

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«КЕРЧЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МОРСКОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра судовождения и промышленного  
рыболовства

Новоселов Дмитрий Альбертович

**Мореходная астрономия**

**Опорные конспекты к курсу лекций**

для курса лекций «Мореходная астрономия» для курсантов очной и  
заочной формы обучения специальности 26.05.05 «Судовождение»

Керчь, 2016 г.

## **Введение**

# Небесная сфера. Горизонтная система координат

**Небесная сфера** - вспомогательная сфера произвольного радиуса, к центру которой параллельно перенесены основные линии и плоскости наблюдателя и Земли, а также направления на светила

## Основное направление

**Вертикаль** или **отвесная линия**  $z-n$  совпадает направлением силы тяжести  
**Зенит**  $Z$ , **надир**  $n$  получаются при пересечении вертикали с небесной сферой

## Основные круги

**Истинный горизонт** – большой круг на небесной сфере перпендикулярный отвесной линии, проходит через точки NESW

**Меридиан наблюдателя** – проекция земного меридиана наблюдателя на небесную сферу. Проходит через точки  $z, n, N, S$

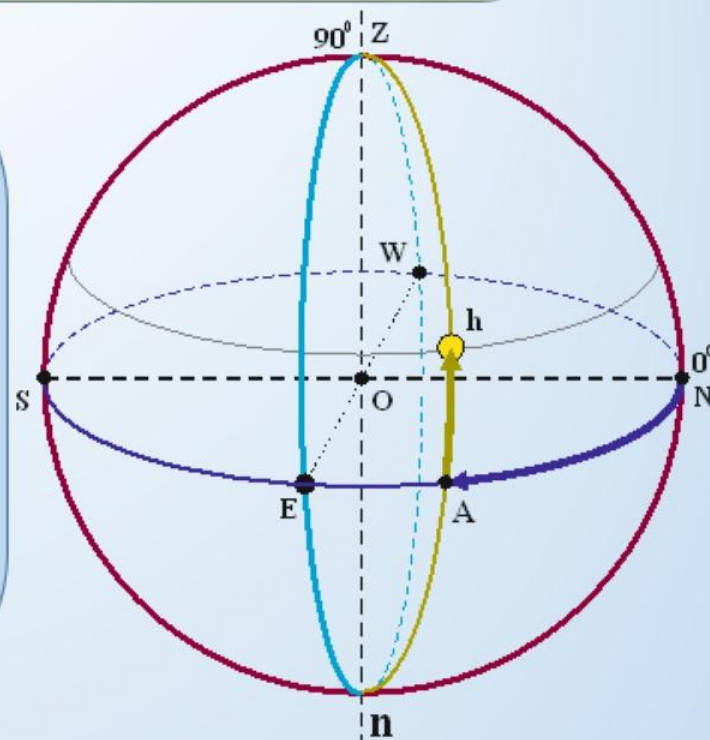
## Координатная сетка

**Вертикалы** – большие круги проходящие через точки  $z$  и  $n$ . Меридиан наблюдателя является также и вертикалом;

**Альмукантараты** – круги на небесной сфере перпендикулярные отвесной линии, то есть параллельные истинному горизонту

## Горизонтная система

Привязана к наблюдателю, является неподвижной относительно наблюдателя и перемещается вместе с ним



## Координаты

**Высота светила  $h$**  – дуга вертикала светила от истинного горизонта до места светила, измеряется от  $0^\circ$  до  $\pm 90^\circ$ , если высота меньше  $0^\circ$  она называется снижением –  $h$ .

**Зенитное расстояние  $z$**  – дуга вертикала от зенита до места светила ( $0^\circ-180^\circ$ ).  $z = 90^\circ - h$

**Азимут  $A$**  – дуга истинного горизонта от меридиана наблюдателя до вертикала светила

### Основное направление

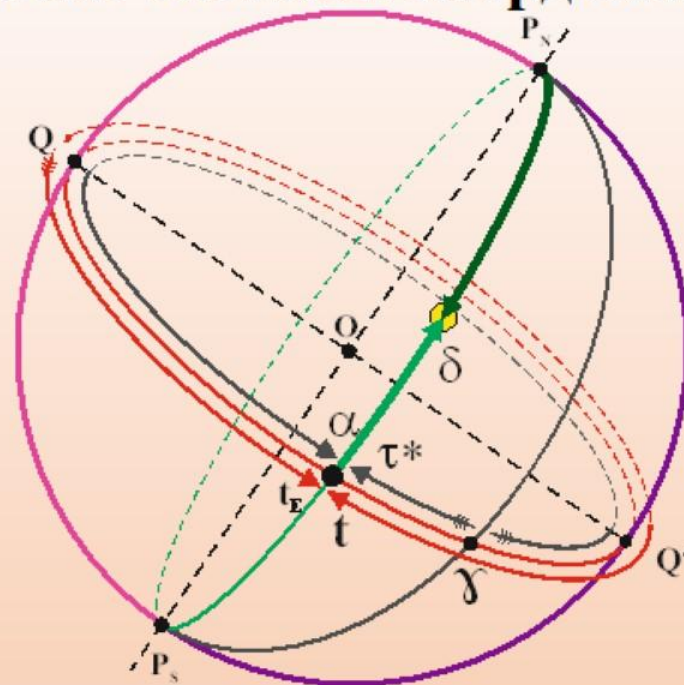
**Ось мира** - линия параллельная земной оси проходящая через центр небесной сферы. Точки пересечения оси мира с небесной сферой - полюса мира  $P_N$  северный и  $P_S$  южный

### Основные круги

**Экватор** – большой круг перпендикулярный оси мира, проходит через точки  $QO^stQ'W$

**Меридиан наблюдателя** **Полуденная часть**  
**Полуночная часть**

**Координатная сетка:** *параллели и меридианы*



### Координаты

**Склонение  $\delta$**  светила – дуга меридиана светила от небесного экватора до места светила. Считается  $0^\circ-90^\circ$  в сторону N или S.

**Полярное расстояние,  $\Delta=90^\circ-\delta$**  измеряется  $0^\circ-180^\circ$  от N в сторону S

#### 1 экваториальная

**Часовой угол  $t$**  – дуга экватора от полуденной части меридиана наблюдателя ( $t.Q$ ) до меридиана светила считаемая в сторону W. В таком счёте угол называют востовым и наименование не приписывают. В полукруговом счёте  $0^\circ-180^\circ$  в сторону к W или  $O^{st}$  (E)

#### 2 экваториальная

**Прямое восхождение  $\alpha$**  – дуга экватора от т. Овна до меридиана светила, считаемая  $0^\circ-360^\circ$  в сторону обратную востовым часовым углом.

**Звёздное дополнение  $\tau^*$**  - дуга экватора от т. Овна до меридиана светила считаемая  $0^\circ-360^\circ$  в сторону востовых часовых углов.

$$\tau^*=360-\alpha$$

# Параллактический треугольник

(полярный, астрономический)

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t$$

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

Азимут в полукруговом счёте, при часовых углах близких к  $90^\circ$  точность снижается

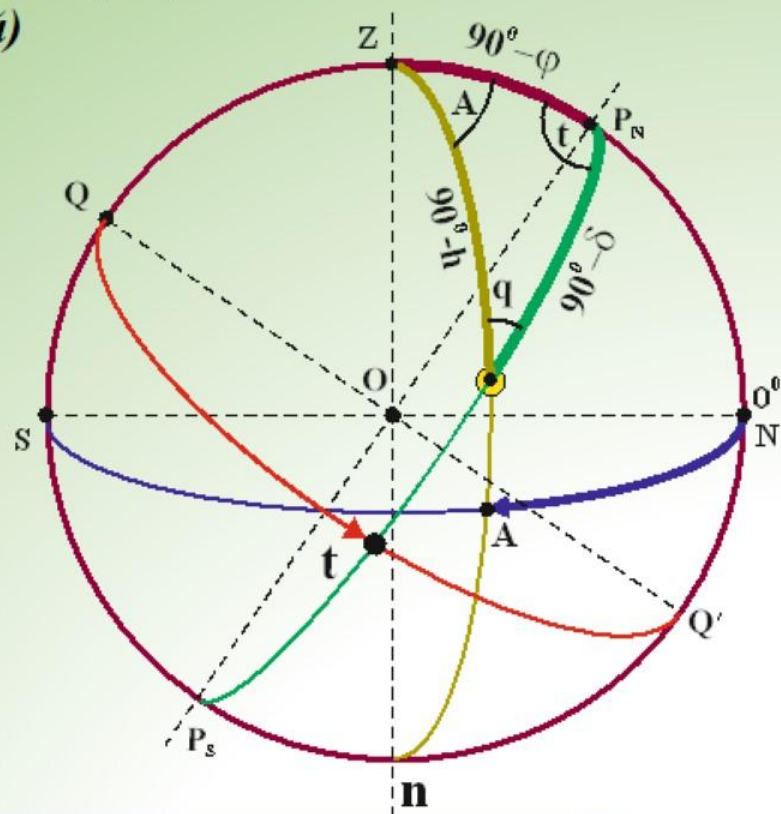
При расчётах азимута  $A$ :

- $\varphi$  и  $t$  при расчётах берутся положительными,
- $\delta$  берётся:
  - «+» если  $\delta$  одноимённо с широтой  $\varphi$
  - «-» если  $\delta$  разноимённо с широтой  $\varphi$
- результат вычислений:
  - положительный - оставляем без изменений
  - отрицательный - добавляем  $180^\circ$
- первая буква наименования  $A$  одноимённа с широтой  $\varphi$ , вторая с часовым углом  $t$

Для расчёта  $A$ , можно использовать теорему синусов

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

Формула для азимута зависима от  $h$  и включает в себя все ошибки вычислений. Азимут получается в четвертном счёте.



## Стороны:

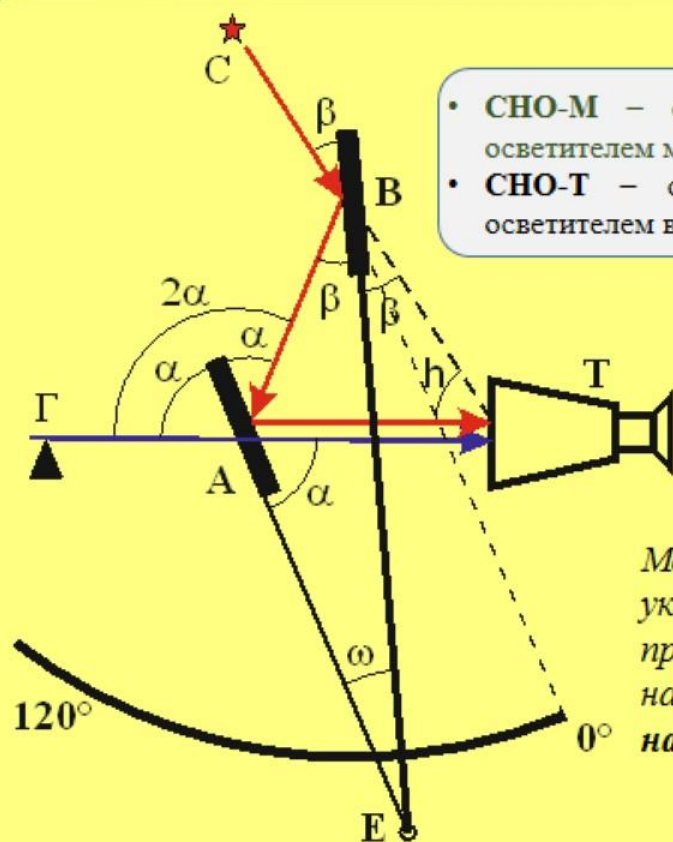
- $ZP_N$  – дополнение широты до  $90^\circ$  ( $90^\circ - \varphi$ )
- $P_N Z$  – дополнение склонения до  $90^\circ$  ( $90^\circ - \delta$ )
- $ZC$  – дополнение высоты до  $90^\circ$  ( $90^\circ - h$ )

## Углы:

- при зените  $Z$  – азимуту  $A$  в полукруговом счёте;
- при полюсе  $P$  – местному часовому углу  $t$
- при светиле  $C$  – параллактический угол  $q$

# Устройство навигационного секстана

**Навигационный секстан** – угломерный прибор отражательного типа, предназначенный для измерения вертикальных и горизонтальных углов «с руки»



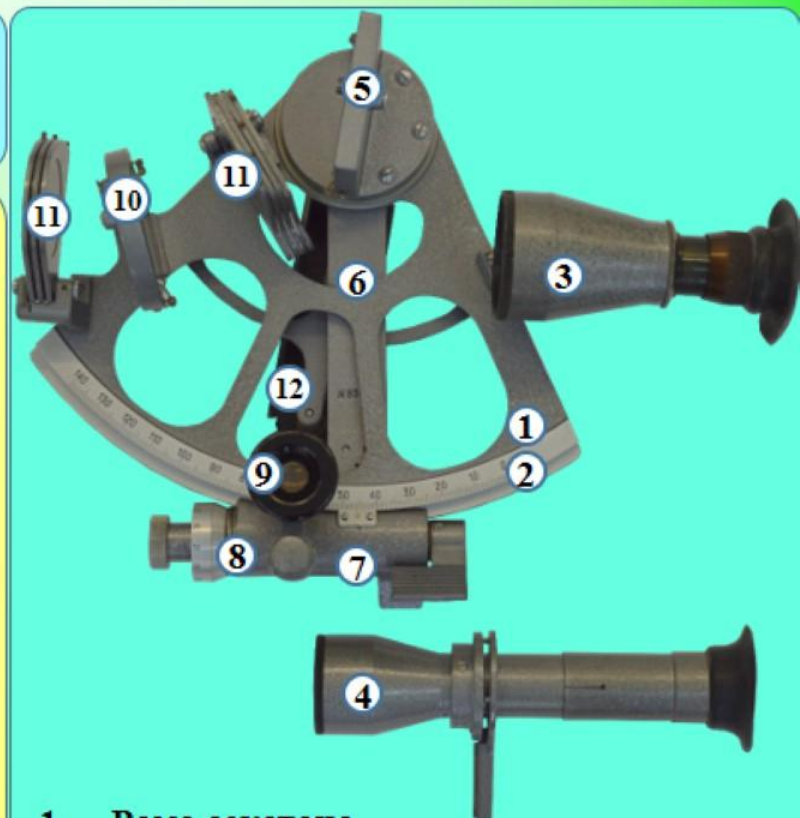
- СНО-М – секстан навигационный с осветителем модернизированный;
- СНО-Т – секстан навигационный с осветителем в тропическом исполнении;

*Место на лимбе, куда указывает индекс алидады при параллельных зеркалах, называется местом нуля на лимбе*

*Поворачивая подвижное зеркало В добьёмся совмещения изображений прямовидимого горизонта Г и дважды отражённого светила С*

Как легко заметить из построения  $h = 2\omega$

На лимбе секстана указаны удвоенные значения угла между зеркалами, т.е. значения измеряемых углов



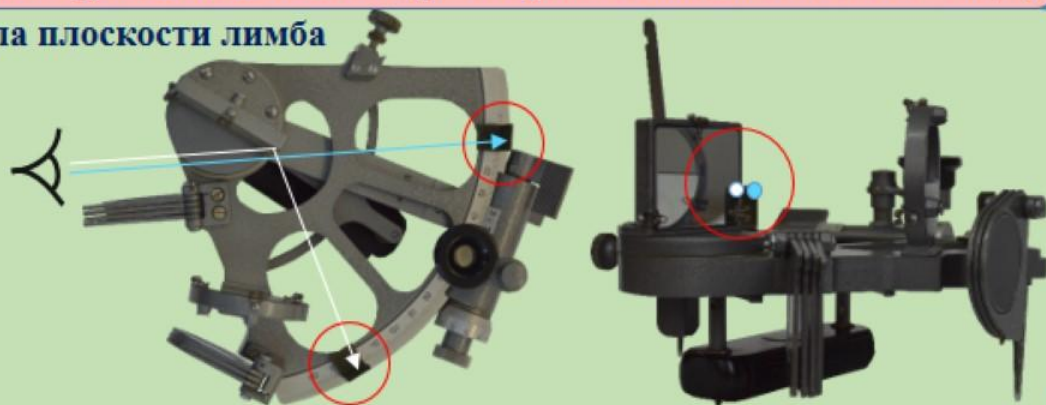
1. Рама секстана
2. Лимб со шкалой
3. Оптическая труба Галилея
4. Астрономическая труба
5. Большое зеркало
6. Алидада
7. Отсчётное устройство
8. Барабан
9. Лупа с осветителем
10. Малое зеркало (полупрозрачное)
11. Светофильтры
12. Ручка

# Основные выверки секстана

1. Проверка параллельности оптической оси астрономической трубы плоскости лимба (рассматривается в полном конспекте лекций)

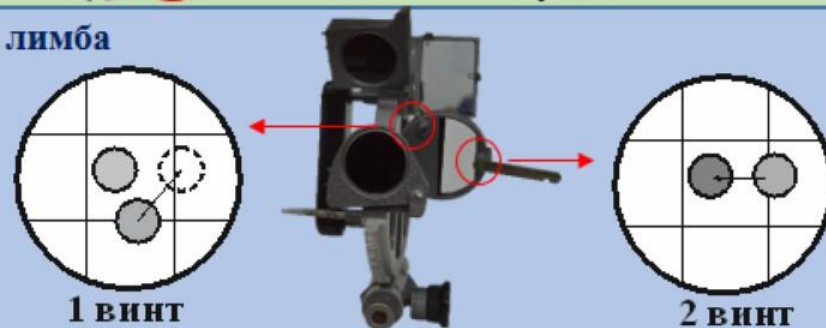
## 2. Проверка перпендикулярности большого зеркала плоскости лимба

Отсчётное устройство устанавливаем на  $40^\circ$ , секстан ставим горизонтально, большим зеркалом в пол-оборота к себе. На лимбе в начале и в конце шкалы, ставим диоптры так, что бы было прямо видно первый и в большом зеркале было видно отражение другого. Регулировочным винтом зеркала, совмещаем диоптры на один уровень



## 3. Проверка перпендикулярности малого зеркала плоскости лимба

Отсчётное устройство устанавливаем на  $00^\circ 00'$ . Через оптическую трубу смотрим на удалённый предмет. Если изображение двоится, то первым регулировочным винтом, выводим оба изображения на одну горизонталь, затем вторым винтом совмещаем в одно

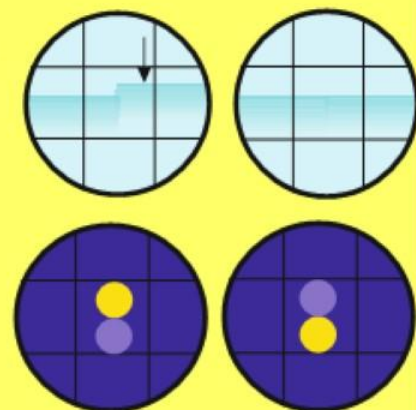


## 4. Проверка параллельности зеркал (определение поправки индекса)

1) По видимому горизонту, по звезде, по удалённому предмету. Отсчётное устройство на  $00^\circ 00'$ . Смотрим на горизонт, одним движением барабана совмещаем изображения, снимаем отсчёт  $oi$ , повторяем 3-4 раза, усредняем, рассчитываем поправку  $i = 360^\circ - oi$

2) По Солнцу. На оба зеркала ставим плотные светофильтры, смотрим на Солнце, совмещаем нижний край прямовидимого изображения с верхним краем дважды отражённого, снимаем отсчёт  $oi_1$ . Меняем местами изображения, снимаем отсчёт  $oi_2$ . Рассчитываем поправку

$$i = 360^\circ - \frac{oi_1 + oi_2}{2}$$



Проводим контроль правильности наблюдений  $4R' = oi_1 - oi_2$ ,

выбираем  $R$  из таблицы, находим  $4R$  сравниваем с измеренным, разница должна быть меньше  $0,5'$

5. Определение мертвого хода тангенциального винта (рассматриваются в полном конспекте лекций)

6. Проверка призматичности светофильтров

# Исправление высот светил

**Исправлением высоты**, называется переход от полученного по секстану отсчёта (ОС), к истинной высоте

$$h = \text{ОС} + (i + s) - \Delta h_d - \Delta h_p + \Delta h_t + \Delta h_B \pm (\Delta h_R) \quad (i+s) \text{ сумма поправки индекса секстана } i \text{ и инструментальной поправки секстана } s$$

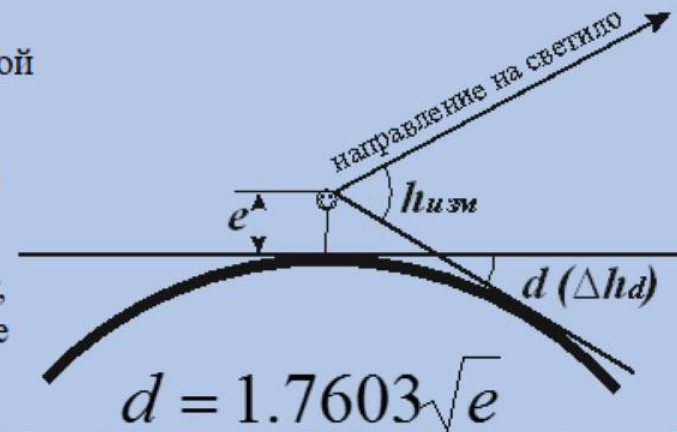
## Поправка за наклонение видимого горизонта $\Delta h_d$

Вертикальный угол между плоскостью истинного горизонта и касательной к видимому горизонту, называется *наклонением видимого горизонта*

Помимо этого из-за неодинаковой плотности атмосферы в приземном слое лучи несколько преломляются (*земная рефракция*)

Наклонение горизонта измеряется **Наклономером**, если он отсутствует, то приближённо с учётом земной рефракции рассчитывается по формуле

Приводится в таблицах ТВА (1а), МАЕ, МТ-2000. **Всегда вычитается**



## Поправка за рефракцию $\Delta h_p$

Возникает из-за преломления светового луча в атмосфере

Приводится в таблицах ТВА (2), МАЕ, МТ-2000, для давления 760 мм.рт.ст и температуры  $10^\circ$ . **Всегда вычитается**

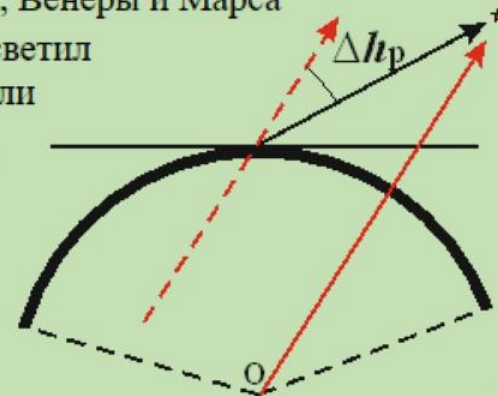


## Поправка за параллакс $\Delta h_p$

Заметна для Луны, Солнца, Венеры и Марса

В МАЕ даны координаты светил приведенные к центру Земли

Измерения же приводятся с поверхности Земли



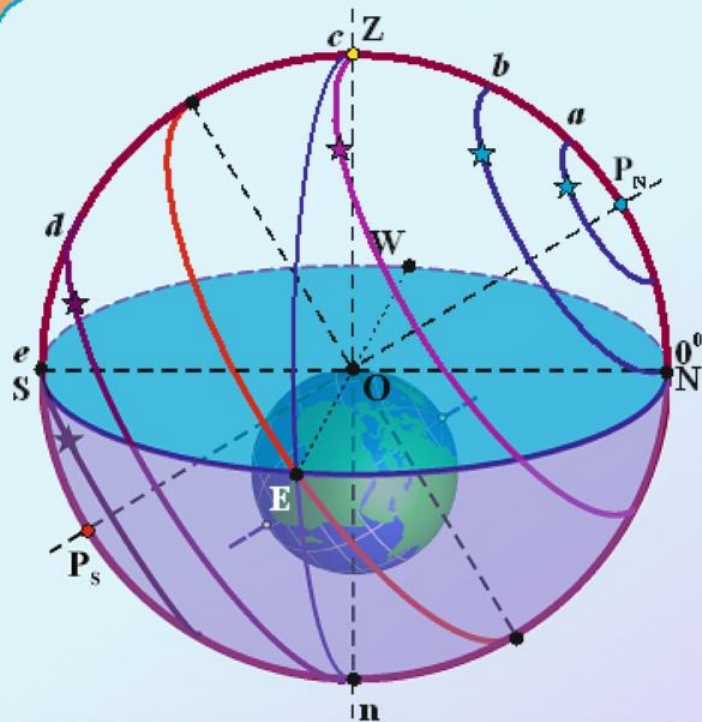
## Поправки за температуру $\Delta h_t$ и давление $\Delta h_B$

Дополнительно к поправке за рефракцию в отдельных таблицах

## Поправка высоты Солнца за полудиаметр $\Delta h_R$

Возникает из-за того, что измеряем край Солнца, а считаем для центра. Нижний край «+», верхний край «-»





Если  $\delta = \varphi$  и одноименны, светило проходит через **Зенит**

Движение совершается от востока к западу

На Меридиане наблюдателя:

**Наибольшая высота - верхняя кульминация**

**Наименьшая высота - нижняя кульминация**

### Незаходящие светила

$$|\delta| \geq 90^\circ - \varphi \quad (\delta \text{ и } \varphi \text{ одноимённые})$$

Описывают окружность с центром в полюсе, в видимой (надгоризонтной) части небесной сферы. На экваторе незаходящих светил нет, на полюсах, все светила незаходящие.

$|\delta| = 90^\circ - \varphi$ , то светило только касается горизонта

### Невосходящие светила

$$|\delta| \geq 90^\circ - \varphi \quad (\delta \text{ и } \varphi \text{ разноимённые})$$

$|\delta| = 90^\circ - \varphi$ , то светило не восходит, а касается горизонта

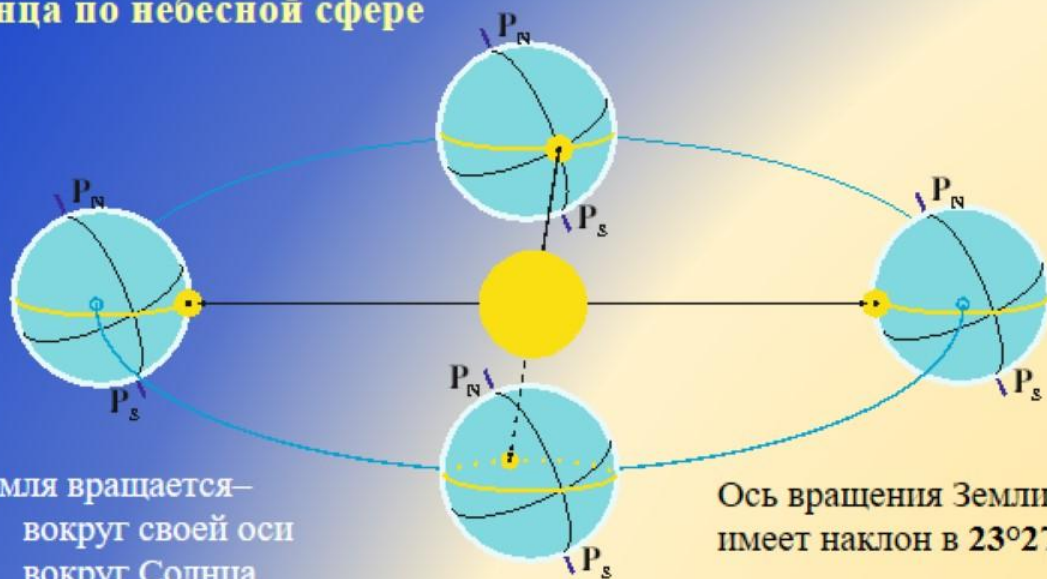
**Восход и заход светил** происходит при условии

$$|\delta| < 90^\circ - \varphi$$

- если  $\delta$  и  $\varphi$  **одноименны**, то **большая** часть параллели светила располагается в **надгоризонтной** части небесной сферы
- если  $\delta$  и  $\varphi$  **разноименны**, то **меньшая** часть параллели светила располагается в **надгоризонтной** части небесной сферы
- при склонении  $\delta = 0^\circ$  светило движется **по экватору** и **надгоризонтная** часть его суточного пути будет **равна подгоризонтной**

**Эклиптика** - видимый путь годового движения Солнца по небесной сфере

Полный оборот по эклиптике 1 год, т.е.  $365\frac{1}{4}$  суток

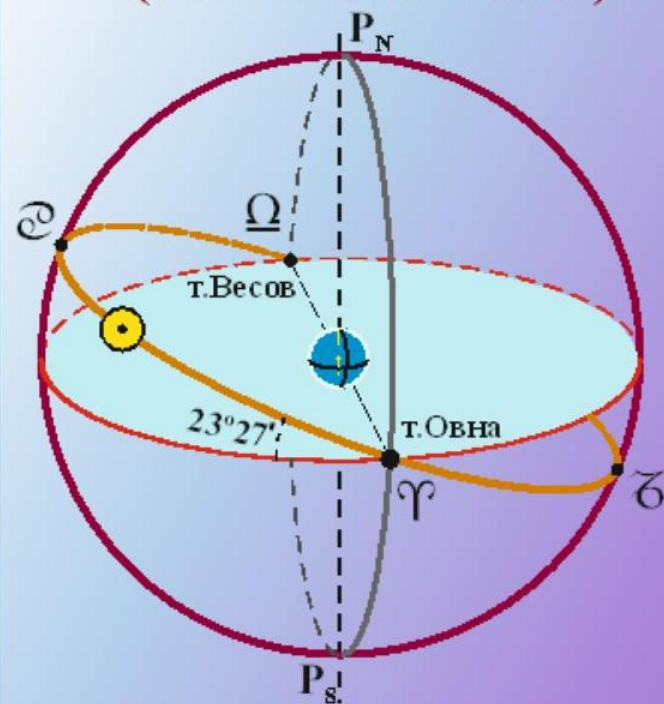


Земля вращается—

- вокруг своей оси
- вокруг Солнца

Ось вращения Земли имеет наклон в  $23^{\circ}27'$

**Видимое вращение Солнца (относительно Земли)**



Ежедневное перемещение Солнца по эклиптике составляет  $\Delta\alpha \approx 1^{\circ}$

Изменение склонения Солнца в течении года

$\Delta\delta_{\odot} = \pm 0,4^{\circ}$  в сутки — 1-й месяц до и 1-й месяц после равноденствия

$\Delta\delta_{\odot} = \pm 0,3^{\circ}$  в сутки — 2-й месяц до и 2-й месяц после равноденствия

$\Delta\delta_{\odot} = \pm 0,1^{\circ}$  в сутки — 1-й месяц до и 1-й месяц после солнцестояний

Дата	точка эклиптики	$\alpha_{\odot}$	$\delta_{\odot}$
<b>21 марта</b>	весеннего равноденствия (точка Овна) Восход E, Заход W, день и ночь равны	$0^{\circ}$	$0^{\circ}$
<b>22 июня</b>	летнего солнцестояния В северном полушарии высота максимальна	$90^{\circ}$	$23,5^{\circ}N$
<b>23 сентября</b>	осеннего равноденствия (точка Весов) Восход E, Заход W, день и ночь равны	$180^{\circ}$	$0^{\circ}$
<b>22 декабря</b>	зимнего солнцестояния В северном полушарии высота минимальна	$270^{\circ}$	$23,5^{\circ}S$

# Освещённость земной поверхности



## Истинный восход (заход)

Солнца – когда центр приходит на истинный горизонт

## Кульминация

Высшая точка траектории, Солнце находится в меридиане, местный полдень (определяется широта)

## День

Видимый восход (заход) Солнца – когда верхний край касается видимого горизонта. Определяется поправка компаса

Восход

Заход

Гражданские

Гражданские

Навигационные

Навигационные

Астрономические

Астрономические

## Ночь

Возможно определение поправки компаса методом моментов

6°  
12°  
18°

6°  
12°  
18°

При заходе Солнца порядок сумерек следующий:

- **Гражданские сумерки** – Солнце находится от  $0^\circ$  до  $-6^\circ$  под горизонтом. К концу сумерек становятся видны наиболее яркие звезды и планеты.
- **Навигационные сумерки** – центр Солнца находится между  $-6^\circ$  и  $-12^\circ$ . В это время ещё виден горизонт и почти все навигационные звёзды. К концу сумерек горизонт становится плохо видимым. Производится ОМС по одновременным наблюдениям светил
- **Астрономические сумерки** – центр Солнца находится между  $-12^\circ$  и  $-18^\circ$ . К концу сумерек наступает полная ночь, и появляются все видимые звёзды

При восходе Солнца порядок противоположный

# Фазы и возраст Луны

**Фаза Луны** – отношение площади освещённой части к общей площади диска Луны (от 0 до 1)

Фазы новолуния (0) и полнолуния (1) - **сизигии**

max

Влияют на приливы

min

Фазы первой (0,5) и последней (0,5) четверти - **квадратуры**



Новолуние

Полнолуние



Последняя четверть

Первая четверть

## Фазы Луны

Возраст	Фаза
29 00 01	– Новолуние
06 07 08	– Первая четверть
14 15 16	– Полнолуние
21 22 23	– Последняя четверть

**Возраст Луны** – количество суток и их долей от новолуния до данной фазы Луны

**Полная смена фаз Луны** – синодический месяц (29,5 ≈ 30 дней), одна четверть ≈ 7,5 суток

Местное время верхней кульминации

$$T_K = V_L * 0,8 \text{ ч} + 12 \text{ ч}$$

**Возраст Луны** (приблизённо)

$$V_L = D + N_0 + L$$

D – дата

N<sub>0</sub> – номер месяца

L – лунное число

Если V<sub>L</sub> > 30 отнимаем 30

## Лунные числа 2016 - 2020

2016	2017	2018	2019	2020
19	0	11	22	3

Лунное число ежегодно увеличивается на 11, если L > 30, отнимаем 30

Местное время Восхода и Захода

$$T_B = T_K - 6 \text{ ч}$$

$$T_3 = T_K + 6 \text{ ч}$$



*Единицей измерения времени* может быть принята величина, *периодически повторяющаяся и совершенно одинаковой длительности* при этом удобная для применения в повседневной жизни.

- вращение Земли вокруг своей оси;
- обращение Земли вокруг Солнца;
- собственные колебания атомов вещества;

**эпоха (эра)** – начальный момент системы летоисчисления.

В настоящее время принято христианское летоисчисление ведущее счёт от рождества Христова. Нулевого года нет.

**Тропический год** - период движения среднего Солнца, за который его долгота увеличивается на  $360^\circ$ , считается от точки весеннего равноденствия. Именно этот период определяет смену времён года. Средняя продолжительность тропического года с 1 января 2000 года составляет 365,2421897 дней или 365 дней 5 часов 48 минут 45,19 секунды

**Сидерический год**— период орбитального движения Земли вокруг Солнца в инерциальной системе отсчёта (относительно «неподвижных звёзд») 365,2564 дня

**Календарь** – система счета длительных промежутков времени, определяющая счет прошедших лет и количество прошедших дней в текущем году

- **Юлианский календарь («старый стиль»)**, введен с середины I века до н.э. При Юлии Цезаре, автор египетский астроном Созигенон. 3 года по 365 дней, а 4-й 366 (високосный), отклонение в одни сутки накапливалось за 128 лет;
- **Григорианский календарь («новый стиль»)**, введен в 1582 г. реформой папы Григория XIII (четверг 4.10.1582 г. стали считать следующий день пятницей 15.10.1582 г). **Последние годы столетий не високосные**, кроме тех, у которых число столетий делится на 4 без остатка (**2000, 2400 - високосные**). Отклонение в одни сутки накапливается за 3280 лет. В СССР введен Декретом Совета Народных Комиссаров от 25 января 1918, 1 февраля 1918 г. предписано считать 14 февраля 1918 г. До 2100 г. разница будет составлять 13 суток, а с 2100 г. – 14 суток

**Високосные годы** устраняют несовпадение точного числа суток с длительностью года

**Юлианская дата (JD)** — астрономический способ измерения времени, при котором считается число дней, прошедших начиная с полудня 1 января 4713 до н.э. юлианского календаря. Первый день имел номер 0. На настоящее время прошло около 2,5 миллионов дней. Смена даты в полдень UT.

*Звёздным временем  $S$*  называется промежуток времени от момента верхней кульминации точки Овна  $\Upsilon$  до данного момента выраженный в звёздных единицах

**Звёздные сутки** - промежуток времени между двумя последовательными одноимёнными кульминациями точки Овна  $\Upsilon$  на одном и том же меридиане. За начало звёздных суток принимается момент верхней кульминации.

Звездное время даты не имеет, так как применяется для измерения небольших интервалов времени

В повседневной жизни пользоваться звездным временем неудобно, так как начало звездных суток ежедневно наступает на  $\sim 4$  мин. раньше, по причине перемещения Солнца по эклиптике примерно на  $1^\circ$  в сутки навстречу своему видимому движению.

*Основная формула звёздного времени связывающая координаты светил со временем*

$$S = t + \alpha; \text{ для звёзд } t^* = S + \tau^*$$

*звездное местное время ( $S_M$ ) равно западному (вестовому) часовому углу любого светила «плюс» прямое восхождение того же светила*

*Звёздный час* - 1/24 части звёздных суток;

*Звёздная минута* - 1/60 части звёздного часа;

*Звёздная секунда* - 1/60 части звёздной минуты

Время может выражаться в градусной мере

$$1^{\text{ч}} = 15^\circ$$

*Звёздное и гражданское время, связаны соотношением*

$$S = T \pm 12^{\text{ч}} + \alpha_{\oplus}$$

или

$$S = S_0 + T + \mu T$$

$S_0$  – звёздное время на начальный известный момент времени  $T_0$

$\mu$  — переводной коэффициент, равный 0,00 27 379

Видимое движение Солнца неравномерно из-за эллиптической орбиты Земли

**Солнечные (истинные) сутки** – промежуток времени между двумя последовательными кульминациями центра видимого диска Солнца (**истинное Солнце**  $\odot$ ) на одном и том же меридиане

**Истинное солнечное время  $T_{\odot}$**  - промежуток времени, протекший от нижней кульминации Солнца до данного момента

Уравнение времени  $\eta$  связывает истинное и среднее солнечное время. (Указывается в ET MAE)

$$\eta = t_{\oplus} - t_{\odot} = \alpha_{\oplus} - \alpha_{\odot}$$

Если среднее Солнце впереди истинного, то  $\eta$  имеет знак «+», если позади, то «—»

Для получения времени  $T$ , пользуемся соотношением

$$T = t_{\odot} + \eta + 12ч$$

Соотношение удобно, когда можно с необходимой точностью получить часовой угол Солнца, к примеру при прохождении Солнцем меридиана

**Среднее Солнце ( $\oplus$ )** - фиктивная точка небесной сферы, движущуюся строго равномерно, сутки ровно 24 часа

**Средние сутки** - промежуток времени между двумя последовательными одноимёнными кульминациями *среднего Солнца* на одном и том же меридиане

**Средним или гражданским временем  $T$**  называется *промежуток времени от момента нижней кульминации среднего Солнца до данного момента*, выражается в средних часах, минутах и секундах с **календарной датой**

**1 час** - 1/24 части средних солнечных суток;

**1 минута** - 1/60 части часа;

**1 секунда** - 1/60 части минуты

Солнечное время $T_{(\odot \text{ и } \oplus)}$ , совпадает с местным часовым углом Солнца	<b>1 час = 15°</b>
$t_{\text{м}(\odot \text{ и } \oplus)} + 12$ , выраженным в часовой мере $T = t_{\text{м}} + 12ч$	<b>1 мин = 15'</b>
	<b>1 сек = 15''</b>

**Во всех формулах, время  $T$  и углы ( $t$ ,  $\alpha$ ) должны выражаться в одной мере, градусной или часовой**

# Системы счёта времени

**Астрономический**  
(основной)

**Местное время** –  
время, считаемое от  
данного меридиана

**Местное время** определяется прохождением Солнца,  
через меридиан наблюдателя (**кульминация**)

**Истинное Солнце**  $\odot$  – истинное местное время  
**Среднее Солнце**  $\oplus$  – среднее **Местное время**  $T_M$

**Гражданский**

**Местное время**  
(стандартное время) –  
время часовой зоны, в  
которой расположена  
соответствующая  
территория

*К востоку время старше*

**Гринвичское время (GMT)  $T_{гр}$**  –  
Среднее **Местное время** меридиана Гринвича

$$T_M = T_{гр} \pm \lambda^{\text{час}} \begin{pmatrix} +O^{st} \\ -W \end{pmatrix}$$

**Поясное время** Принято в 1884 г.

**24 часовых пояса по  $15^\circ$  ( $1^{\text{ч}}$ ) долготы**

*На территории всего пояса устанавливается  
одинаковое время по осевому меридиану*

$$T_{\text{п}} = T_{\text{гр}} \pm N \begin{pmatrix} +O^{st} \\ -W \end{pmatrix}$$

номер пояса

$$N = \frac{\lambda}{15^\circ}$$

округляется

**Летнее время** – на час больше поясного

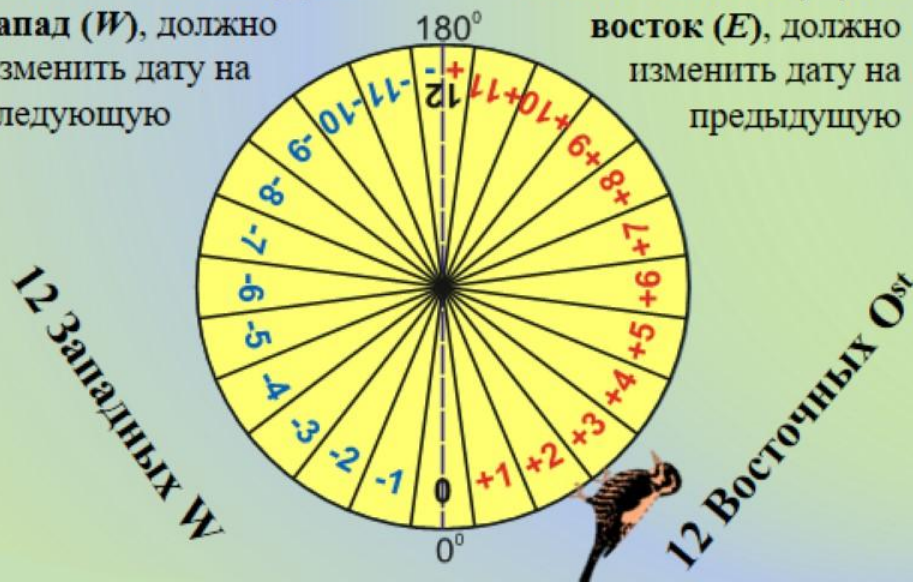
**Судовое время  $T_C$**  – *поясное время*  
часового пояса, по которому выставлены  
судовые часы (точность до 1 мин)

**UTC Всемирное время**  
(уточнённое GMT, атомный стандарт)

**Линия смены дат** – демаркационная линия –  
проходит по меридиану  $180^\circ$ , огибая при этом  
Чукотский полуостров, Алеутские острова и  
некоторые острова Тихого океана

Судно пересекающее эту  
линию с востока (**E**) на  
запад (**W**), должно  
изменить дату на  
следующую

Судно пересекающее эту  
линию с запада (**W**) на  
восток (**E**), должно  
изменить дату на  
предыдущую





**Судовая служба времени обеспечивает:**

- хранение точного времени на судне;
- распространение его по объектам;
- получение точного времени на любой момент;
- выполнение различных расчетов, связанных со временем

**Точность судовых часов:**

- в штурманской рубке и машинном отделении до 0,5м
- радиорубке с точностью до 6с
- в других помещениях до 1м.

## Хранение судового времени осуществляется Хронометром

**Хронометр** — механические либо кварцевые часы с особо точным ходом

В 1731 - 1734 г. изобрёл английский часовщик Гаррисон



**Особенности:**

- изменение механического момента по мере раскручивания заводной пружины
- термокомпенсация с помощью биметаллических изгибающихся элементов

Хронометр должен обеспечивать получение  $T_{xp}$  с точностью до  $1^c$ .

Отличие его показаний  $T_{xp}$  от гринвичского времени  $T_{zp}$

называется *поправкой хронометра*  $U_{xp} = T_{zp} - T_{xp}$

*Суточный ход хронометра*  $\omega$  это величина изменения поправки хронометра за одни сутки

$$\omega = \frac{U_{xp2} - U_{xp1}}{\Delta T^{сут}} \quad U_{xp} = U'_{xp} + \omega \Delta T^{сут}$$

$U'_{xp}$  — точно известная на какой-либо момент времени (полученная по сигналам точного времени) поправка хронометра;

$\Delta T^{сут}$  — промежуток времени, прошедший с того момента, выраженный в сутках и их долях с точностью до  $0,01^д$

МАЕ -это сборник таблиц предварительно вычисленных координат небесных светил, а также некоторых других астрономических данных.

Главное назначение МАЕ -определение экваториальных координат небесных светил на любой момент времени.

Дополнительно с помощью МАЕ можно решать следующие задачи:

- определять азимут Полярной звезды;
- исправить измеренную высоту светила для получения ее истинного значения;
- рассчитать естественную освещенность, время кульминаций Луны и Солнца;
- рассчитать обсервованную широту по измеренной высоте Полярной звезды.

### **Основные части МАЕ**

**Ежедневные таблицы (ЕТ)** даны гринвичские часовые углы точки Овна, гринвичские часовые углы и склонения Солнца, Венеры, Марса, Юпитера, Сатурна (левая страница) и Луны (правая страница); приведены моменты местного времени ( $T_M$ ) для восхода (захода) Солнца и Луны, начала и конца *гражданских* и *навигационных сумерек* (правая страница).

**Звезды. Видимые места** (с. 270÷275). В этой таблице на первое число каждого месяца текущего года, даны значения звездного дополнения ( $\tau^*=360^\circ-\alpha^*$ ) и значения склонения ( $\delta$ ) 160 навигационных звезд

**Азимут Полярной** (с. 276). В этой таблице по приближенному значению широты места наблюдателя и значению местного часового угла точки Овна даны значения азимута Полярной звезды в полукруговом счете

**Широта по высоте Полярной** (с. 277÷280).

**В приложениях дана дополнительная информация**

**Основные интерполяционные таблицы (ОИТ)** предназначены для нахождения поправок часовых углов и склонений на промежуточные моменты гринвичского времени  $T_{ГР}$  (минуты и секунды) для точки Овна, Луны, Солнца и планет.

# Звёздный глобус. Устройство

1. Футляр
2. горизонтальное кольцо (азимутальный круг), при установке глобуса в ящик, изображает из себя *истинный горизонт*, в зависимости от конструкции глобуса, оцифрован в круговой или *четвертной системе счёта азимута*
3. крестовина вертикалов с подвижным *индексом вертикала* для установки высоты светила. Индекс перемещается по шкале вертикала с делениями через  $1^\circ$ . С помощью крестовины вертикалов на глобусе воспроизводятся горизонтные координаты  $h$  и  $A$
4. кольцо меридиана наблюдателя, на котором нанесена в зависимости от конструкции шкала широт или склонений с делениями через  $1^\circ$  и оцифровкой через  $10^\circ$ . Кольцо меридиана вставляется в прорези кольца истинного горизонта у точек  $N$  и  $S$ , и представляет теперь *меридиан наблюдателя*

На Звёздный глобус нанесены:

- места 170 навигационных звёзд
- небесный экватор со шкалами - сверху градусной шкалой прямого восхождения  $\alpha$  (звёздного времени  $S_m$ ), снизу через  $15^m$  с оцифровкой через  $1^q$  Начало – отсчёта т.Овна (в этой точке эклиптика пересекает экватор) – обозначена цифрой XXIV ( $360^\circ$ )
- Параллели – нанесены через  $10^\circ$
- Меридианы – нанесены через  $15^\circ$  ( $1^q$ ). Меридианы равноденствий и солнцестояний выделены двойной линией
- Эклиптика – линия, представляющая собой, годовую траекторию движения Солнца по небесной сфере
- Через полюса проходит ось, на концах которой укреплен *подвижный меридиан*.

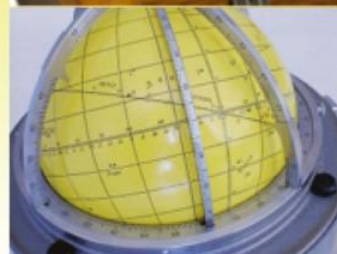
У нас применяются две модели звездного глобуса: старая модель ЗГ (на эпоху 1968 г.) и модернизированная ЗГ —ОМ1.1 (на эпоху 1990 г.). Отличия:

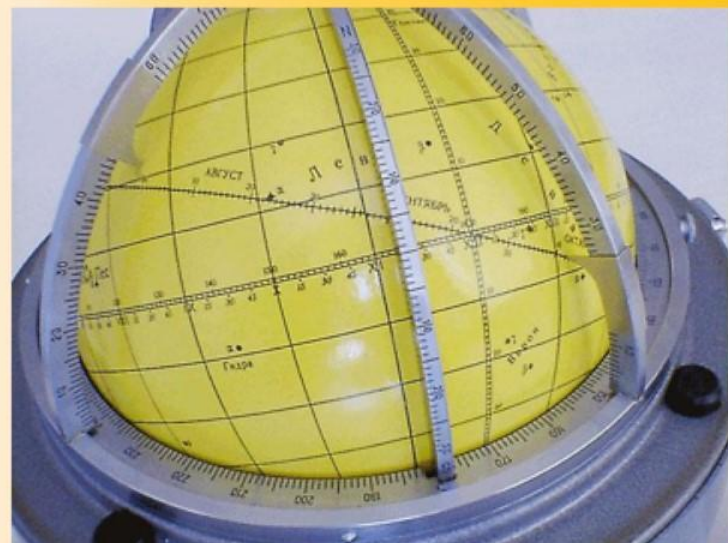
Азимутальное кольцо

- в старой конструкции дано в четвертной системе
- в новой – круговая система

Подвижный меридиан

- в старой конструкции оцифрован от  $0^\circ$  на экваторе, до  $90^\circ$  на полюсах. Склонение  $\delta$  берётся непосредственно со шкалы. **Для выставления широты берём  $90^\circ - \varphi$**
- В новой конструкции, оцифрован от  $90^\circ$  на экваторе, до  $0^\circ$  на полюсах. Склонение  $\delta$  находится как дополнение до  $90^\circ$ . **Для выставления широты берём значение  $\varphi$**





### Задачи решаемые на ЗГ:

- определение названия неопознанной звезды или планеты
- определение положения светила в заданное время, подбор светил на заданный момент наблюдений.
- определение времени прихода светил в заданное положение.

### Установка глобуса по широте $\varphi$ и звёздному времени $S_m$ ( $t_m^{\mathcal{V}}$ )

- Выставляем широту места - наклоняем полюс, соответствующий широте над одноимённой частью горизонта на величину  $\varphi$  ( $90^\circ - \varphi$ )
- Выставляем местное звёздное время  $S_m$  (часовой угол точки Овна  $t_m^{\mathcal{V}}$ ) на глобусе, для чего вращая глобус в меридиональном кольце, по верхнему срезу этого кольца выставляем величину звёздного времени  $S_m$  на шкале экватора

### • Определение названия неопознанного светила

1. После измерения высоты светила замечают его пеленг по компасу
2. Устанавливаем глобус по широте и звёздному времени.
3. Устанавливаем дугу крестовины вертикала с индексом по измеренному пеленгу. Устанавливаем индекс по высоте.
4. Снимаем наименование звезды под индексом. Если под индексом звезды нет, но есть эклиптика, значит мы наблюдали планету. В этом случае порядок действий следующий:

- снимаем координаты полученной точки: прямое восхождение  $\alpha$  и склонение  $\delta$
- в ежедневных таблицах МАЕ на заданную дату, внизу колонок планет, ищем соответствующее снятому прямое восхождение, по соответствию определяем планету
- для уверенности проводим контроль, сравнивая склонения.

$$21.12.93 \quad \varphi_c = 35^\circ 15,0' \text{ON} \quad \text{ИП} = 52^\circ \\ T_c = 17^{\text{ч}} 25^{\text{м}} \quad \lambda_c = 009^\circ 41,6' \text{W} \quad h = 30^\circ$$

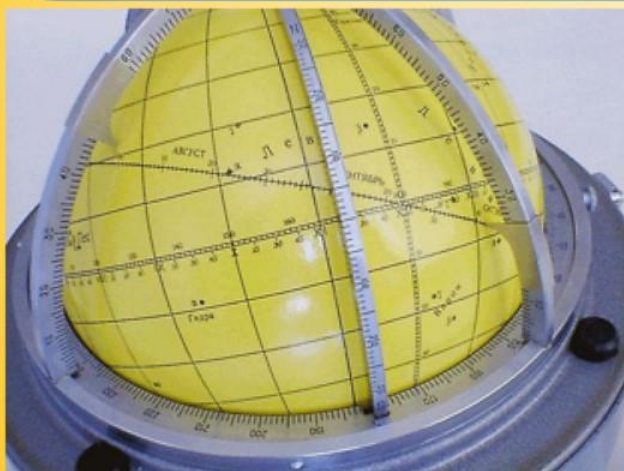
$T_c$	$17^{\text{ч}} 25^{\text{м}}$	21.дек	- Из условия
$N$	+1		- $N = \lambda/15 \begin{matrix} -E \\ +W \end{matrix}$
$T_{cp}$	$18^{\text{ч}} 25^{\text{м}}$	21.дек	- Сумма
$S_m$	$0^\circ 18,5'$		- Из МАЕ по часам
$\Delta S$	$6^\circ 16,0'$		- Осн. Инт. Табл.
$S_{cp}$	$6^\circ 34,5'$		- Сумма
$\lambda$	$-9^\circ 41,6'$	W	- $\lambda \begin{matrix} +E \\ -W \end{matrix}$
$S_m$	$356^\circ 52,9'$		- Результат

Снимаем наименование светила:

**$\alpha$  Возничего**

- **Подбор светил на момент наблюдений.**

1. Устанавливаем глобус по широте и звёздному времени
2. Подбираем светила:
  - по возможности с близкими высотами, высоты светил желательны в пределах  $15^\circ$  -  $65^\circ$ , оптимально  $30^\circ$  -  $50^\circ$ ;
  - для двух светил разность азимутов должна быть близкой к  $90^\circ$ , для трёх – близкой к  $120^\circ$ , для четырёх – близкой к  $90^\circ$ ; в последних двух случаях желательно, чтобы светила находились в разных частях горизонта.
3. При помощи крестовины вертикалов снимаем высоты и азимуты подобранных светил, азимуты при этом переводим в круговой счёт.



### Приблизжённое выставление глобуса на сумерки

1. Выставляем глобус по широте
2. Определяем приблизительное положение Солнца на эклиптике на заданную дату:
  - прикидываем ближайшую характерную точку движения Солнца
  - Отсчитываем от характерной точки количество дней до нашей даты считая, что в сутки Солнце проходит примерно  $1^\circ$
3. Полученную точку опускаем примерно на  $10^\circ$  под горизонт:
  - с восточной стороны, если утренние сумерки
  - с западной, если вечерние сумерки
4. Радуемся полученному результату

# Определение широты места судна

При прохождении Солнцем меридиана наблюдателя (момент кульминации) можно определить широту места судна

Для верхней кульминации

$$\varphi = Z \pm \delta$$

$$Z = 90^\circ - H$$

Зенитное расстояние

$H$  – меридиональная высота светила;

$\delta$  – склонение светила

Наименование  $Z$  противоположно наименованию  $H$

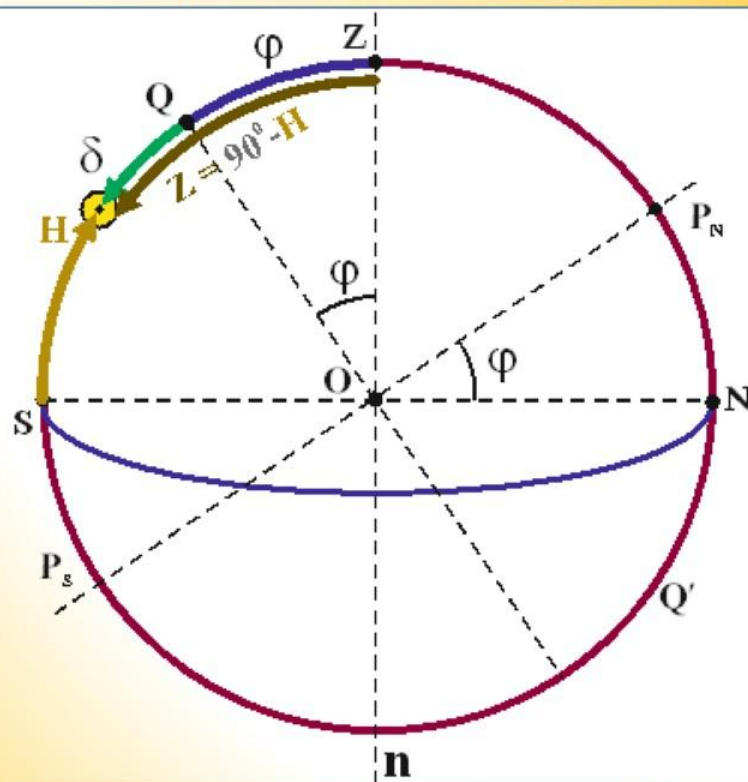
Наименование  $H$  определяется по части горизонта, в которой наблюдается светило

Для нижней кульминации

$$\varphi = H \pm \Delta$$

$$\Delta = 90^\circ - \delta$$

Полярное расстояние



- В период, перед прохождением Солнцем верхней кульминации, делаем ряд измерений высоты, пока она не начнёт убывать. Максимальную высоту принимаем за меридиональную (существуют разные способы измерения)
- Исправляем высоту поправками
- Рассчитываем  $Z$  (для верхней кульминации)
- Выбираем из МАЕ склонение Солнца  $\delta$
- Находим широту (одноимённые  $Z$  и  $\delta$  «+», разноимённые «-»)

## Достоинства

- простое и быстрое решение;
- при решении не нужно точно знать  $T_{ГР}$ ;

## Недостатки:

- возможность только одного измерения
- из-за движения судна и постоянного изменения склонения Солнца, измеренная наибольшая высота не являются меридиональной.

В классическом способе определения места судна, на момент верхней кульминации засекается время  $T_{ГР}$ , после чего по разности времени с Гринвичем, рассчитывается долгота

Вблизи Северного полюса мира, располагается  $\alpha$  Малой Медведицы, называемая Полярной.

Её склонение  $\delta \approx 89,3^\circ$

Полярная звезда описывает окружность вокруг Северного полюса мира радиусом несколько десятков минут



## Широта по высоте Полярной

Для определения широты используются таблицы МАЕ «Широта по высоте Полярной», разбитые на три части:

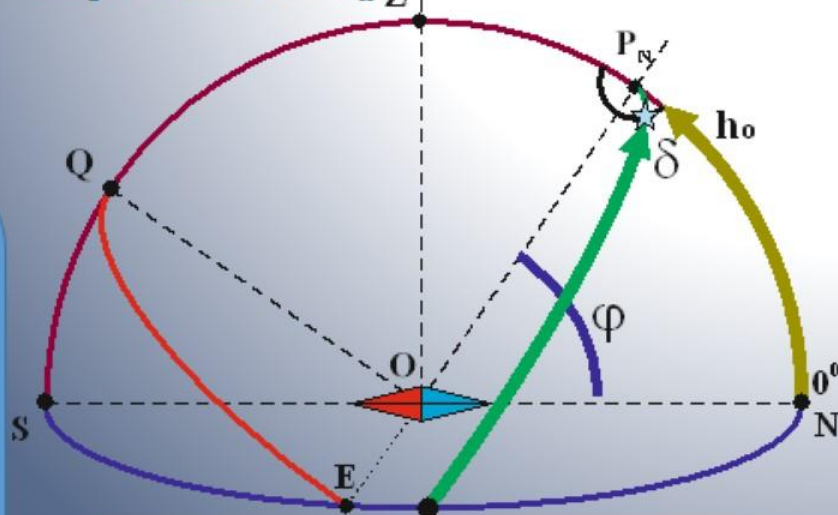
- Поправка I, входят по местному звёздному времени  $S_m(t_m)$
- Поправка II, входят по местному звёздному времени  $S_m(t_m)$  и высоте Полярной  $h$
- Поправка III, входят по местному звёздному времени  $S_m(t_m)$  и дате

Порядок действий:

- Измеряем высоту Полярной, исправляем поправками получаем истинное (приведенное)  $h_o$ .
- На время измерения рассчитываем местный часовой угол точки Овна  $t_m$  (звёздное время  $S_m$ )
- Из таблиц «Широта по высоте Полярной» выбираем поправки I, II, III
- по формуле  $\varphi = h_o + I + II + III$ , рассчитываем широту места судна

Применяться в северных широтах от  $5^\circ N$  до  $75^\circ N$

Измеренная высота Полярной даёт приближённое значение широты, а измеренный пеленг приближённое направление на  $N_{и} Z$



## Поправка компаса по Полярной

1. Наблюдаем серию пеленгов Полярной, замечаем время, рассчитываем средние значения
2. Рассчитываем звездное время  $S_m$  (местный часовой угол точки Овна  $t_m$ ).
3. По  $S_m$  и  $\varphi_c$  выбираем азимут из таблицы «Азимут Полярной», переводим в круговой счёт.
4. Рассчитывают поправку  $\Delta K = A_{п} - КП_{п}$

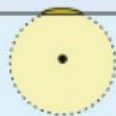
Применяться в N широтах от  $5^\circ N$  до  $35^\circ N$

# Поправка компаса по видимому Восходу (Заходу)

## Метод высот

Формально может использоваться для любого светила, в реальности удобнее всего для Солнца

$$h_{\odot} = -57.8'$$

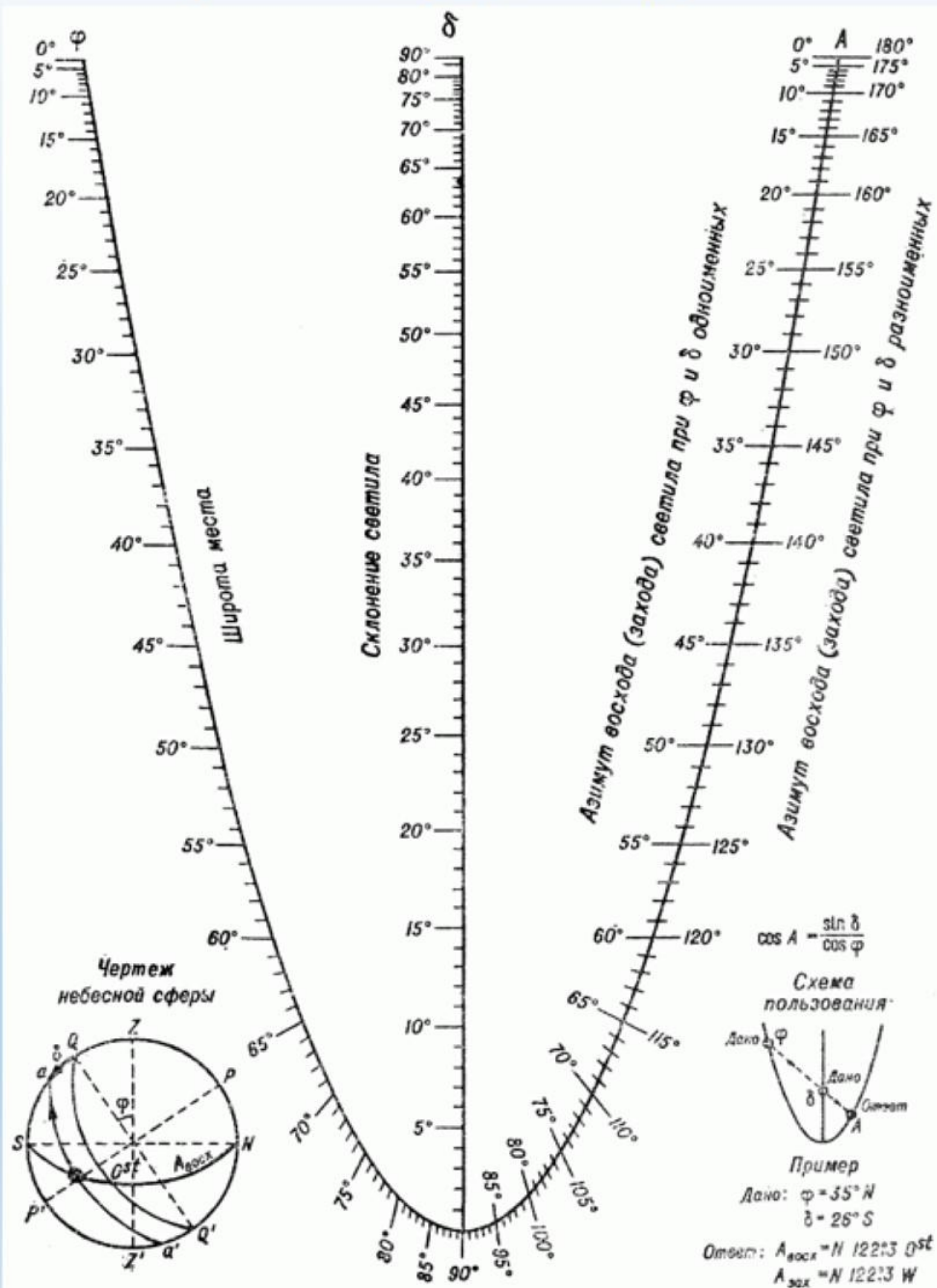


1. Снимаем компасный пеленг КП Солнца в момент касания верхним краем видимого горизонта, при этом замечаем судовое время  $T_c$ .
2. По судовому времени рассчитываем  $T_{ГР}$ .
3. На это время выбираем из МАЕ склонение Солнца  $\delta$ , минуты переводим в десятичный счёт и округляем до десятых
4. При помощи МАЕ, номограммы или таблиц МТ рассчитываем азимут
5. Рассчитываем поправку  $\Delta K = ИП_{СВ} - КП_{СВ}$

**Достоинство** - предельная простота расчетов.

### Недостатки:

- невысокая точность;
- велика вероятность случайных ошибок и промахов;
- ограниченная возможность в наблюдении





## Поправка компаса методом моментов

**Метод моментов** наиболее универсален, его можно применять в любое время суток, при наличии светил отвечающих определённым условиям. С другой стороны метод достаточно громоздкий по сравнению с другими, однако при использовании его совместно с ОМС этот недостаток устраняется

Если при пеленговании светила замечен момент времени и сняты с карты координаты  $\varphi$  и  $\lambda$ , то параллактический треугольник решается по формуле котангенсов

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

Азимут в полукруговом счёте, при часовых углах близких к  $90^\circ$  точность снижается

При расчётах азимута  $A$ :

- $\varphi$  и  $t$  при расчётах берутся положительными,
- $\delta$  берётся:
  - «+» если  $\delta$  одноимённо с широтой  $\varphi$
  - «-» если  $\delta$  разноимённо с широтой  $\varphi$
- результат вычислений:
  - положительный - оставляем без изменений
  - отрицательный - добавляем  $180^\circ$
- первая буква наименования  $A$  одноимённа с широтой  $\varphi$ , вторая с часовым углом  $t$

### • Порядок действий.

1. Наблюдаем серию минимум из трёх компасных пеленгов светила, замечаем момент по хронометру или часам. Рассчитываем средние значения  $KП_{ср}$  и  $T_{ХРср}$ .
2. Рассчитываем гринвичское время  $T_{ГР}$ .
3. При помощи МАЕ вычисляем местный часовой угол  $t_m$  и склонение  $\delta$  светила.
4. По таблицам ВАС-58, ТВА или формулам рассчитываем азимут светила, переводим его в круговой счет, т.е. получаем истинный пеленг  $ИП_{св}$ .

Вычисляем поправку компаса по формуле

$$\Delta K = ИП_{св} - KП_{св}$$

При определении поправки совместно с ОМС при измерении высоты одного из светил замечается его компасный пеленг. Азимут светила получается автоматически при расчёте элементов ВЛП

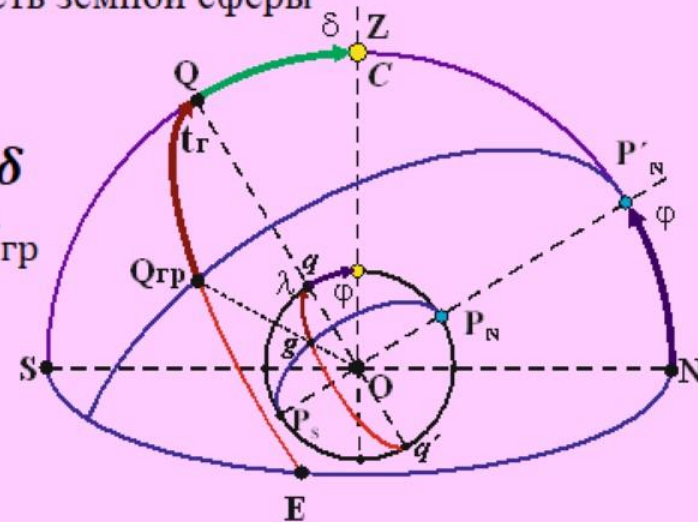
# Основы ОМС астрономическими способами

**Полюс освещения светила** – проекция светила на поверхность земной сферы

Из полюса освещения светило наблюдается в зените и в кульминации, то есть в меридиане наблюдателя, отсюда следует - географические координаты полюса освещения численно равны экваториальным координатам светила

$$\varphi = \delta$$

$$\lambda = t_{гр}$$



**Круг равных высот (КРВ)** - малый круг на поверхности Земли, в любой точке которого в данный момент времени светило имеет одну и ту же высоту, то есть КРВ, является изолинией высоты светила

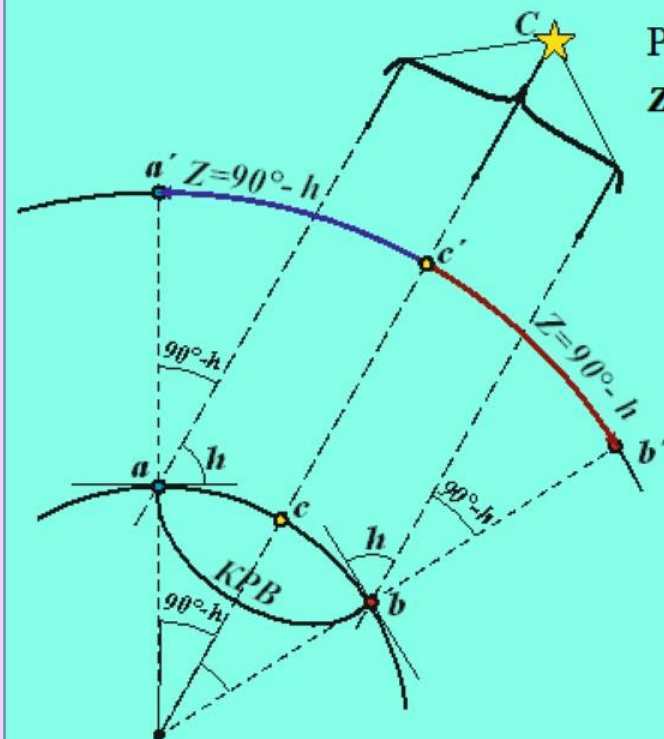
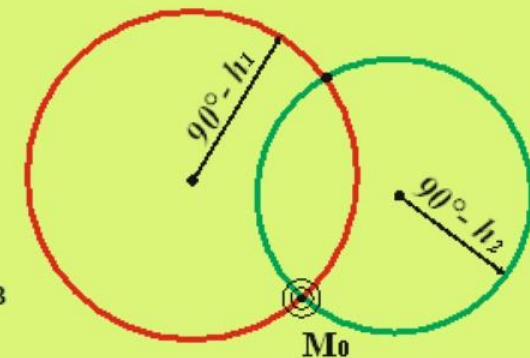
Радиус круга равных высот равен зенитному расстоянию светила  $z = 90^\circ - h$  Круг равных высот описывается уравнением

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t_M$$

Для определения места судна необходимо, как минимум две изолинии, для этого можно измерить высоты двух светил

Аналитически - решить уравнения кругов равных высот совместно

Графически - построить круги равных высот, точка их пересечения, ближайшая к численному месту и будет obserвованным местом. Недостаток в том, что радиусы кругов могут быть в несколько тысяч миль.



## ОМС методом ВЛП. Общие положения

Наблюдатель находится в точке  $M_0$  с координатами  $\varphi$  и  $\lambda$ , которые ему не известны. В этой точке он измеряет высоту  $h_0$  светила  $C$ . При этом известны числимые координаты  $\varphi_c$  и  $\lambda_c$  точки.

Из параллактического треугольника можно рассчитать числимые высоту  $h_c$  и азимут  $A_c$  светила:

$$\sin h_c = \sin \varphi_c \sin \delta + \cos \varphi_c \cos \delta \cos t$$

$$\sin A_c = \sin t \cos \delta \sec h_c$$

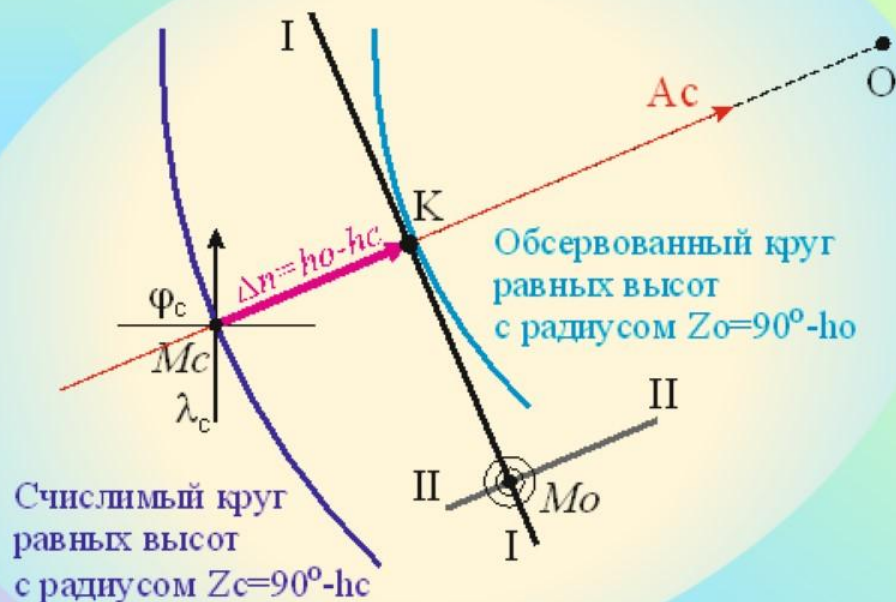
Эту высоту наблюдатель измерил, если бы находился в точке  $M_c$ . Через эту точку проходит **круг равных высот с радиусом  $Z_c = 90^\circ - h_c$**

**Перенос  $\Delta n = h - h_c$**

даст нам расстояние в милях между действительным и числимым кругами равных высот.

Проведя **азимут  $A_c$**  на светило и отложив на нём со своим знаком **перенос  $\Delta n$** , мы найдём **определяющую точку  $K$**  на **действительном круге равных высот**. Проведя через неё перпендикуляр, мы получим **Высотную Линию Положения (ВЛП)**

Измерив высоту другого светила и произведя аналогичные расчёты, мы получим вторую ВЛП. Пересечение обеих ВЛП даст нам **обсервованное место судна  $M_0$** .



Так как радиус круга равных высот, как правило, на несколько порядков больше расстояния между точками  $M_c$  и  $M_0$ , замена дуги на прямую линию практически не отразится на точности расчётов.

Аналитически место судна можно определить, рассчитав по поправки к координатам и прибавив их к числимым со своими знаками

$$\Delta \varphi = \frac{n_1 \sin A_2 - n_2 \sin A_1}{\sin(A_2 - A_1)}$$

$$\Delta \lambda = \frac{n_2 \cos A_1 - n_1 \cos A_2}{\sin(A_2 - A_1) \cos \varphi}$$



## Использование иностранных пособий

В настоящее время известны следующие астрономические ежегодники:

– Морской Астрономический Ежегодник (МАЕ) предназначен для нужд мореплавания, им снабжаются все суда морского флота РФ.

– Морской астрономический альманах (МАО), как и МАЕ предназначен для решения задач астронавигации, содержит практически ту же информацию что и МАЕ, за исключением данных о восходах и заходах Луны, которые существенно модифицированы. Издается с 2001г. (первый выпуск на 2002-2003гг.).

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)

– Brown's Nautical Almanac (издается частной компанией в Англии).

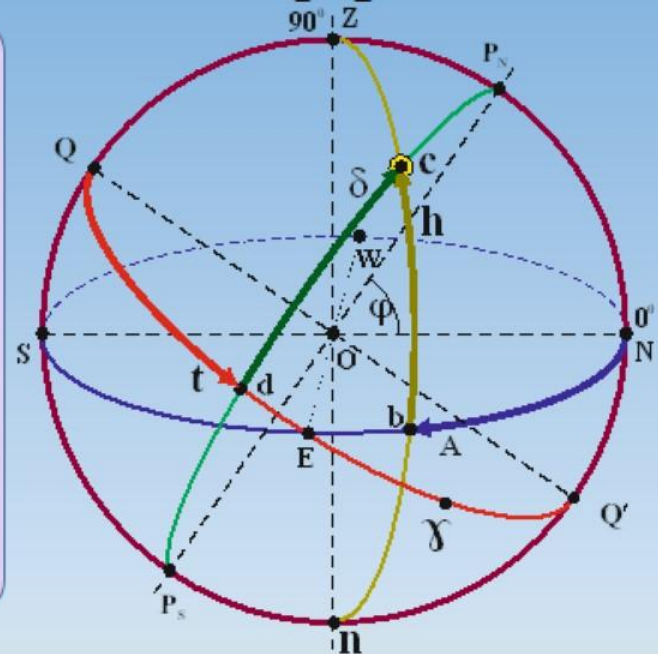
Все морские астрономические ежегодники отличаются между собой в основном общей формой устройства. Значения координат, приводимых в ежегодниках, могут незначительно отличаться между собой. Это зависит от принимаемых для их составления каталогов звезд.

# **Мореходная астрономия**

**Опорные конспекты к лабораторным работам и практическим занятиям**

для курса лекций «Мореходная астрономия» для курсантов очной и заочной формы обучения специальности 26.05.05 «Судовождение»

# Приближённое решение задач на небесной сфере



1. Рисуем окружность меридиана наблюдателя. Через центр проводим вертикаль  $z-n$
2. Перпендикулярно  $z-n$ , через центр проводим полуденную линию  $NS$
3. Если  $t$  и  $A$  западные, то точку  $N$  ставят слева, а  $S$  справа, если  $t$  и  $A$  восточные, то наоборот точку  $N$  ставят справа, а  $S$  слева
4. Под углом  $\varphi$  к полуденной линии проводим ось мира  $P_N P_S$ , если широта северная поднимаем точку  $P_N$  над точкой  $N$ , если южная над  $S$ .
5. Перпендикулярно оси мира проводим линию  $QQ'$ .
6. Между точками  $N$  и  $S$  проводим дугу истинного горизонта, между точками  $Q$  и  $Q'$  дугу небесного экватора
7. На пересечении небесного экватора и истинного горизонта наносим точки  $O^{st}$  и  $W$ . Точки  $O^{st}$  и  $W$  делят дуги  $NS$  и  $QQ'$  по  $90^\circ$ , несмотря на визуальное несоответствие

• Дано  $\delta$  и  $t$ , найти  $A$  и  $h$ .

7. По небесному экватору от точки  $Q$  откладываем  $t_{нк}$  в сторону своей части света, если  $t$  круговое, то в сторону  $W$ . Получаем т.  $d$ .
8. Через  $P_N, P_S$  и  $d$  проводим меридиан светила.
9. От точки  $d$  в сторону  $P_N$  или  $P_S$  в зависимости от наименования склонения откладываем на глаз величину  $\delta$  и получаем точку  $c$  - положение светила на небесной сфере.
10. Через т.  $z, n$  и светило проводим вертикал светила, в пересечение с истинным горизонтом даст точку  $b$ .
11. От точки  $b$  до светила вдоль вертикала светила снимаем высоту  $h$ .
12. Вдоль линии истинного горизонта снимаем  $A$  с наименованием

• Дано  $A$  и  $h$ , найти  $\delta$  и  $t$ .

7. Вдоль линии истинного горизонта наносим азимут светила в соответствии с наименованием. Получаем точку  $b$ .
8. Через точки  $z, n$  и  $b$  проводим вертикал светила.
9. От линии истинного горизонта из точки  $b$  вдоль вертикала светила наносим высоту  $h$  и получаем положение светила на небесной сфере.
10. Через  $P_N, P_S$  и светило проводим меридиан светила, в точке пересечения с экватором получаем т.  $d$ .
11. Вдоль небесного экватора от точки  $Q$  до точки  $d$  снимаем  $t$ .
12. От точки  $d$  в сторону светила снимаем величину  $\delta$  с наименованием

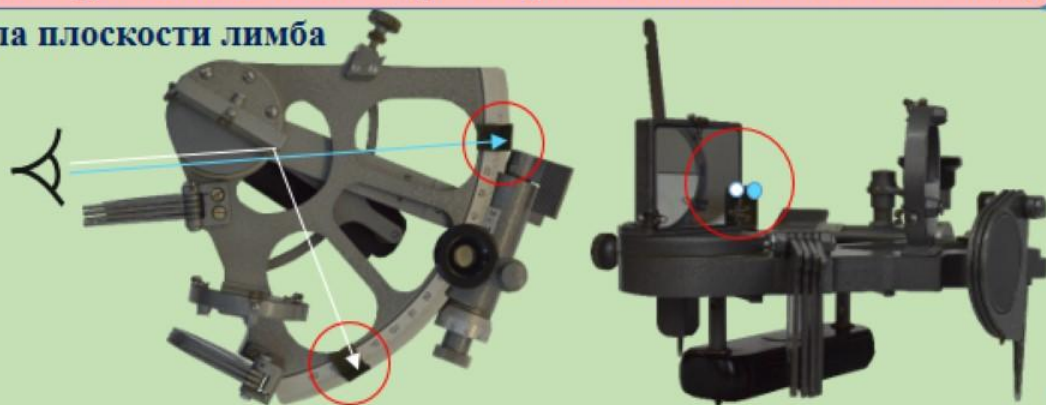
Дано  $h$  и  $t$ , найти  $\delta$  и  $A$  – рассматривается в конспекте лекций, остальные варианты на самостоятельное рассмотрение

# Основные выверки секстана

1. Проверка параллельности оптической оси астрономической трубы плоскости лимба (рассматривается в полном конспекте лекций)

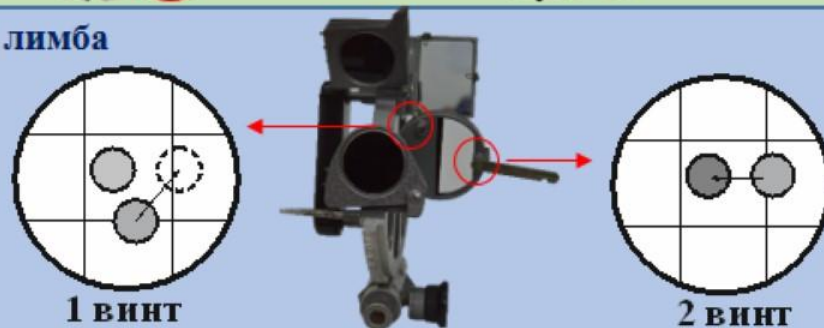
## 2. Проверка перпендикулярности большого зеркала плоскости лимба

Отсчётное устройство устанавливаем на  $40^\circ$ , секстан ставим горизонтально, большим зеркалом в пол-оборота к себе. На лимбе в начале и в конце шкалы, ставим диоптры так, что бы было прямо видно первый и в большом зеркале было видно отражение другого. Регулировочным винтом зеркала, совмещаем диоптры на один уровень



## 3. Проверка перпендикулярности малого зеркала плоскости лимба

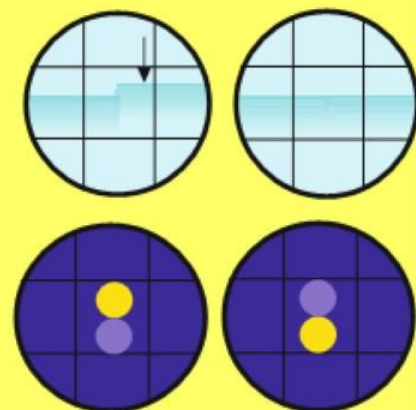
Отсчётное устройство устанавливаем на  $00^\circ 00'$ . Через оптическую трубу смотрим на удалённый предмет. Если изображение двоится, то первым регулировочным винтом, выводим оба изображения на одну горизонталь, затем вторым винтом совмещаем в одно



## 4. Проверка параллельности зеркал (определение поправки индекса)

1) По видимому горизонту, по звезде, по удалённому предмету. Отсчётное устройство на  $00^\circ 00'$ . Смотрим на горизонт, одним движением барабана совмещаем изображения, снимаем отсчёт  $oi$ , повторяем 3-4 раза, усредняем, рассчитываем поправку  $i = 360^\circ - oi$

2) По Солнцу. На оба зеркала ставим плотные светофильтры, смотрим на Солнце, совмещаем нижний край прямовидимого изображения с верхним краем дважды отражённого, снимаем отсчёт  $oi_1$ . Меняем местами изображения, снимаем отсчёт  $oi_2$ . Рассчитываем поправку 
$$i = 360^\circ - \frac{oi_1 + oi_2}{2}$$



Проводим контроль правильности наблюдений  $4R' = oi_1 - oi_2$ ,

выбираем  $R$  из таблицы, находим  $4R$  сравниваем с измеренным, разница должна быть меньше  $0,5'$

5. Определение мертвого хода тангенциального винта (рассматриваются в полном конспекте лекций)

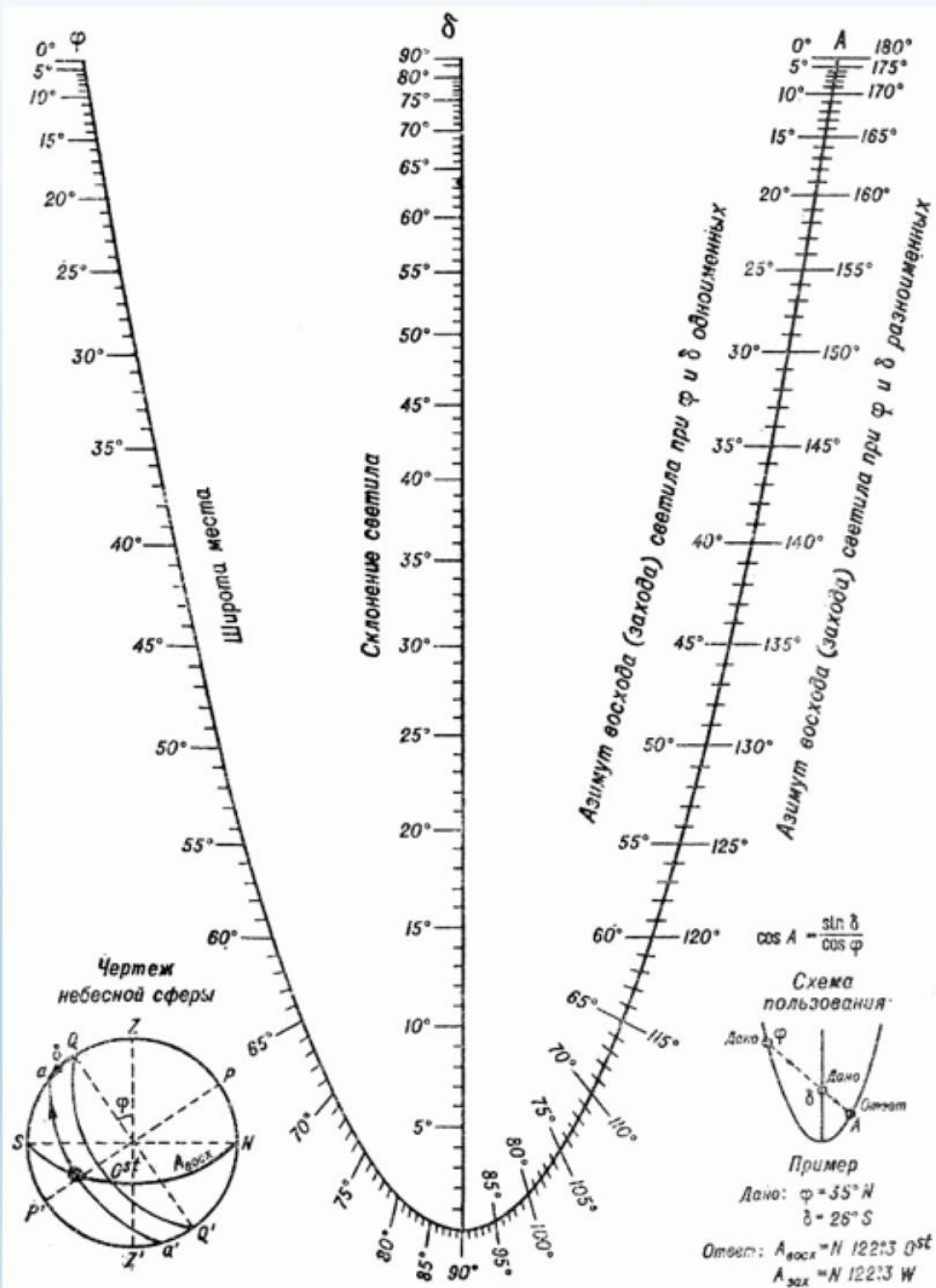
6. Проверка призматичности светофильтров



# Поправка компаса по видимому Восходу (Заходу)

## Метод высот

1. Снимаем компасный пеленг КП Солнца в момент касания верхним краем видимого горизонта, при этом замечаем судовое время  $T_c$ .
2. По судовому времени рассчитываем  $T_{ГР}$ .
3. На это время выбираем из МАЕ склонение Солнца  $\delta$ , минуты переводим в десятичный счёт и округляем до десятых
4. При помощи МАЕ, номограммы или таблиц МТ рассчитываем азимут
5. Рассчитываем поправку  $\Delta K = ИП_{СВ} - КП_{СВ}$



# МАЕ. Расчёт местного часового угла $t_M$ и склонения $\delta$ звезды

Дано: 24/06 1993

$\varphi_C = 07^\circ 07,7' N$

$T_{xp} = 00^h 17^m 37^s$

$T_c = 00^h 30^m$

$\lambda_C = 84^\circ 15,8' W$

$U_{xp} = +12^m 33^s \varepsilon$  Большой Медведицы

Действие	Пример	Пояснения
Рассчитываем приближённое $T_{грпр} = T_c \pm N_{-0^{st}}^+ W$ Номер пояса $N = \frac{\lambda}{15}$ , округляем до целого	$\varepsilon$ БМедведицы 1 линия Приб. $T_c$ $18^h 30^m$ $N_{-0^{st}}^+$ $+06$ Приб. $T_{гр}$ $00^h 30^m$ Дата $25/06$	$18^h 30^m 24/06 + 06^m = 00^h 30^m 25/06$ Результат больше 24 часов, следовательно дата увеличивается.
Рассчитываем точное $T_{гр} = T_{xp} + U_{xp}$ если по приб. $T_{гр}$ видно, что вторая половина дня, прибавляем 12ч	$T_{xp}$ $0^h 17^m 37^s$ $U_{xp}$ $+ 12^m 33^s$ <hr/> $T_{гр}$ $0^h 30^m 10^s$	По приб. $T_{гр}$ видим, что на Гринвиче первая половина дня. Следовательно, к точному $T_{гр}$ 12 <sup>ч</sup> не прибавляем.
Рассчитываем гринвичское звёздное время (гринвичский часовой угол т. Овна $t_{гр}$ ).	$t_{гр}$ $273^\circ 08,7'$ $\Delta_{1t}$ $7 33,7$ $\Delta_{2t}$ ----- $t_{гр}$ $280 42,4$	Ежедневные Табл. МАЕ. На гринвичскую дату по часам Основные Интерполяционные Таблицы (стр. 290) Для звёзд отсутствует Сумма
Рассчитываем местный часовой угол т. $\Upsilon$	$\lambda$ $- 84 15,8$ $t_M^Y$ $196 26,6$	Долгота из условия $+0^{st} - W$ Сумма. Если результат больше $360^\circ$ , $360$ отбрасываем
Получаем местный часовой угол звезды	$t^*$ $166 33,4$ $t_W$ $3^\circ 00,0$ $t_o$	Звёздное дополнение. Табл. «Звёзды. Видимые места», Суммируем. Если меньше 180, оставляем в графе $t_W$ , если больше, находим $360 - t_W$ и заносим в графу $t_o$ .
Получаем склонение звезды.	$\Delta$ $\delta_{гр}$ ----- $\Delta\delta$ ----- $\delta$ $55^\circ 59,9' N$	Для звёзд не выбирается Склонение. Таблица «Звёзды. Видимые места»

# МАЕ. Расчёт местного часового угла $t_M$ и склонения $\delta$ Солнца

Дано: 21/12 1993  
 $T_c = 10^h 40^m$

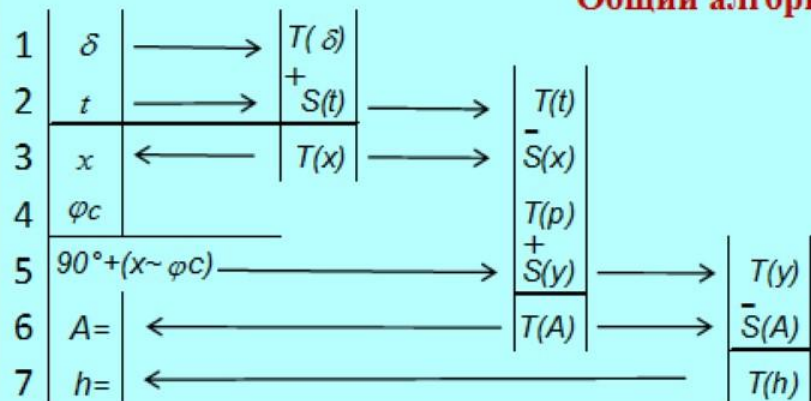
$\varphi_C = 39^\circ 48,2' N$   
 $\lambda_C = 69^\circ 07,5' W$

$T_{xp} = 16^h 01^m 03^s$   
 $U_{xp} = -20^m 05^s$

Действие	Пример	Пояснения
Рассчитываем приближённое $T_{эп.р.} = T_c \pm N_{-O^m}^{+W}$ Номер пояса $N = \frac{\lambda}{15}$ , округляем до целого	$\odot$ 1 линия Приб. $T_c$ $10^h 40^m$ $N_{-O^m}^{+W}$ $+5$ Приб. $T_{ГР}$ $15^h 40^m$ Дата            21/12	$10^h 40^m 21/12 + 05^m = 15^h 40^m 21/12$ Результат меньше 24 часов, следовательно дата остаётся прежней
Рассчитываем точное $T_{ГР} = T_{xp} + U_{xp}$ если по приб. $T_{ГР}$ видно, что вторая половина дня, прибавляем 12ч	$T_{xp}$ $16^h 01^m 03^s$ $U_{xp}$ $-20^m 05^s$ $T_{ГР}$ $15^h 40^m 58^s$	По приб. $T_{ГР}$ видим, что на Гринвиче вторая половина дня. Следовательно, к точному $T_{ГР}$ прибавляем 12ч
Рассчитываем гринвичский часовой угол Солнца.	$t_T$ $45^\circ 26,6'$ $\Delta_1 t$ $10 \ 13,8$ $\Delta_2 t$ $0,5$ $t_{ГР}$ $55 \ 40,9$	Ежедневные Таблицы МАЕ. На гринвичскую дату по часам Основные Интерполяционные Таблицы (стр.290) Там же по $\bar{\Delta}$ . Суммируем
Рассчитываем местный часовой угол Солнца.	$\lambda$ $- 69 \ 7,5$ $t_M^Y$ ---- $\tau^*$ ---- $t_W$ $346 \ 33,4$ $t_O$ $13^\circ 26,6'$	Долгота из условия $+O^{st} - W$ Суммируем. Если результат меньше 180, оставляем в графе $t_W$ , если больше – находим $360 - t_W$ и заносим в графу $t_O$ .
Получаем склонение Солнца.	$\bar{\Delta} / \Delta$ $+0,7 / +0,0$ $\delta_T$ $23^\circ 26,2' S$ $\Delta \delta$ $0,0$ $\delta$ $23^\circ 26,2' S$	Ежедневные таблицы, внизу колонки. Ежедневные таблицы. Основные Интерполяционные Таблицы Суммируем

По таблицам ТВА – 52 (57)

Общий алгоритм



Пример

1	$\delta$	$S$	$18^\circ 1,2'$	$T(\delta)$	60971	1 линия		
2	$t$	$O$	$39^\circ 28,8'$	$S(t)$	2249	$T(t)$	69041	
3	$x$	$S$	$22^\circ 51,2'$	$T(x)$	63220	$S(x)$	710	
4	$\varphi_c$	$N$	$33^\circ 25,1'$			$T(p)$	68331	
5	$90^\circ + (x \sim \varphi_c)$		$146 16,3'$			$S(y)$	1601	$T(y)$ 67216
6	$A =$		$42^\circ 23,3' SO$	$137,6^\circ$		$T(A)$	69932	$S(A)$ 2632
7	$h =$		$26^\circ 14,9'$					$T(h)$ 64584

\*6. При четвертном счете азимута **первая буква** его наименования **одноименна с  $\varphi_c$  только при  $x > \varphi_c$  и одноименных**, в остальных случаях разноименна с  $\varphi_c$ . **Вторая буква** наименования азимута всегда **одного наименования с  $t_m$**

Переводим счислимый азимут из в круговой счёт и округляем его значение до десятых долей градуса

По формулам сферической тригонометрии

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t$$

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

При расчётах азимута  $A$ :

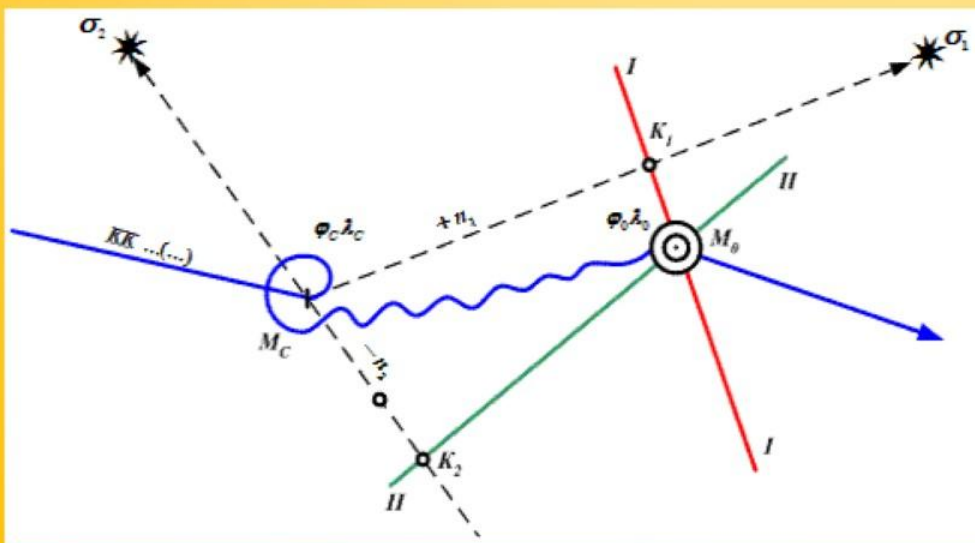
- $\varphi$  и  $t$  при расчётах берутся положительными,
- $\delta$  «+» если  $\delta$  одноимённо с широтой  $\varphi$   
«-» если  $\delta$  разноимённо с широтой  $\varphi$
- результат положительный - оставляем без изменений  
отрицательный - добавляем  $180^\circ$
- первая буква наименования  $A$  одноимённа с широтой  $\varphi$ , вторая с часовым углом  $t$

0. Записываем в схему вычислений исходные данные ( $\delta, t_m, \varphi_c$ )1. По аргументу  $\delta$  выбираем значение функции  $T(\delta)$ 2. По аргументу  $t$  выбираем значение функций  $T(t)$  и  $S(t)$ 3\*.  $T(x) = T(\delta) + S(t)$ . По функции  $T(x)$ , обратным входом, выбираем значение  $x$ , по  $x$  выбираем значение функции  $S(x)$ 4.  $T(p) = T(t) - S(x)$ 5. Рассчитываем величину  $y = 90^\circ + (x \sim \varphi_c)$ 6\*.  $T(A) = T(p) + S(y)$  По функции  $T(A)$ , обратным входом, выбираем значение  $A$ , по  $A$  выбираем значение функции  $S(A)$ 7.  $T(h) = T(y) - S(A)$  По функции  $T(h)$ , обратным входом, выбираем значение  $h$ 

- \*3. если  $t < 90^\circ$ , то  $x < 90^\circ$  (вход сверху и слева),  
если  $t < 90^\circ$ , то  $x < 90^\circ$  (вход снизу и справа),  
**наименование  $x$  такое же как и у  $\delta$**

«~» означает вычитание из большей величины меньшей при одноименных  $x$  и  $\varphi_c$  и сложение при разноименных

## Построение высотных линий положения

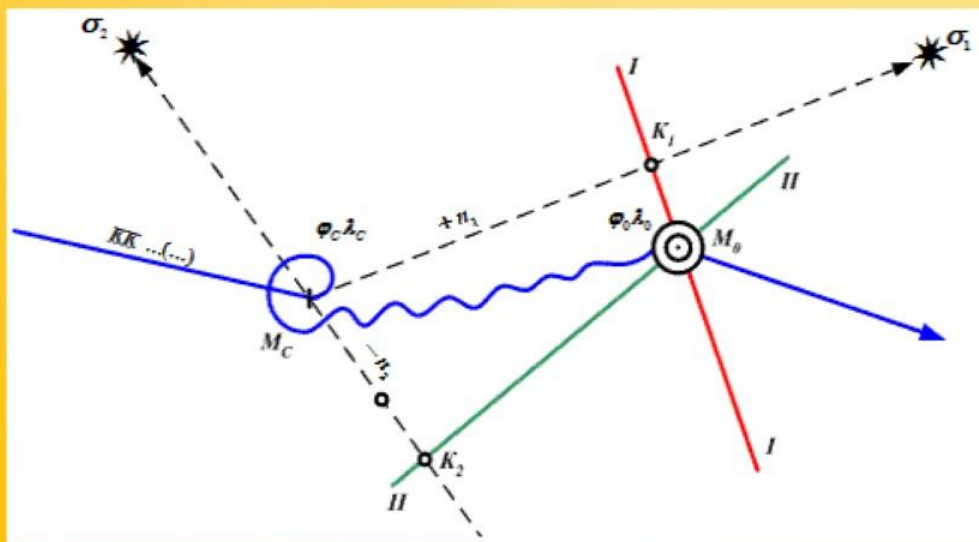


# ОМС по одновременным наблюдениям светил. Алгоритм

## Нахождение $\varphi_0$ $\lambda_0$ по измеренным высотам двух светил

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

- 1.- измерить высоты светил навигационным секстансом;
  - 2.- исправить измеренные высоты светил всеми поправками и получить значения истинных геоцентрических высот этих светил («Ист.  $h_1$ » и «Ист.  $h_2$ »);
  - 3.- привести высоты светил к одному моменту времени (как правило, ко времени измерения высоты последней звезды) и получить приведенное значение высоты одного из светил («Прив.  $h_1$ »);
  - 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 ( $ВЛП_1 \rightarrow A_{C1}, n_1 = \text{Прив. } h_1 - h_{C1}; ВЛП_2 \rightarrow A_{C2}, n_2 = \text{Ист. } h_2 - h_{C2}$ );
  - 6.- построить высотные линии положения на путевой навигационной карте (астрономическом бланке ф. Ш-8) и определить обсервованные координаты ( $\varphi_0$  и  $\lambda_0$ ), как координаты точки пересечения  $ВЛП_1$  («I-I») и  $ВЛП_2$  («II-II»).
- 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.
- При измерении же высот даже двух светил, одним наблюдателем, между первым и вторым измерениями высот пройдет некоторое время, за которое счислимое место судна переместится на определенное расстояние.
- В результате этого высоты светил будут измерены из разных точек, а для получения обсервованного места их необходимо приводить к одному месту наблюдений, то есть к одному зениту.





Учитывая то, что в море зачастую нет возможности одновременно измерить высоты двух светил, возникает потребность в способе ОМС по одному светилу, главным образом Солнцу. Для получения двух линий прибегают к разновременным наблюдениям одного светила. В течение суток Солнце постоянно меняет своё положение относительно наблюдателя. То есть, если после получения первой линии положения подождать некоторое время, то можно получить вторую линию положения не совпадающую с первой. Если судно не перемещалось, то обсервованное место будет находиться на пересечении этих двух линий.

#### • Порядок действий

1. Измеряется серия в 3-5 высот Солнца, причём на каждый отсчёт секстана  $OC_i$  засекается момент времени по хронометру  $T_{ХРi}$  с точностью до 1с, после чего определяется вероятнейшее (среднее) значение  $OC_{CP}$  и среднее время измерений  $T_{CP}$ . На момент измерения замечается судовое время  $T_c$  с точностью до 1м, счислимые координаты судна, ИК или ПУ, скорость, отсчёт лага, высота глаза наблюдателя  $e$ , температура воздуха и атмосферное давление.
2. Рассчитываем местный часовой угол Солнца  $t_M$  и его склонение  $\delta$  при помощи таблиц МАЕ на полученные гринвичскую дату и время (выдержки из МАЕ на 1993г. приведены в конце пособия).
3. При помощи таблиц для расчёта высот и азимутов светил (ТВА-57, ВАС-58, МТ-75 или им аналогичных) рассчитываем счислимую высоту  $h_C$  и счислимый азимут  $A_C$  Солнца.
4. Исправляем высоту Солнца. Получаем истинные  $h_C$ .
5. Производим действия 1-4 через некоторое время для другого положения Солнца;
6. На путевой карте или обратной стороне бланка графическим способом определяем поправки координат  $\Delta\varphi$ ,  $\Delta\lambda$  для времени вторых наблюдений, обсервованные координаты, невязки.





## • Список используемой литературы:

### Основная литература

1. Вахтанин Н.А. Основы судовождения. Методическое пособие - Рибэст, 2013 – 148 с.
2. Дмитриев В.И. Навигация и лоция. Учебное пособие для образовательных организаций водного транспорта. – МОРРЕЦЕНТР, 2015. – 360 с.
3. Данцевич В.А. Навигация. Учебное пособие. – Феникс, 2009 – 192 с.
4. Морев О.Г. Навигация и лоция. Учебное пособие. - ГМА им. Макарова, 2007 – 192 с.
5. Верюжский Н.А. Мореходная астрономия. Теоретический курс. / Н.А. Верюжский.-2006.
6. Верюжский Н.А. Мореходная астрономия. Практический курс. / Н.А. Верюжский.-2007.

### Дополнительная литература

1. Дмитриев В.И. Навигация и лоция. Учебник для вузов. / В.И. Дмитриев, В.Л. Григорян, В.А. Катенин. - М.: ИКЦ «Академкнига», 2004.-472 с.
2. Песков Ю. А. Морская навигация с ГЛОНАСС/GPS. Учебное пособие для ВУЗов./ Ю.А. Песков. - М.: МОРКНИГА 2010.-148 с.
3. Навигация. / Ю.К. Баранов, М.И. Гаврюк , Ю.А.Песков, В.К. Логиновский. - СПб, 1998. -510 с.

**Дмитрий Альбертович Новоселов**

## **ОСНОВЫ СУДОВОЖДЕНИЯ**

**Опорные конспекты к курсу лекций**

для курсантов специальности 26.05.05 «Судовождение»

очной и заочной форм обучения

Тираж \_\_\_\_\_ экз. Подписано к печати \_\_\_\_\_.

Заказ № \_\_\_\_\_. Объем 3,98 п.л.

Изд-во ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет»

298309, Россия, Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82.