюдения светилом служит Полярная звезда.

### **Определение поправки компаса по методу моментов.**

При этом методе в момент пеленгования светила фиксируется время, т.е. два параметра – компасный (гирокомпасный) пеленг  $KП$  и гринвичское время –  $T_{гр}$ . С карты снимаются координаты судна  $\varphi_c$ ,  $\lambda_c$ . По гринвичскому времени рассчитываются местный часовой угол  $t_m$  и склонение  $\delta$  светила. Применяя формулу котангенса при решении параллактического треугольника, получаем

$$\text{ctg } A = \text{tg } \delta \cos \varphi \text{ cosec } t - \sin \varphi \text{ ctg } t.$$

Счет азимута полукруговой – первая буква наименования совпадает с широтой, а вторая с часовым углом.



Рисунок 20

### Наблюдения и расчеты

1. Взять компасный пеленг светила и запустить секундомер (рис. 20).
2. Заметить судовое время и отсчет лага. По отсчету лага или с приемоиндикатора СНС снять счислимые координаты:  $\varphi_c = 21^\circ 45,6' N$ ,  $\lambda_c = 33^\circ 14,6' W$ .
3. Найти местный часовой угол  $t_M$  и склонение  $\delta$  светила

$T_{\text{зрост}}$	$19^{\text{h}} 42^{\text{m}} 55^{\text{s}}$	
$T_{\text{сск}}$	$- 0^{\text{m}} 50^{\text{s}}$	
$T_{\text{изр}}$	$19^{\text{h}} 42^{\text{m}} 05^{\text{s}}$	
$t_T$	$103^\circ 27,7'$	
$\Delta t_1$	$10^\circ 30,5'$	
$\Delta t_2$	$0,9$	$\bar{\Delta} = +1,2$
$t_{\varphi \odot}$	$113^\circ 59,1'$	
$\lambda$	$- 33^\circ 14,6' W$	
$t_{\lambda \odot}$	$80^\circ 48,5' W$	
$\delta$	$1^\circ 40,1' N$	
$\Delta \delta$	$+0,7$	$\Delta = +1,0$
$\delta_{\odot}$	$1^\circ 40,8' N$	

GHA Sun <sub>t</sub>	$103^\circ 27,7'$	
Incr	$10 \ 31,4$	
<u>GHA</u>	<u><math>113^\circ 59,1'</math></u>	
$\lambda$	$- 33 \ 14,6 W$	
GHA Sun	$80^\circ 48,5'$	
Dec <sub>t</sub>	$1^\circ 40,1' N \ d = +1,0$	
d-corr	$+ 0,7$	
Dec <sup>SUN</sup>	$1^\circ 40,8' N$	
- ИП	$268,1$	
- ГКП	$264,6$	
<u>ΔГК</u>	<u><math>+3,5</math></u>	

4. По таблицам (ВАС-58 или типа НО-249) либо по формуле котангенса вычисляем истинный азимут светила и рассчитываем поправку компаса (в примере  $\Delta K = +3,5^\circ$ ).

Данный способ является универсальным и подходит для наблюдения всех светил. Недостаток - большой объем вычислений.

**Метод высот** – в момент пеленгования засекается не время, а измеряется высота светила.

Азимут вычисляется по формуле косинуса стороны:

$$\cos A = \frac{\sin \delta - \sinh \sin \varphi}{\cosh \cos \varphi}$$

В чистом виде этот способ не употребляется, т.к. одному наблюдателю невозможно одновременно двумя приборами (пеленгатором и секстаном) измерить два навигационных параметра (пеленг и высоту).

Как частный случай *метод определения поправки компаса по пеленгу верхнего края в момент восхода/захода Солнца*, т.к. снижение Солнца известно и составляет  $h = -57,8'$ . Формула для азимута принимает вид:

$$A = 2 \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{\cos(\varphi + 57,8') - \sin \delta}{\cos(\varphi - 57,8') + \sin \delta}}$$

По данной формуле в Мореходных таблицах МТ-2000 составлены таблицы для одноименных и разноименных  $\varphi$  и  $\delta$ . Азимут получается в полукруговом счете. Первая буква азимута одноименна с широтой, а вторая E при восходе и W при заходе Солнца.

*Порядок наблюдений.*

### Сентябрь 7, 8, 9

φ	8		7 8 9			
	Нач. сумерек навиг. гражд.	Восход Солнца	Азимут Солнца на восходе (верхний край)			
	Ч М	Ч М	°	°	°	
N 74	///	2 50	4 23	64.3	65.9	67.3
40	4 34	5 07	5 34	81.4	81.9	82.4
30	4 48	5 17	5 41	82.5	83.0	83.4
20	4 58	5 24	5 46	83.3	83.7	84.1
N 10	5 05	5 29	5 50	83.7	84.1	84.5

$T_T$	$5^H 41^M$
$\Delta T_\varphi$	-3
$\lambda_w$	+11 17
$T_M$	16 55
$N_\delta$	-11 W
$T_c$	$5^H 55^M$

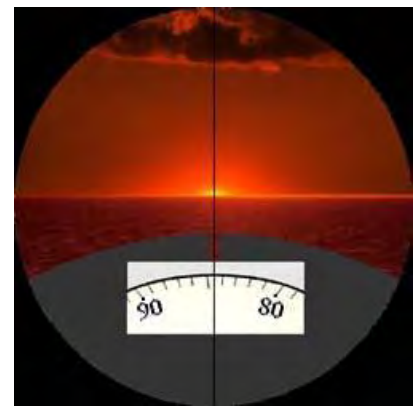


Рисунок 21

1. По Ежедневным таблицам МАЕ (The Nautical Almanac) определяем время восхода (захода) Солнца.
2. В момент восхода (рис.21) берем компасный пеленг Солнца и снимаем числимые координаты  $\varphi_c = 34^\circ 50' N$ ;  $\lambda = 170^\circ 15' W$ .
3. Порядок расчета по МТ:

Склонение Солнца одноименно с широтой								Ши- рота
2°30'	3°00'	3°30'	4°00'	4°30'	5°00'	5°30'	6°00'	
87°5	87°0	86°5	86°0	85°5	85°0	84°5	84°0	0°
86.4	85.8	85.2	84.6	84.0	83.4	82.8	82.2	33
86.3	85.7	85.1	84.5	83.9	83.3	82.7	82.1	34
86.3	85.7	85.0	84.4	83.8	83.2	82.6	82.0	35
86.2	85.6	85.0	84.4	83.7	83.1	82.5	81.9	36

$$\begin{array}{l} T_c \quad 5^H 55^M \quad 7.09 \\ N_\delta \quad +11 W \\ T_{gp} \quad 16 55 \end{array} \rightarrow \begin{array}{l} \delta_r \quad 5^H 52,4^M N \quad \Delta = -0,9 \\ \Delta \delta \quad -0,8 \\ \delta_0 \quad 5^H 51,6^M N \end{array} \quad \begin{array}{l} A_T \quad 82,1 \\ \varphi \quad 34^\circ + 50,0 N \quad \Delta A_\varphi \quad -0,1 \\ \delta \quad 6^\circ - 8,4 N \quad \Delta A_\delta \quad +0,2 \\ \hline 82,2 NE \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{ИП} \quad | \quad 82,2^\circ \\ \text{ГКП} \quad | \quad 84,7^\circ \\ \hline \Delta \text{ГК} \quad | \quad -2,5^\circ \end{array}$$

4. Войти в таблицы широтой и склонением и, интерполируя, найти азимут. Дать наименование азимуту и найти поправку компаса.

Начиная с МАЕ 2001 года на правом развороте ежедневных таблиц представлены азимуты восхода / захода верхнего края Солнца в круговом счете для высоты глаза  $e = 0$  м. Выборка производится для соответствующей даты с интерполяцией по широте и долготе. Для получения азимута, соответствующего высоте глаза наблюдателя при  $e > 0$  м, следует ввести поправку  $\Delta A^\circ = -0,017 \cdot \text{tg } A \cdot \Delta h \cdot \text{cosec } A$ , где  $\Delta h = d + \Delta h_t + \Delta h_B$ .

Последовательность вычислений ( $e = 12$  м и  $d = -6.1'$ ).

Из таблицы А (с.280) по широте и месяцу выбираем аргумент  $K = 0.01$ ,  $\Delta h = 0.1$ .

Аргумент К поправки азимута видимого восхода и захода верхнего

ТАБЛИЦА А

Широта	яно.	февр.	март	апр.	май	июнь	июль	авг.
40	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
20-30	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
0-10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Поправка азимута видимого восхода и захода верхнего

ТАБЛИЦА В

К	$\Delta h$											
	1'0	1'5	2'0	2'5	3'0	3'5	4'0	4'5	5'0	5'5	6'0	
0.00	0'0	0'0	0'0	0'0	0'0	0'0	0'0	0'0	0'0	0'0	0'0	0'0
0.01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1
0.02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

На той же странице по аргументу К и  $\Delta h$  выбираем поправку  $\Delta A^\circ = 0.1^\circ$ .

Входим в ежедневные таблицы и на правом развороте по дате и широте (аналогично таблице МТ-2000) выбираем азимут восхода  $A = 82,2^\circ - 0,1^\circ = 82,1^\circ$

### Знаки поправки

	Восход	Заход
$\varphi_N$	-	+
$\varphi_S$	+	-

$$\Delta K = \text{ИП} - \text{КП} = 82.1^\circ - 84,7^\circ = -2,4^\circ$$

Расхождения в рассчитанных азимутах  $\pm 0,1^\circ$  объясняется погрешностями округления и являются допустимыми.

Достоинство метода:

1. Малый объём вычислений, вероятность промаха незначительна.
2. Способ удовлетворяет требованиям точности определения  $\Delta K$ , т.к.  $h=0^\circ$ .
3. При таком малом объёме вычислений азимут восхода/захода можно рассчитать заранее, и поправка компаса определяется практически сразу.

Недостатки метода:

1. Способ требует благоприятных условий видимости.
2. Однократность наблюдения таит опасность промаха.
3. Необходимость расчета судового времени восхода/захода Солнца.

### Метод моментов и высот.

Определение поправки компаса по Полярной звезде.

В момент пеленгования светила по этому методу измеряется и высота.

Если при обсервации по небесным светилам одноименно со взятием высоты измерить компасный пеленг, то азимут рассчитывается по формуле синусов:

$$\sin A = \sin t \cos \delta \sec h.$$



В чистом виде способ не применяется из-за трудоёмкости наблюдений, но употребляется как частный способ при определении поправки компаса по пеленгу Полярной звезды.

Полярная звезда в своём суточном движении описывает вокруг полюса параллель очень малого радиуса, равного полярному расстоянию  $\Delta \approx 46'$ , поэтому азимут Полярной изменяется в малых пределах  $0^\circ < A < 2^\circ$  NE/NW. По формуле синусов

$$\frac{\sin A}{\sin \Delta} = \frac{\sin t_M}{\sin(90-h)} = \frac{\sin t_M}{\cosh},$$

имеем

$$\text{или} \quad \sin A = \sin \Delta \cdot \sec h \cdot \sin t_M$$

В формуле присутствуют высота и часовой угол, что и дало название методу. После упрощений получаем

$$A = \Delta \cdot \sec \varphi \cdot \sin (S_M - \alpha).$$

По последней формуле составлена таблица «Азимут полярной». В МАЕ таблица расположена на отдельной странице (наименование азимута объяснено внизу), а в The Nautical Almanac азимут указан в таблице для вычисления высоты и азимута Полярной: “POLARIS (POLE STAR) TABLE”. Азимут дан в круговом счете.

Порядок вычислений:

1. Измерить пеленг Полярной и отметить судовое время.
2. Снять счислимые координаты.
3. Найти гринвичское время и дату.
4. По МАЕ (The Nautical Almanac) рассчитать звездное местное время.
5. Из таблицы Азимут Полярной по широте и звездному местному времени выбрать азимут Полярной. При необходимости дать азимуту наименование.
6. Рассчитать поправку компаса.

Достоинства метода:

- простота и малый объём вычислений, малая вероятность промахов;
- азимут изменяется во времени медленно, т.е. нет необходимости точного знания времени (судовое время обеспечивает необходимую точность).
- ошибки в широте и долготе не сказываются на точности вычислений.

Недостаток: способ ограничен по широте. Полярную звезду можно наблюдать только в северном полушарии. Наиболее благоприятный диапазон широт для наблюдений  $5^\circ \text{N} < \varphi < 20^\circ \text{N}$ . При больших широтах необходимо использовать откидное зеркало, что увеличивает погрешность в измеренном пеленге.

***Упрощенный способ определения  $\Delta K$  по Полярной звезде (рис.22).***

При этом способе (погрешность  $\pm 0,5^\circ$ ) руководствуются следующим:

1. если  $\varepsilon$  Кассиопеи (Сегин) и  $\eta$  Большой Медведицы (Бенетнаш) наблюдаются на одном вертикале с Полярной звездой, то **азимут** последней  $A^* = 0^\circ(N)$ .
2. если  $\varepsilon$  Кассиопеи (Сегин) расположена влево от Полярной, то **азимут** последней:  $A^* = 359^\circ$  в  $\varphi = 45^\circ N$ ;  $A^* \approx 358,5^\circ$  в  $\varphi = 60^\circ N$ ;  $A^* \approx 358,0^\circ$  в  $\varphi = 70^\circ N$ .
3. если  $\varepsilon$  Кассиопеи (Сегин) расположена вправо от Полярной, то **азимут** последней  $A^* = 1^\circ$  в  $\varphi \approx 45^\circ$ ;  $A^* \approx 1,5^\circ$  в  $\varphi = 60^\circ N$ ;  $A^* = 2,0^\circ$  в  $\varphi = 70^\circ N$ .

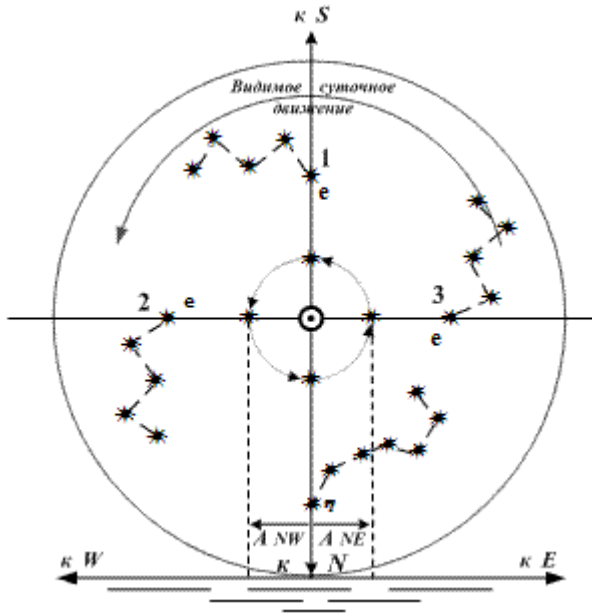


Рисунок 22

Если в указанных случаях измерить компасный пеленг на Полярную звезду, то поправку курсоуказателя можно рассчитать как:

$$1. \Delta K = 0^\circ(360^\circ) - КП^*$$

$$2. \Delta K = 359^\circ - КП^*, \text{ если } \varphi_c < 45^\circ N$$

$$\Delta K = 358,5^\circ - КП^*, \text{ если } \varphi_c = 60^\circ N;$$

$$\Delta K = 358^\circ - КП^*, \text{ если } \varphi_c = 70^\circ N.$$

$$3. \Delta K = 1^\circ(361^\circ) - КП^*, \text{ если } \varphi_c \approx 45^\circ N;$$

$$\Delta K = 1,5^\circ(361,5^\circ) - КП^*, \text{ если } \varphi_c = 60^\circ N;$$

$$\Delta K = 2^\circ(362^\circ) - КП^*, \text{ если } \varphi_c \approx 70^\circ N.$$

## **Астрономические наблюдения.**

### *Суточная программа астрономических наблюдений.*

**Н о ч ь.** На каждой вахте и на каждом новом курсе определяется поправки компасов. Рассчитывают судовое время начала утренних навигационных сумерек, время и, желательно, азимут восхода Солнца.

**У т р е н н и е с у м е р к и.** Выполняют обсервацию по одновременным наблюдениям нескольких светил.

**У т р о.** Определяется общая поправка компаса по Солнцу. Возможна обсервация по одновременным наблюдениям Луны и Солнца. В любом случае берется утренняя линия положения по Солнцу.

**Д е н ь.** Выполняют обсервацию по разновременным наблюдениям Солнца. При достаточном опыте проводят обсервацию по соответствующим высотам.

**В е ч е р.** Определяется поправка компаса. Рассчитывается время и азимут захода Солнца. Возможна обсервация по одновременным наблюдениям Солнца и Луны, если Луна в первой четверти.

**В е ч е р н и е с у м е р к и.** Выполняют обсервацию по одновременным наблюдениям нескольких светил.

### *Порядок выполнения астрономических наблюдений:*

1. Планирование наблюдений, подбор светил и предварительный расчет судового времени наблюдений. Производят расчеты для применения способа определения места судна методом перемещенного места.
2. Выверка приборов, определение поправки индекса.
3. Определение высоты глаза наблюдателя.
4. Измерение высот и/или пеленгов светил с фиксированием отсчета хронометра, судового времени и отсчета лага.
5. Снятие счислимых координат.
6. Определение приближенного ГМТ и его даты, расчет судового времени для вычисляемой точки.
7. Выборка из пособий склонений и местных часовых углов светил на момент наблюдений.
8. Вычисление счислимых значений высот и азимутов светил
9. Исправление отсчетов секстана и получение обсервованных высот светил.
10. Расчет линий положения, приведение к одному зениту, выполнение графических построений
11. Снятие обсервованных координат, анализ результатов определения.

## **Подбор звёзд для наблюдений.**

На звездном глобусе, установленному по счислимой широте и местному звездному времени, в зависимости от облачности подбирается два или три варианта звезд для астрономических наблюдений.

При этом следует руководствоваться следующими рекомендациями.

Подбираются наиболее яркие светила – и их легче отыскать и наблюдать в ранние сумерки. Высоты лучше брать в пределах от 10 до 70°.

Для определения по двум светилам выбирается разность азимутов от 45 до 90° так, чтобы азимут одного светила совпадал с линией пути судна, а второй был перпендикулярен ему.

Для определения по трем звездам светила должны располагаться по всему горизонту с разностью азимутов по 120°.

Для определения по четырем звездам светила подбираются расположенными попарно в обратных азимутах с разностью азимутов примерно 90°; при этом желательно наблюдать две звезды в широтном направлении (одна из них может быть Полярной), а другие на Е и W.

### Определение места судна по наблюдениям двух светил.

Способ применяется при одновременном наблюдении двух звезд, звезды и планеты и Солнца и Луны.

В общем случае, для получения обсервованного по высотам двух светил места судна в море, необходимо:

1. измерить высоты светил навигационным секстаном;
2. исправить измеренные высоты светил всеми поправками и получить значения обсервованных геоцентрических высот этих светил ( $h_{O1}$  и  $h_{O2}$ );
3. привести высоты светил к одному моменту времени (как правило, ко времени измерения высоты последней звезды) и получить приведенное значение высоты одного из светил ( $h'_{O1}$ );
4. вычислить значения счислимых высот ( $h_{C1}$  и  $h_{C2}$ ) и азимутов ( $A_{C1}$  и  $A_{C2}$ ) светил для координат счислимого места судна ( $\varphi_c$  и  $\lambda_c$ ), используя астрономические таблицы или по формулам;
5. рассчитать элементы каждой ВЛП относительно счислимого места судна ( $ВЛП_1 \rightarrow A_{C1}, n_1 = h'_{O1} - h_{C1}; ВЛП_2 \rightarrow A_{C2}, n_2 = h_{O2} - h_{C2}$ )

6. построить высотные линии положения на путевой навигационной карте (на бланке или на маневренном планшете, применяя угловой масштаб) определить обсервованные координаты ( $\varphi_0$  и  $\lambda_0$ ), как координаты точки пересечения ВЛП<sub>1</sub> («I–I») и ВЛП<sub>2</sub> («II–II») (рис.23).

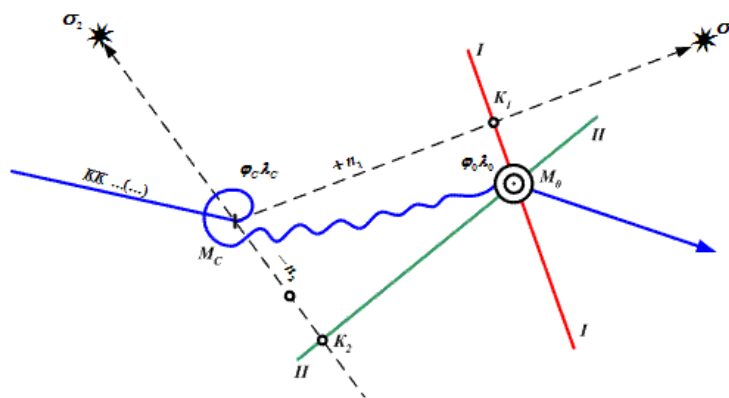


Рисунок 23

Обсервованное место судна можно принять в точке пересечения двух линий положения только в том случае, когда они соответствуют одному месту наблюдателя, то есть одному моменту времени наблюдений, т.е. для получения обсерво-

ванного места их необходимо приводить к одному месту наблюдений, то есть к одному зениту.

Приведение к одному зениту (рис.24).

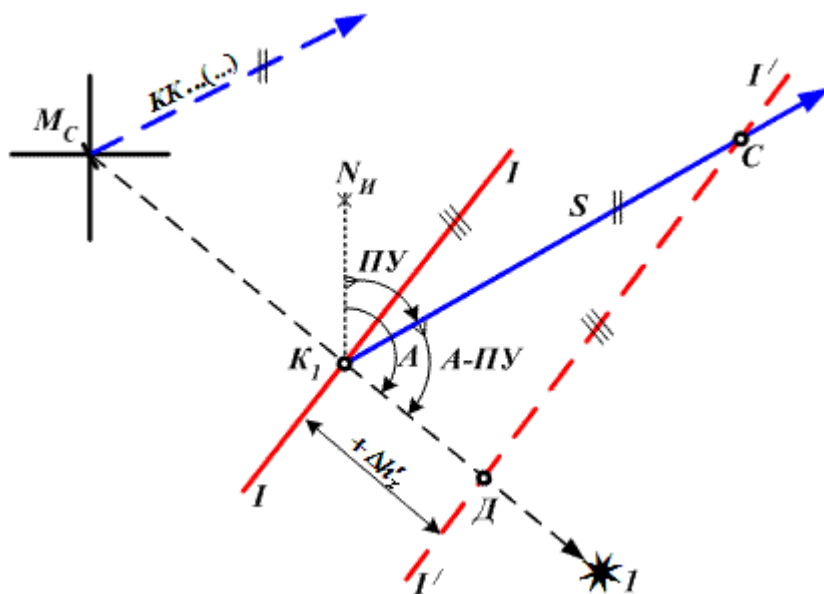


Рисунок 24

Приведение высот светил к одному зениту графически означает (рис.) вложение соответствующего отрезка пути ( $K_1C$ ), пройденного за время между замерами высот, расстояния ( $S$ ) от определяющей точки ( $K_1$ ) по линии пути (линии курса).

Так как время между замерами высот первой и второй звезды незначительно (до 10 мин), то приведение высот к одному зениту производится по формуле:

$$\Delta h'_z = S \cdot \cos(A - \text{ПУ}),$$

где  $\Delta h'_z$  – поправка высоты для приведения измерений к одному зениту, значение которой откладывается от определяющей точки ( $K_1$ ) по направлению  $A_{C1}$  (если величина  $\Delta h'_z$  положительна) или в сторону, противоположную  $A_{C1}$ , (если величина  $\Delta h'_z$  отрицательна);

$A-\text{ПУ}$  – курсовой угол на светило → угол между линией пути (курса) и направлением на светило.

На практике поправка  $\Delta h'_z$  рассчитывается по формуле:  $\Delta h_z = \Delta h_v \cdot \Delta T$ ,

где  $\Delta h_v$  – изменение высоты светила за 1 минуту;

$\Delta T$  – промежуток времени (до десятых долей минуты) между замерами высот светил.

Значение величины  $\Delta h_v$  выбирается из специальной таблицы «Приведение высот светил к одному зениту  $\Delta h_v$ » (таблицы ТВА-57, МТ-2000, МАА и аналогичные иностранные).

Точность обсервованного по двум линиям положения места судна оценивается радиальной (круговой) среднеквадратической погрешностью (СКП), которая рассчитывается по общей формуле:

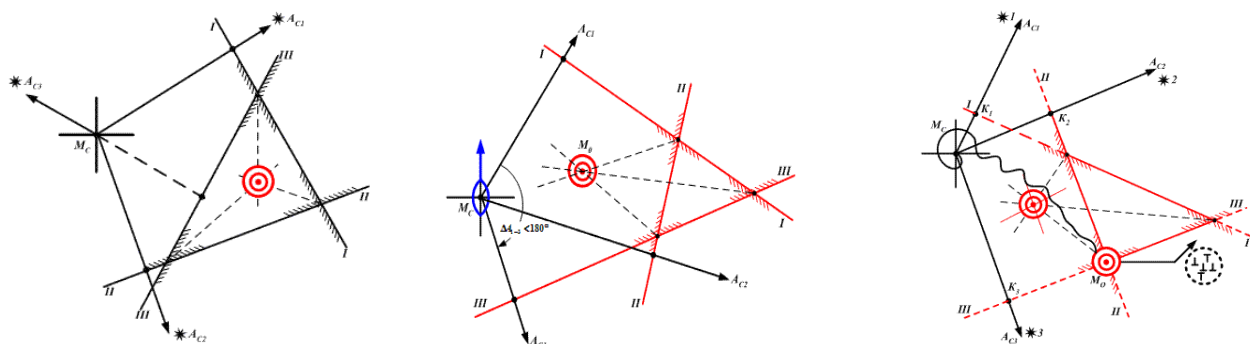
$$M_0 = \frac{1}{\sin \theta} \sqrt{m_{\text{ш1}}^2 + m_{\text{ш2}}^2} \text{ (мили) } * \quad \text{или} \quad M_0 = \frac{1,4 \cdot m_h}{\sin \Delta A}$$

где  $\theta$  – разность азимутов,



## Определение места судна по наблюдениям 3-х звёзд.

1. Подготовить к наблюдениям навигационный секстан, рабочие часы и бланк записи астрономических наблюдений.
2. Определить поправку рабочих часов ( $U_{\text{ч}}$ ) по сравнению с хронометром или по сигналам точного времени.
3. Определить поправку индекса секстана ( $i$ ) по звезде.
4. Произвести подбор трех светил для наблюдений ( $\Delta A$  не  $<60^\circ$  и  $h$  не  $<30^\circ$ ).
5. В быстрой последовательности измерить серию из трех высот каждой звезды, замечая момент измерения по рабочим часам.
6. Зафиксировать судовое время  $T_c$  и отсчет лага  $OL$ .
7. На момент измерения  $T_c$  снять с путевой навигационной карты координаты счислимой точки ( $\varphi_c, \lambda_c$ ).
8. Рассчитать средние моменты ( $T_{CP}$ ) и средние отсчеты секстана ( $OC_{CP}$ ) каждой серии высот для каждой наблюдаемой звезды.
9. Рассчитать гринвичское время замера высоты каждой звезды ( $T_{GP} = T_{CP1,2,3} + U_{\text{ч}}$ ) и вычислить их экваториальные координаты ( $t_M, \delta$ ).
10. По таблицам высот и азимутов светил или решением параллактического треугольника рассчитать горизонтные координаты светил, а полученные их азимуты ( $A_c$ ) перевести в круговую систему счета.
11. Исправить отсчеты секстана ( $OC_{CP1,2,3}$ ) всеми необходимыми поправками и выполнить приведение к одному зениту.
12. Рассчитать значения переносов ( $n_{1,2,3}$ ).
13. Построить высотные линии положения, и вычислить значения обсервованных координат ( $\varphi_0, \lambda_0$ ).
14. Оценить точность обсервованного места судна, произвести анализ полученной невязки (рис.26), оформить запись в судовом журнале.



а) светила по всему горизонту б) с одного борта в) с учётом опасности  
Рисунок 26

### Оценка точности обсервованного места судна, полученного по 3 ВЛП

Радиальная (круговая) СКП обсервованного места судна, полученного по 3-м ВЛП, может быть рассчитана относительно радиальной СКП, рассчитанной по 2-м ВЛП по приближенной формуле:  $M_{0(3ВЛП)} \approx 0,8M_{0(2ВЛП)}$  (мили).

Если 3 светила расположены по всему горизонту и их разность азимутов находится в пределах  $110^\circ \div 130^\circ$ , то радиальная СКП obserвованного места может быть определена по приближенной формуле:  $M_{0(3ВЛП)} = 1,2m_h$  (мили), где  $m_h$  – СКП измерения высоты светила (дуг. мин.).

### Определение места судна в море по высотам 4-х светил

Из астрономических способов *наиболее надежным и точным является способ определения места судна по высотам 4-х светил.*

Для наблюдения подбираются светила, расположенные по всему горизонту, при смежных разностях азимутов  $\Delta A \approx 90^\circ$ . При соблюдении такого условия получают две пары почти параллельных ВЛП. Все ВЛП приводятся к моменту измерения высоты последнего светила.

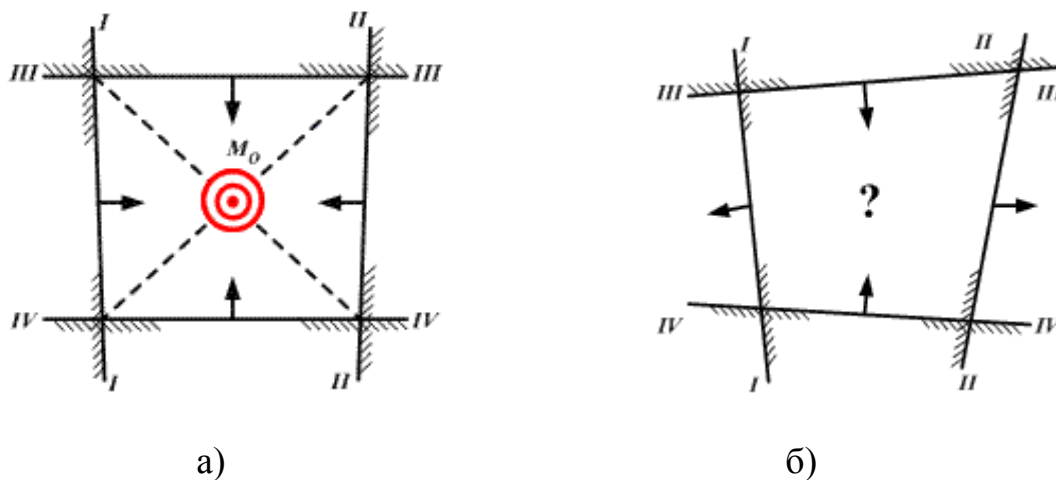


Рисунок 27

Из анализа освещенности сторон фигуры погрешностей (рис.27) следует, что:

- если ВЛП попарно сходятся (расходятся), то промахи отсутствуют и вероятнейшее место судна находится на пересечении биссектрис углов попарно образованных ВЛП (рис. 27-а);
- если в фигуре погрешностей 2 ВЛП сходятся, а 2 ВЛП расходятся, то это говорит о наличии промахов. В этом случае следует проверить все расчеты (рис. 27-б), или повторить наблюдения.

При симметричном расположении азимутов светил по всему горизонту и равноточных ВЛП, радиальная СКП obserвованного места оценивается по приближенной формуле:

$$M_{0(4ВЛП)} \approx m_h$$

### Выводы

1. Для получения более точного и надежного obserвованного места судна, необходимо иметь три и более ВЛП, при которых получается полноценная обсервация.



2. Для исключения систематических погрешностей – светила для наблюдений следует подбирать по всему горизонту.
3. При наличии только систематических погрешностей вероятнейшее место в фигуре погрешности находится на пересечении астрономических биссектрис углов, стороны которых имеют одинаковую освещенность.
4. При наличии только случайных погрешностей вероятнейшее место в фигуре погрешности находится внутри фигуры на пересечении противомедиан.
5. Из астрономических способов, наиболее надежным и точным, является способ определения места судна по высотам 4-х светил.

### Определение широты места судна по высоте Полярной звезды

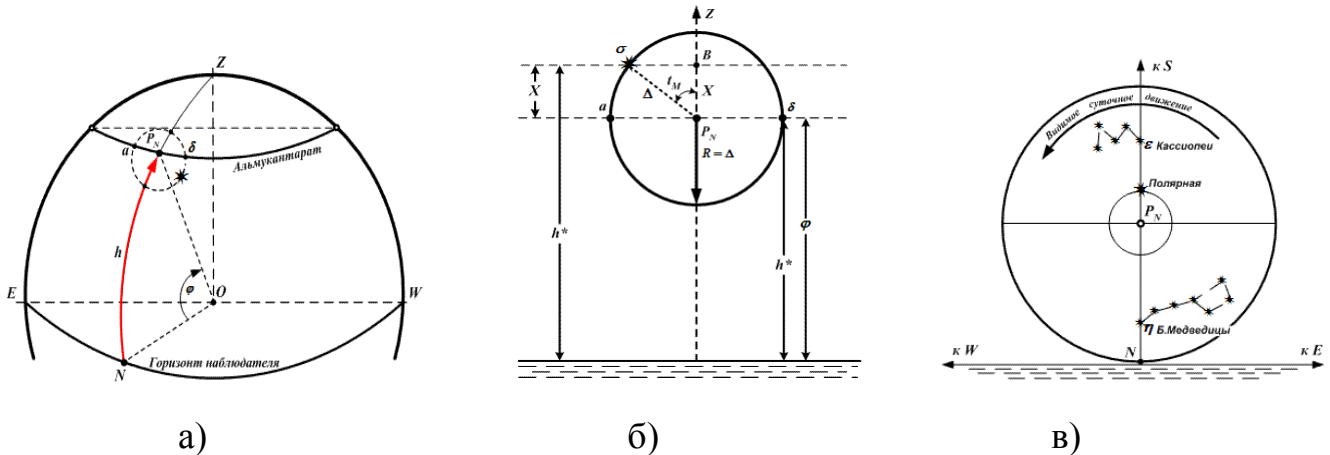


Рисунок 28

Способ основан на том, что \*  $\alpha$  Малой Медведицы – Полярная звезда в нашу эпоху располагается вблизи северного полюса Мира  $P_N$ . Склонение этой звезды  $\delta^* \approx 89^\circ$ , т.е. она отстоит от северного полюса Мира (от точки  $P_N$ ) на величину полярного расстояния  $\Delta \approx 1^\circ$ , и в своем суточном движении описывает вокруг полюса  $P_N$  малый круг (суточную параллель), сферический радиус которого:  $R = \Delta \approx 1^\circ (\sim 44')$ . Два раза в сутки, когда альмукантарат Полярной звезды совпадает с альмукантаратом северного полюса Мира (тт.  $a$  и  $b$ , рис. 28-а), истинная высота этой звезды численно равна широте места наблюдателя, т.е.  $\varphi_0 = h^*$ .

Из рис. 28-б следует, что широта места наблюдателя ( $\varphi$ ), равная высоте повышенного полюса Мира ( $h_{PN}$ ), отличается от высоты Полярной звезды ( $h^*$ ) на величину  $X$ , т.е.:

$$\varphi = h^* + X$$

Величина  $X$  в течение суток изменяется в пределах от « $+\Delta$ » до « $-\Delta$ ».

Принимая (по его малости) сферический треугольник  $P_N\sigma B$  за плоский, можно получить приближенное значение  $X$  на любой момент времени по формуле:

$$X = \Delta \cdot \cos t_M,$$

где  $t_M = t_{\nu M} - \alpha^*$

В действительности треугольник  $P_N\sigma B$  не плоский, а величины  $\Delta$  и  $\alpha$  в течение года, хотя и незначительно, но изменяются.

Поэтому на практике величина  $X$  рассчитывается, как сумма 3-х поправок, т.е.

$$X = I \text{ погр.} + II \text{ погр.} + III \text{ погр.}$$

где  $I \text{ погр.}$  – основная величина  $X$  при решении плоского треугольника;

**II погр.** – величина, учитывающая сферичность треугольника  $P_{NSB}$ ;

**III погр.** – величина, учитывающая изменение  $\Delta$  и  $\alpha$  Полярной звезды в течение года.

Зная значение всех 3-х поправок и рассчитав значение истинной высоты Полярной звезды, можно определить значение обсервованной широты места наблюдателя (судна) по формуле:  $\varphi_0 = \text{Ист.}h^* + I \text{ погр.} + II \text{ погр.} + III \text{ погр.}$

#### Практическое выполнение способа

1. Подготовить к наблюдениям навигационный секстан и рабочие часы.
2. Определить поправку индекса навигационного секстана ( $i$ ) по звезде.
3. В быстрой последовательности измерить серию из 3-х высот Полярной звезды, замечая время каждого замера высоты.
4. Рассчитать средний отсчет секстана и среднее время замера высоты:
5. На время  $T_{CP}$  снять с путевой навигационной карты координаты счислимого места судна ( $\varphi_c, \lambda_c$ ).
6. Рассчитать значение обсервованной высоты Полярной звезды:

$$h^*_u = OC_{CP} + (i + s) + \Delta h_d + \Delta h_p$$

7. Рассчитать Гринвичское время замера высоты звезды:  $T_{GP} = T_{CP} + U_{\text{ч}}$ .
8. Из МАЕ выбрать значение  $t^{\text{в}}_{GP}$ :  $t^{\text{в}}_{GP} = t^{\text{в}}_{GP} + \Delta t^{\text{в}}_{GP}$
9. Рассчитать значение местного часового угла точки Овна:  $t^{\text{в}}_M = t^{\text{в}}_{GP} \pm \lambda_c \frac{E}{W}$
10. Из таблицы I «Широта по высоте Полярной» МАЕ (с. 277, 278) по значению  $t^{\text{в}}_M$  выбрать значение «I поправки», например:

$$\text{для } t^{\text{в}}_M = 34^\circ 30' \text{ I погр.} = -43,9' \text{ (2009 г.)};$$

$$\text{для } t^{\text{в}}_M = 215^\circ 30' \text{ I погр.} = +43,9' \text{ (2009 г.)};$$

11. Из таблицы II «Широта по высоте Полярной» МАЕ (с. 279) по значениям  $t^{\text{в}}_M$  и  $h^*_u$  выбрать значение II поправки, например:
  - для  $t^{\text{в}}_M = 135^\circ$  и  $\text{Ист.}h^* = 72^\circ$  II погр. = +0,9' (2009 г.);
12. Из таблицы III «Широта по высоте Полярной» МАЕ, по дате и значению  $t^{\text{в}}_M$  выбрать значение III поправки, например:  
на I.X. для  $t^{\text{в}}_M = 330^\circ \rightarrow$  III погр. = 0,1' (2009 г.)
13. Рассчитать значение обсервованной широты ( $\varphi_0$ ):

$$\varphi_0 = h_u^* + I \text{ погр.} + II \text{ погр.} + III \text{ погр.}$$

#### Упрощенный способ определения $\varphi_0$ по высоте Полярной (рис.28-в)

1. Если  $^*\eta$  Большой Медведицы (Бенетнаш) расположена над Полярной звездой, то  $\varphi_0 = h_u^* + \Delta$
2. Если  $^*\varepsilon$  Кассиопеи (Сегин) расположена над Полярной звездой, то  $\varphi_0 = h_u^* - \Delta$
3. Если  $^*\eta$  Большой Медведицы (Бенетнаш) и  $^*\varepsilon$  Кассиопеи (Сегин) находятся на одном альмукунтарате с Полярной звездой, то  $\varphi_0 = h_u^*$ .

Во всех случаях:  $h_u^* = OC_{CP} + (i + S) + \Delta h_d + \Delta h_p \rightarrow$  истинная высота Полярной звезды,  $\Delta = 90^\circ - \delta \rightarrow$  полярное расстояние Полярной звезды.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Морской Астрономический Ежегодник

Астрономические ежегодники в зависимости от их назначения имеют различную специализацию. В Российской Федерации издаются следующие астрономические ежегодники.

Астрономический Ежегодник РФ (АЕ РФ) разрабатывается Институтом теоретической астрономии АН СССР и в нем основные данные приводятся с точностью до  $\pm 0",01$ ; предназначен для астрономических обсерваторий и полевых астрономо-геодезических работ, а также является основой для создания специализированных ежегодников.

Морской Астрономический Ежегодник (МАЕ) предназначен для нужд мореплавания, им снабжаются все суда морского флота; координаты светил приводятся с точностью  $\pm 0,1$ .

Авиационный астрономический ежегодник (ААЕ) предназначен для нужд авиации; координаты светил в нем приводятся с точностью  $\pm 1',0$ ; разрабатывается Институтом теоретической астрономии АН РФ и издается с 1930 г.

Из зарубежных ежегодников наиболее известными являются: «The American Nautical Almanac» и «The Abridged Nautical Almanac» (издаются совместно Англией и США);

«Ephemerides Nautiques» (издается во Франции).

Некоторой популярностью среди моряков пользуется ежегодник, издаваемый частной компанией в Англии «Brown's Nautical Almanac». Все морские астрономические ежегодники отличаются между собой в основном общей формой устройства. Значения координат, приводимых в ежегодниках, могут незначительно отличаться между собой. Это зависит от принимаемых для их составления каталогов звезд.

### Общее устройство МАЕ следующее.

В начале приводится его содержание с кратким описанием разделов.

Пояснение к пользованию Морским Астрономическим

Ежегодником и приведенные в нем примеры исчерпывающе поясняют правила определения следующих величин:

- 1) местных часовых углов  $t_M$  и склонений звезд  $b$ ;
- 2) местных часовых углов  $t_M$  и склонений Солнца  $b_0$ ;
- 3) местных часовых углов и склонений планет и Луны;
- 4) определение судового времени  $T_C$  кульминации Солнца, планет и Луны;
- 5) ряд других величин, связанных с астрономическими явлениями, используемыми в судовождении.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б



Двухлетний «Морской астрономический альманах» (МАО-2) также, как и «Морской астрономический ежегодник» (МАО), предназначен для решения задач морской астронавигации. Не отличаясь по объему от МАО, содержит практически ту же информацию (за исключением данных о восходах и заходах Луны, которые существенно модифицированы), но с продлением срока действия эфемерид на 2 года. Точность эфемерид  $0.1'$ . Издается с 2001г. (первый выпуск на 2002-2003гг.). В 2012г. вышел в свет шестой выпуск МАО-2 на 2013-2014гг., в котором Объяснение и часть таблиц поправок даны на русском и английском языках.

Главными особенностями Альманаха являются следующие:

- Основными навигационными светилами являются Солнце, Луна, 160 навигационных звезд и четыре планеты (Венера, Марс, Юпитер и Сатурн);
- Характер изменения часовых углов точки Овна и Солнца, звездных дополнений и склонений позволяет представить их в виде медленно меняющейся на двухлетнем интервале целой (градусной) части и быстро меняющейся минутной части. Такой подход позволяет разместить значительно больший объем информации;
- Часовые углы и склонения планет даны с шагом в  $5^h$ ; приводится алгоритм получения местного часового угла и склонения планеты с использованием интерполяционных таблиц;
- Моменты восходов и заходов Солнца, азимуты верхнего края Солнца на восходе вычислены для 68 значений широт с постоянным шагом в  $2^\circ$  для высоты глаза  $e=8m$ . Вместо обычно используемых в морских альманахах моментов начала и конца навигационных и гражданских сумерек, приведены наиболее благоприятные моменты для начала проведения утренних и вечерних наблюдений;
- Вместо обширных таблиц моментов восходов и заходов Луны приведен алгоритм вычисления этих явлений по таблицам поправок к моменту верхней кульминации Луны, обеспечивающий точность порядка  $0.1^h$ ;
- Наряду с таблицами видимых мест 160 звезд, в ежедневные таблицы включены видимые места 77 ярких звезд, что позволяет использовать данные без интерполирования;
- В таблице «Азимут Полярной» искомые параметры даны с точностью до  $0.1^\circ$ ;
- Вычисление широты по высоте Полярной производится по формуле, а не по таблицам;
- В Альманах включены модифицированные таблицы ТВА-57;
- Расширена постоянная часть, содержащая таблицы исправления высот светил, даны примеры определения места судна по наблюдениям Солнца и звезд, приводится инструкция по работе с секстаном, добавлено несколько новых таблиц;
- Приведен «Планшет прокладки ВЛП»;
- Пояснения и примеры составлены так, чтобы штурман мог по аналогии легко провести требуемые вычисления.





## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### Мореходные таблицы МТ-2000

**Мореходные таблицы МТ-2000** содержат таблицы, номограммы, карты, схемы, графики и справочные материалы по следующим 7 разделам:

1. Таблица для вычисления высот и азимутов светил, расстояний и направлений (ТВА-57).
2. Навигационные таблицы.
3. Астрономические таблицы.
4. Таблицы для оценки точности судовождения и навигационной безопасности плавания.
5. Справочные таблицы.
6. Математические формулы.
7. Условные обозначения и сокращения, применяемые в судовождении. Большинство разделов разбито на подразделы (А, Б и пр.), в которых, по необходимости, приведены терминология и расшифровка основных понятий, встречающихся в тексте.

# ПРИЛОЖЕНИЕ Г

## Устройство компаса





## ГЛОССАРИЙ

**Азимут светила** - сферический угол при зените наблюдателя между плоскостью меридиана наблюдателя и вертикалом светила. Измеряется дугой истинного горизонта

**Альмукантарат** - малый круг, параллельный истинному горизонту наблюдателя

**Астрономическая рефракция** - явление искривления лучей света в атмосфере, идущих от светила к наблюдателю

**Астрономические сумерки** - промежуток времени, в течение которого снижение центра Солнца изменяется в пределах от  $-12^\circ$  до  $-18^\circ$  (вечер), а также от  $-18^\circ$  до  $-12^\circ$  (утро). В этот период поверхность Земли еще освещается отраженным от верхних слоев атмосферы светом Солнца

**Вертикал (плоскость вертикала)** - плоскость, проходящая через отвесную линию перпендикулярно плоскости истинного горизонта наблюдателя

**Видимая высота светила** - измеренная высота светила, исправленная поправкой за наклонение видимого горизонта

**Видимое суточное движение светил** - кажущееся движение светил вследствие вращения Земли (с запада на восток) вокруг своей оси

**Видимый восход (заход) Солнца** - момент появления (восход) или скрытия (заход) верхнего края Солнца

**Возраст Луны** - промежуток времени (в сутках) от новолуния до данной фазы Луны

**Восход светила** - точка пересечения параллели светила с истинным горизонтом наблюдателя на восточной полусфере

**Всемирное (гринвичское) время** - промежуток времени от момента нижней кульминации среднего Солнца на гринвичском (нулевом) меридиане до данного момента, выраженный в средних солнечных единицах

**Вспомогательная небесная сфера (ВНС)** - воображаемая сферическая поверхность произвольного радиуса с центром в месте наблюдателя, на поверхность которой проецируются видимые места светил

**Вторая экваториальная система сферических координат светил** - система сферических координат светил, ориентированная в пространстве относительно оси Мира, в которой за основу берутся:

плоскость небесного экватора (небесный экватор);

небесный меридиан точки Овна

**Высота светила** - вертикальный (двугранный) угол при центре небесной сферы между плоскостью истинного горизонта наблюдателя и направлением на светило. Измеряется дугой вертикала светила от плоскости истинного горизонта наблюдателя до видимого места светила в пределах от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ .

**Гринвичский небесный меридиан** - небесный меридиан, являющийся линией пересечения поверхности вспомогательной небесной сферы плоскостью земного Гринвичского меридиана, который делит вспомогательную небесную сферу на два полушария – восточное (от  $0^\circ$  до  $180^\circ E$ ) и западное (от  $0^\circ$  до  $180^\circ W$ )

**Гринвичское звездное время** - звездное местное время на Гринвичском меридиане

**Демаркационная линия времени (линия перемены дат)** - условная линия на поверхности Земли, проходящая от полюса до полюса, по разные стороны которой местное время отличается на сутки

**Долгота светила** - двугранный угол при центре сферы между направлениями на точку Овна и точку пересечения эклиптики с кругом широты светила

**Заход светила** - точка пересечения параллели светила с истинным горизонтом наблюдателя на западной полусфере

**Звездная величина** - класс звезды, в зависимости от её видимого блеска

**Звездная карта** - изображение в определенных картографических проекциях небесной сферы или отдельных ее участков

**Звездное дополнение** - дуга небесного экватора от точки Овна до меридиана светила, отсчитываемое в сторону суточного вращения небесной сферы от  $0^\circ$  до  $360^\circ$

**Звездное местное время** - интервал времени от момента верхней кульминации точки Овна на местном меридиане до данного момента в звездных величинах

**Звездные сутки** - интервал времени между двумя последовательными прохождениями точки Овна через полуденную часть местного меридиана (между двумя последовательными верхними кульминациями точки Овна)

**Звездный глобус** - модель небесной сферы с нанесенными на его поверхность основными созвездиями и звездами, небесным экватором, эклипстикой, небесными меридианами и параллелями

**Земная ось** - воображаемая линия, проходящая через центр и географические полюсы Земли

**Земной экватор** - воображаемая линия пересечения плоскости экватора с земной поверхностью

**Зенит** - точка пересечения отвесной линии и вспомогательной небесной сферы над головой наблюдателя

**Зенитное расстояние** - дуга вертикала от зенита до светила, или угол между отвесной линией и направлением на светило. Зенитные расстояния отсчитываются в пределах от  $0^\circ$  до  $180^\circ$  от зенита к надиру

**Измеренная высота** - средний отсчет секстана, исправленный поправкой секстана

**Истинные солнечные сутки** - интервал времени между двумя последовательными верхними кульминациями центра видимого диска Солнца на одном и том же меридиане

**Истинный восход (заход) Солнца** - момент прохождения центром Солнца плоскости истинного горизонта наблюдателя

**Истинный горизонт наблюдателя (Плоскость истинного горизонта)** - плоскость, проходящая через место наблюдателя перпендикулярно отвесной линии

**Истинный меридиан наблюдателя** - географический меридиан, проходящий через место наблюдателя

**Колюр равноденствий** - круг широты, проходящий через равноденственные точки (точку Овна и точку Весов)

**Колюр солнцестояний** - круг широты, проходящий через точки солнцестояний (точку Рака и точку Козерога)

**Круг освещения** - круг равных высот, разделяющий поверхность Земли на освещенную и неосвещенную одинаковые части

**Круг равных высот** - малый круг на поверхности Земли, в любой точке которого наблюденное светило имеет в данный конкретный момент времени одну и ту же высоту

**Кульминация светила** - точка пересечения параллели светила с меридианом наблюдателя

**Линия *EW*** - воображаемая линия, по которой плоскость 1-го вертикала пересекается с плоскостью истинного горизонта. Линия *EW* соответствует направлениям из места наблюдателя на восток (*E*) и на запад (*W*)

**Линия положения** - отрезок прямой линии, касательный к изолинии вблизи счислимого места судна

**Меридиональная высота светила** - высота светила, расположенного на полуденной части меридиана наблюдателя

**Меридиональное зенитное расстояние** - зенитное расстояние светила, расположенного на полуденной части меридиана наблюдателя

**Местное среднее время** - промежуток времени от момента нижней кульминации среднего Солнца на местном меридиане до данного момента, выраженный в средних солнечных единицах

**Мореходная астрономия** - часть практической астрономии, рассматривающая ориентировку по небесным светилам во времени, по месту и направлению при движении на

**Мореходные таблицы МТ-75, МТ-2000** - сборник различных таблиц, необходимых для решения навигационных и астрономических задач

**Морской астрономический ежегодник, альманах (МАЕ, МАА)** - периодически издаваемые сборники таблиц предварительно вычисленных координат небесных светил и некоторых других астрономических данных

**Навигационные звезды** - наиболее яркие звезды, которые используются при определении места судна

**Навигационные планеты** - планеты, хорошо доступные для их визуального наблюдения (Венера, Марс, Юпитер, Сатурн)

**Навигационные сумерки** - период суток от момента достижения центром Солнца снижения величины  $h' = -6^\circ$  до момента достижения центром Солнца снижения величины  $h' = -12^\circ$  (вечер), а также от момента достижения центром Солнца снижения величины  $h' = -12^\circ$  до момента достижения центром Солнца снижения величины  $h' = -6^\circ$  (утро), в который одновременно наблюдаются (при отсутствии облачности и при хорошей видимости) и линия горизонта, и навигационные звезды

**Надир** - точка пересечения отвесной линии и вспомогательной небесной сферы, диаметрально противоположная зениту

**Наклонение видимого горизонта** - угол между плоскостью истинного горизонта и направлением на видимый горизонт

**Не восходящее светило** - светило, параллель которого не достигает истинного горизонта наблюдателя даже в момент своей верхней кульминации и невидимо для наблюдателя, в течение всего времени

**Небесная параллель** - малый круг, параллельный небесному экватору. По небесным параллелям в суточном вращении вспомогательной небесной сферы движутся небесные светила

**Небесный меридиан** - большой круг небесной сферы, плоскость которого проходит через светило и ось Мира

**Небесный меридиан наблюдателя** - небесный меридиан, проходящий через полюсы Мира, его «зенит» и «надир»

**Небесный меридиан светила** - Небесный меридиан, проходящий через видимое место светила

**Небесный экватор** - плоскость, образованная пересечением мысленно продолженной плоскости экватора Земли с поверхностью вспомогательной небесной сферы

**Незаходящее светило** - светило, параллель которого целиком расположена выше горизонта наблюдателя

**Обсервованное место судна** - точка пересечения линий положения

**Ось Мира** - диаметр вспомогательной небесной сферы, совпадающий с осью вращения Земли

**Отвесная линия** - воображаемая линия, проходящая через центр Земли и место наблюдателя

**Параллакс** - угол, под которым со светила усматривается радиус Земли, отвечающий месту наблюдателя

**Параллактический (полярный) треугольник светила** - сферический треугольник, вершинами которого являются повышенный полюс Мира, зенит наблюдателя и место (его проекция на вспомогательную небесную сферу) светила, и который связывает небесные координаты – горизонтные и экваториальные – с географическими координатами наблюдателя

**Первая экваториальная система сферических координат светил** - система сферических координат светил, ориентированная в пространстве относительно оси Мира, в которой за основу берутся:

плоскость небесного меридиана наблюдателя (меридиан наблюдателя);

плоскость небесного экватора (небесный экватор)

**Перенос высотной линии положения** - расстояние от счислимого места до круга равных высот, соответствующего истинной высоте светила

**Плоскость 1-го вертикала** - вертикальная плоскость перпендикулярная и плоскости истинного горизонта наблюдателя, и плоскости истинного меридиана наблюдателя

**Плоскость земного экватора** – плоскость, проходящая через центр Земли перпендикулярно земной оси

**Повышенный полюс Мира** -полюс Мира, находящийся над истинным горизонтом наблюдателя

**Полуденная линия** - воображаемая линия  $NS$ , по которой плоскость истинного горизонта пересекается с плоскостью истинного меридиана наблюдателя. Полуденная линия соответствует направлениям из места наблюдателя на север ( $N$ ) и юг ( $S$ )

**Полюс Мира** - точка пересечения оси Мира со вспомогательной небесной сферой

**Полюс освещения** - проекция видимого места светила на земную поверхность

**Полярное расстояние** - дуга меридиана от северного полюса Мира до места светила, или угол между осью Мира и направлением на светило. Полярные расстояния отсчитываются в пределах от  $0^\circ$  до  $180^\circ$  от северного полюса мира к южному

**Пониженный полюс Мира** - полюс Мира, находящийся под истинным горизонтом наблюдателя

**Поправка индекса навигационного секстана** - алгебраическая разность между нулем шкалы и отсчетом при совмещении прямовидимого и дважды отраженного изображений одного и того же светила (отдаленного предмета)

**Поправка секстана** - суммарное значение поправки индекса секстана и его инструментальной поправки

**Пояс Зодиака** - пояс созвездий, через которые проходит видимый годовой путь Солнца

**Поясное время** - местное среднее время осевого меридиана часового пояса, распространенное на территории всего пояса

**Практический часовой угол светила** - часовой угол светила, который всегда меньше или равен  $180^\circ$  и измеряется дугой небесного экватора от полуденной части меридиана наблюдателя (начального) до меридиана светила в сторону запада (*W*) или востока (*E*) в пределах от  $0^\circ$  до  $180^\circ$

**Прецессия земной оси** - перемещение земной оси в пространстве под влиянием гравитационного воздействия Луны, и Солнца. Плоскость эклиптики своего положения не изменяет. Изменяется лишь плоскость экватора

**Противостояние планеты** - положение планеты в точке, когда Земля находится между планетой и Солнцем

**Прямое восхождение светила** - двугранный угол при центре сферы между плоскостью небесного меридиана точки Овна и плоскостью небесного меридиана светила, который измеряется дугой небесного экватора от небесного меридиана точки Овна до небесного меридиана светила в пределах от  $0^\circ$  до  $360^\circ$  в сторону, обратную счету обыкновенных (вестовых) часовых углов (в сторону фактического вращения Земли вокруг своей оси)

**Прямые навигационные параметры** - непосредственно измеренные навигационные параметры

**Равноточные измерения** - измерения, произведенные одним и тем же, одинаковым по точности инструментом (прибором), одним и тем же приемом, одним и тем же наблюдателем и в одинаковых условиях

**Светлое время суток** - промежуток времени от видимого восхода Солнца до видимого его захода

**Секстан навигационный** - ручной оптический прибор, предназначенный для измерения:

высот светил над видимым морским горизонтом;

горизонтальных углов между двумя ориентирами с целью определения места;

вертикального угла ориентира

**Склонение светила** - двугранный угол при центре небесной сферы между плоскостью небесного экватора и направлением на светило, который измеряется дугой меридиана светила от небесного экватора до видимого места светила в пределах от  $0^\circ$  до  $90^\circ$

**Сличение** - разность одновременных показаний хронометра (часов), поправка которого (которых) известна, и рабочих часов, поправку которых требуется определить

**Снижение светила** - отрицательная высота светила, находящегося под горизонтом

**Созвездия** - условные группы звезд, выделенные для облегчения изучения звездного неба

**Среднее солнечное время** - число средних часов, минут и секунд, протекших от начала средних суток до данного физического момента

**Среднее Солнце** - фиктивная точка, движущаяся по небесному экватору (а не по эклиптике) с постоянной скоростью

**Средние солнечные сутки** - интервал времени между двумя последовательными нижними кульминациями среднего Солнца на одном и том же местном меридиане

**Судовое время** - поясное время того часового пояса, по которому установлены морские часы на судне

**Сумерки** - период суток, в течение которого поверхность Земли освещается солнечным светом, рассеянным и отраженным верхними слоями атмосферы

**Сутки** - природный период вращения Земли вокруг своей оси

**Суточный ход хронометра** - величина изменения поправки хронометра ровно за одни сутки

**Таблицы высот и азимутов светил** - предварительно рассчитанные таблицы для определения горизонтных координат светил

**Точка весеннего равноденствия** - точка, в которой Солнце, в результате своего годового движения, переходит из южного полушария небесной сферы в северное

**Точка зимнего солнцестояния** - точка эклиптики, отстоящая от точек равноденствия на  $90^\circ$  в южном полушарии

**Точка летнего солнцестояния** - точка эклиптики, отстоящая от точек равноденствия на  $90^\circ$  в северном полушарии

**Точка Овна** - точка пересечения небесного экватора и эклиптики

**Точка осеннего равноденствия** - точка, в которой Солнце, в результате своего годового движения, переходит из северного полушария небесной сферы в южное

**Тропик Козерога** - крайняя южная параллель, описываемая Солнцем при годовом движении

**Тропик Рака** - крайняя северная параллель, описываемая Солнцем при годовом движении

**Тропический год** - промежуток времени между двумя последовательными прохождением среднего Солнца точки Овна

**Часовой угол светила** - сферический угол при повышенном полюсе Мира между полуденной частью небесного меридиана наблюдателя (принятого за начальный) и меридианом светила. Измеряется дугой небесного экватора от полуденной части меридиана наблюдателя в сторону запада  $W$  до меридиана светила в пределах от  $0^\circ$  до  $360^\circ$

**Широта светила** - двугранный угол при центре сферы между плоскостью эклиптики и направлением на светило

**Эклиптика** - проекция на небесную сферу годового пути Солнца

**Эклиптическая система координат светил** - система координат светил, ориентированная в пространстве относительно оси эклиптики

**Элонгация планеты** - положение планеты в точках, в которых она имеет наибольшее угловое отстояние от Солнца

**Эфемериды** - таблицы предвычисленных небесных координат Солнца, Луны, планет и других астрономических объектов на последовательные моменты времени

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**