КАМЧАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра судовождения

МОРЕХОДНАЯ АСТРОНОМИЯ

Курс лекций

ПЕТРОПАВЛОВСК-КАМЧАТСКИЙ 2003

УДК 528.28
ББК 39.471.4

Авторы:
Старший преподаватель кафедры судовождения
Шевченко В.А.
Вахтенный помощник капитана
Горев С.М.

Рецензенты:
Доцент кафедры судовождения *Евстафьев Б.А.*
Председатель Государственной экзаменационной комиссии по специальности 240200 “ Судовождение “ КамчатГТУ, директор по флоту ОАО “ Камчатрыбпром “, капитан дальнего плавания *Прокопенков В.Н.*

Обсуждено и одобрено на заседании кафедры судовождения "27" января 2003 г., протокол № 11.

В курсе лекций изложены основные способы определения места судна в море по небесным светилам и определения поправки ком-пасов астрономическими методами. Раскрыты методы практичес-кой астрономии применительно к задачам судовождения.

Курс лекций предназначен для студентов заочной формы обу-чения по специальности 240200 "Судовождение", 2405 ″Морское судовождение″, а также может быть использован курсантами дневной формы обучения по указанным специальностям; при подготовке судоводителей для управления судами до 200 р.т.; при подготовке судоводителей к аттестации.

© КамчатГТУ, 2003
© Шевченко В.А., 2003
© Горев С.М., 2003

Содержание

Введение 5
Небесная сфера. Основные линии, круги и точки на ней 6
Горизонтная система координат. Первая и вторая экваториальные системы координат 8
Параллактический треугольник светила и его решение 12
Изображение небесной сферы на плоскости меридиана наблюдателя и экватора. Графическое решение задач на сфере 14
Видимое суточное движение светил 16
Годовое движение Солнца. Совместное суточное и годовое движение Солнца 19
Местное и всемирное время. Соотношения между гринвичским и местным временем 24
Поясное, декретное и судовое время. Линия перемены даты. Служба времени на судне 27
Судовые измерители времени. Устройство хронометра. Правила эксплуатации. Поправка и суточный ход хронометра 35
Звездное небо. Звездный глобус и задачи, решаемые с его помощью 42
Устройство и назначение звездного глобуса 44
Общий и частный способы исправления высот светил по таблицам 48
Частный случай исправления высот светил 53
Время и его измерение. Звездное, истинное и среднее солнечное время. Уравнения времени. Основная формула времени 57
Теория и устройство секстана 61
Выверка секстана и уменьшение поправки индекса 64
Определение поправки компаса методом моментов 66
Определение поправки компаса в момент видимого восхода (захода) Солнца и по Полярной звезде 68
Круг равных высот и его уравнение. ВЛП, ее уравнение и свойства 71
Определение места судна по высотам двух светил. Точность способа 77
Определение места судна по высотам трех светил 87
Определение места судна по высотам четырех светил. Точность способа 89
Определение места судна по разновременным наблюдениям Солнца. Точность способа. Оптимальное время между наблюдениями 90
Определение широты по высоте Полярной звезды 98
Определение широты по меридиональной высоте Солнца 101
Прокладка ВЛП на карте и бумаге.

Точность элементов ВЛП 104
Определение поправки индекса. Приемы измерения высот светил. Измерение высот светил над видимым горизонтом *107*
Расчёт часовых углов и склонений Солнца и звезд по МАЕ 115
Расчёт судового времени восхода (захода) и кульминации Солнца 119
Литература 123
Приложение 124

Введение

Все науки, служащие целям судовождения имеют общую основ-ную задачу – обеспечение безопасного, быстрого и наиболее эко-номичного перехода судна морем из одного пункта в другой. Для выполнения этой задачи необходим непрерывный контроль за счи-слением пути судна, поправками, временем и др. Навигация рас-сматривает способы контроля счисления по наблюдениям земных объектов, мореходная астрономия – по наблюдениям небесных све-тил. Небесные светила непрерывно перемещаются и, чтобы опре-делить их место в данный момент, необходимо знать законы их движения, изучаемые в астрономии.

В мореходной астрономии задачи решаются ручными инструментами одним человеком, быстро, но с меньшей точностью, или с помощью астросистем – почти автоматически.

Астрономические обсервации применяют сейчас наряду с радиотехническими. Особенно важны они как дублирующие, контрольные, а также аварийные, и их изучение обязательно для судоводителей в соответствии с современными международными требованиями.

Основными задачами, решаемыми мореходной астрономией, являются:

– определение места в море по наблюдениям светил;
– определение поправок приборов направления;
– обеспечение службы времени.

Вспомогательные задачи: определение освещенности, куль-минаций светил, а также вычислительная и общая подготовка штурмана.

Настоящий курс лекций по мореходной астрономии состоит из трех частей:

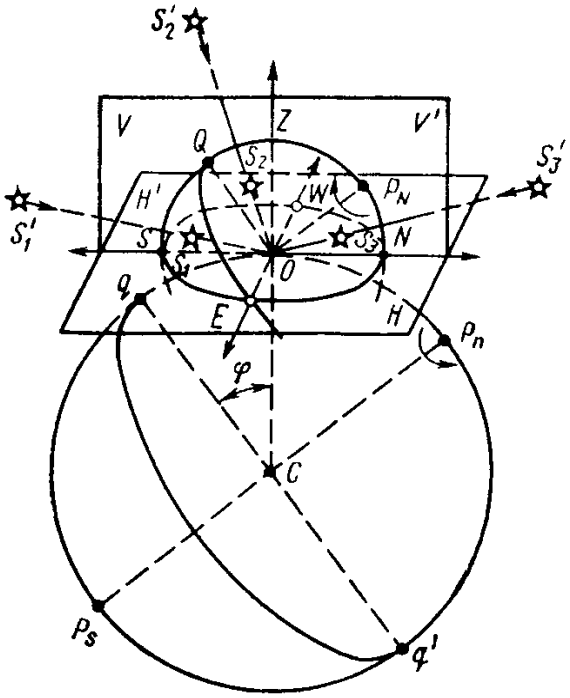
– основы сферической и общей астрономии, где изучаются координаты светил, их изменения, измерение времени.
– морские астрономические инструменты, где изучаются сек-стан, хронометр, звездный глобус, наклономер, работа с ни-ми;
– астронавигация, где рассматриваются методы определения поправки компаса, определения места судна и анализ ошибок определения.

Небесная сфера. Основные линии, круги и точки на ней

Наблюдаемые на небесном своде многочисленные светила удалены от нас на различные расстояния. Однако для решения астрономических задач, связанных с определением места судна необходимо знать только направления на светила, задаваемые при помощи той или иной системы координат. Поэтому удобнее считать все светила находящиеся на одинаковом расстоянии от наблюдателя, т.е. расположенными на окружающей его сферической поверхности.

Такую вспомогательную сферу произвольного радиуса, на которой как бы размещены все светила, называют ***небесной сферой*** *(рис. 3.1)*. За центр сферы обычно принимают точку О, соответствующую глазу наблюдателю. Если через точку О провести основные линии и плоскости наблюдателя на земной сфере, то при переносе их с поверхностью небесной сферы получим ряд точек и кругов, служащих для отсчета небес-ных координат светил.

Для более наглядного представления о небесной сфере поместим её центр отдельно от изображения Земли и рассмотрим основ-ные круги и точки на сфере *(рис. 3.2)*.

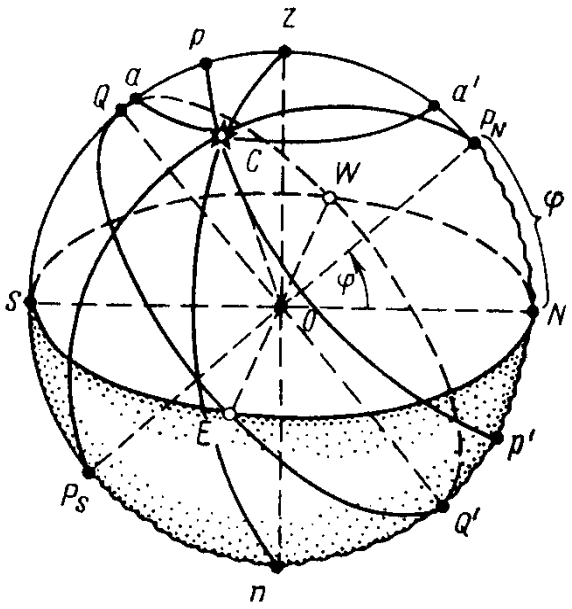


Отвесная линия наблюдателя, продолженная вверх и вниз, пересекает небесную сферу в точках ***зенита Z*** *и* ***надира n***. Большой круг NESW, плоскость которого перпендикулярна отвесной линии называется ***истинным горизонтом***. Он делит сферу на две части - надгоризонтную и подгоризонтную. Линия P_N P_S параллельная оси Земли (P_N P_S), называется ***осью мира***.

Точки пересечения оси мира с небесной сферой называется ***полюсами мира***: северным P_N и южным P_S. Полюс, расположенный в надгоризонтной части сферы, называется повышенным, а в подгоризонтной - пониженным. Наименование повышенного полюса всегда одноименно с наименованием широты наблюдателя.

Большой круг QEQ'W, плоскость которого перпендикулярна оси мира P_NP_S называется ***небесным экватором***. Он делит сферу на северную и южную половины.

Большой круг P_NnP_SZ, проходящий через полюсы мира, зенит и надир, называется ***меридианом наблюдателя***. Ось мира делит его на полуден-ную P_NZP_S и по-луночную P_NnP_S части. На полу-денной части находится точки зенита, а на полу-ночной надира.



Меридиан наб-людателя пересе-кается с истин-ным горизонтом в точках N и S. Соединяющая эти точки прямая ли-ния NS называет-ся ***полуденной линией***. В пере-сечении истин-ного горизонта с небесным эква-тором образуются точки E и W горизонта. Большие круги P_NCP_S, плоскости которых проходят через полюсы мира, называются ***небесными меридианами.***

Большие круги ZCn, плоскости которых проходят через точки зенита и надира, называются ***вертикалами***. Вертикал, проходящий через точки E и W, называется ***первым вертикалом***. Меридиан наблюдателя, проходящий как через полюсы мира, так и через точки зенита и надира, является одновременно небесным меридианом и вертикалом. Он делит сферу на восточную и западную половины.

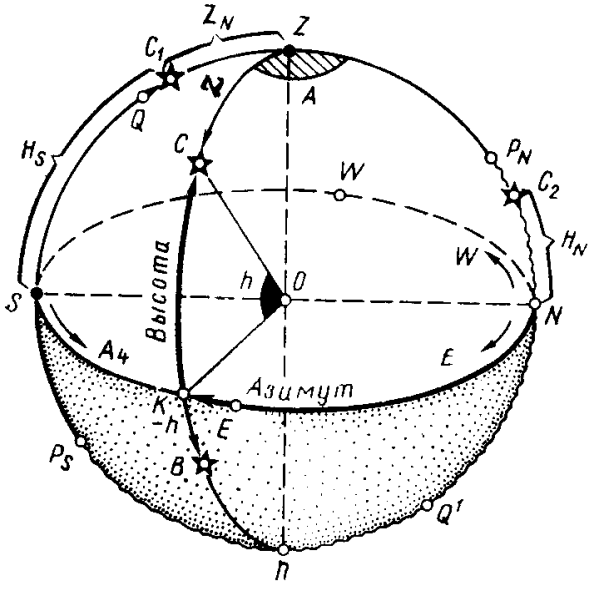
Малые круги pp', плоскости которых параллельны плоскости экватора, называются ***небесными параллелями.*** Малые круги aa', плоскости которых параллельны плоскости истинного горизонта, называются ***альмукантаратами.***

Из *рис. 3.1* следует, что ∠QOZ = ∠qCO = φ (как углы с соответственно параллельными сторонами). Так как стороны углов NOP_N и QOZ *(рис.3.2)* взаимно перпендикулярны, то эти углы также равны и, следовательно, ось мира с плоскостью истинного горизонта состовляет угол, равный географической широте места наблюдателя φ.

Горизонтная система координат. Первая и вторая экваториальные системы координат

Положение светила на небесной сфере определяется двумя какими-либо сферическими координатами. Существуют несколько систем небесных координат. В мореходной астрономии наиболее часто применяют горизонтную и экваториальную (первую и вторую) системы. Каждая система связана с какими-либо основными кругами, от которых отсчитываются координаты.

Горизонтная система координат. Основными кругами для этой системы являются истинный горизонт и меридиан наблюдателя, а координатами – азимут и высота светила. ***Азимутом светила A*** *(рис.3.3)* называется сферический угол при зените, заключённый между меридианом наблюдателя и вертикалом светила. Азимут изме-ряется дугой истинного го-ризонта от точки N или S до вертикала, про-ходящего через светило.



В мореходной астрономии применяют три системы счёта азимута. При полукруговом (астрномичес-ком) счёте ази-мут измеряют от полуночной части меридиа-на наблюдате-ля в сторону E или W от 0° до 180. Точка отсчёта полукругово-го азимута всегда одноимённа с наименованием широты наблюдателя, а направление отсчёта E или W зависят от того, в какой половине сферы восточной или западной находится светило. Полукруговой азимут записывают так, чтобы указать точку и направление отсчёта. Например: у светила C A = N120°E или A = 120°NE.

При четвертном счёте азимут измеряют от точек N и S в сторону E или W от 0° до 90°. Например: у C A = 60°SE.

Круговой азимут измеряют всегда от точки M в сторону E от 0° до 360°. При записи азимута в круговом счёте его наименование не указывают. Например: у C A = 90°.

Азимут определяет положение на сфере вертикала светила. ***Высотой светила h*** называется угол при центре сферы между плоскостью истинного горизонта и направлением на светило. Высоту измеряют дугой вертикала от истинного горизонта до центра светил в пределах от 0 до 90°. Высота считается положительной (“+”), если светило находится над горизонтом и отрицательной (“–”), если светило под горизонтом. В последнем случае высоту называют ***снижением***. Например: на *(рис. 3.3)* у светила C h = 55°, а у B h = – 30°.

Если светило находится на меридиане наблюдателя, то его высоту называют ***меридиональной H***. Последней приписывают наименование N или S по той точке горизонта, над которой светило располагается. Например: на *рис. 3.3* у светила C_2
H = 25°N.

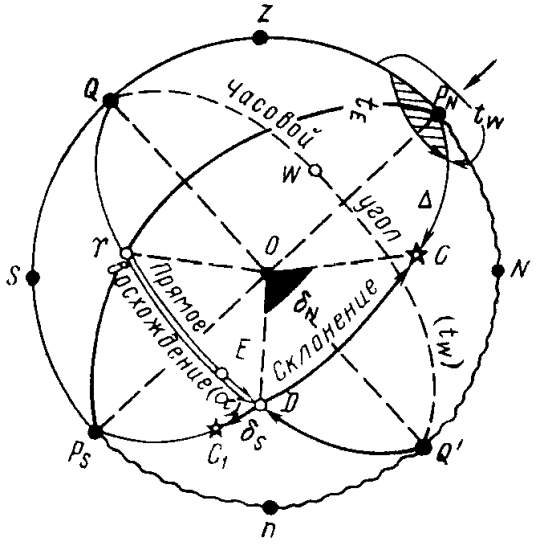
Вместо высоты применяют иногда её дополнение, называемое ***зенитным расстоянием Z***. Оно измеряется дугой вертикала от зенита до центра светила в пределах от 0 до 180°. Если светило находится на меридиане наблюдателя, то его зенитное расстояние называется ***меридиональным Z.*** Последнему приписывают наименование, противоположное наименованию H. Между h и Z существует алгебраическая зависимость: h = 90° − Z, Z = 90° − h. Например: на *рис.3.3* у светила C Z = 90° – 55° = 35°, у B Z = 90° – (– 30°) = 120°, и у C_2 Z = 90° – 25° = 65°S.

Высота и зенитное расстояние определяют положение на сфере альмукантарата светила.

Как A, так и h светила непрерывно изменяются вследствие суточного вращения небесной сферы. Эти координаты могут быть измерены с помощью компаса (приблизительно) и секстана.

Первая экваториальная система координат. Основными кругами для первой экваториальной системы являются небесный экватор и меридиан наблюдателя, а координатами – часовой угол и склонение *(рис. 3.4)*.

Часовым углом светила t называется сферический угол при повышенном полюсе между полуденной частью меридиана наблюдателя и меридианом светила. Часовой угол измеряют дугой небесного экватора от полуденной части меридиана наблюдателя до меридиана, проходящего через светило. Применяют две системы счета часовых углов. ***Обыкновенный*** или ***вестовый*** часовой угол измеряют от полуденной части меридиана наблюдателя всегда в сторону точки W от 0° до 360°. Такое направление счёта соответствует направлению суточного движения светил.



Практический ча-совой угол измеряют от полуденной части меридиана наблюда-теля в сторону точек E или W в пределах от 0° до 180°. Практическому часовому углу приписывают наименование E или W в зависимости от того, в какой полови-не сферы–восточной или западной нахо-дится светило. При решении задач реко-мендуется приписы-вать наименования также и вестовому часовому углу.

Вестовый часовой угол, если он превышает 180°, может быть переведён в практический остовый: tE = 360° – tW. Например: на *рис. 3.4* у светил C и C_1 t = 255°W = 105°E. Часовой угол определяет положение на сфере меридиана светила.

Склонением светила δ называется угол при центре сферы между плоскостью небесного экватора и направлением на светило. Оно измеряется дугой меридиана светила от экватора до центра светила в пределах от 0 до 90°. Склонению приписывают наименование N и S. Например: на *рис. 3.4* у светила C δ = 55°N, а у C_1 δ = 27°S. Если склонение одноимённо с широтой наблюдателя, то оно считается положительным (“+”), если разноимённо, то

светил

отрицательным (“–“).

Вместо склонения иногда применяют его дополнение, называемое ***полярным расстоянием*** **Δ.** Оно измеряется дугой меридиана светила от повышенного полюса до центра светила в пределах от 0 до 180° и наименования не имеет.

Между **δ** и **Δ** существует алгебраическая зависимость. **Δ = 90°− δ, или δ = 90° − Δ.**

Склонение и полярное расстояние определяют положение на небесной сфере параллели светила.

При суточном движении склонения звёзд остаются неизменными, а часовые углы изменяются пропорционально времени. Склонения Солнца, Луны и планет медленно изменяются вследствие их собственного движения.

Вторая экваториальная система координат. Для этой системы основными кругами являются небесный экватор и меридиан точки весеннего равноденствия, а координатами – прямое восхождение и склонение *(рис. 3.4)*.

Положение на сфере точки весеннего равноденствия, или ***точки Овна*** **γ,** связано с собственным годовым движением Солнца. В этой точке, расположенной на небесном экваторе, Солнце находится ежегодно 21 марта.

Прямым восхождением **α** называется сферический угол при полюсе мира между меридианом точки Овна и меридианом светила. Прямое восхождение измеряется дугой небесного экватора от точки Овна до меридиана светила в сторону, обратную счёту вестовых часовых углов в пределах от 0 до 360°. Например: на *рис.3.4* для светила С **α** = 55°.

Вторая координата – ***склонение δ*** – рассмотрена при описании первой экваториальной системы координат.

Особенностью координат второй экваториальной системы **α** и **δ** является то, что они не зависят от суточного движения светил. Это объясняется тем, что точка Овна участвует в этом движении вместе с другими светилами.

Параллактический треугольник светила и его решение

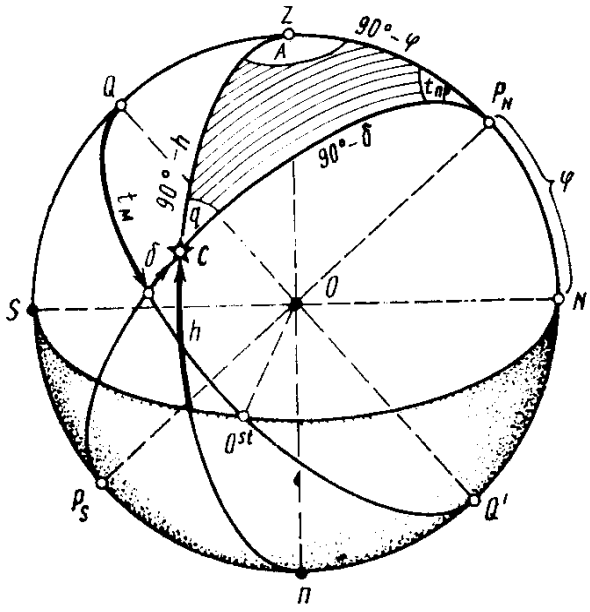


Рис. 3.5. Параллактический треугольник светила

Меридиан наблюдателя, меридиан и вертикал светила являются дугами больших кругов. Пересекаясь, они отрезают на поверхности небесной сферы сферический треугольник, называемый ***параллактическим,*** или ***полярным треугольником*** светила *(рис. 3.5).* Вершинами параллактического треугольника являются повы-шенный полюс P_N или P_S мира, зенит Z и место светила С.

Элементы тре-угольника, т.е. его стороны и углы, представляют со-бой сферические (горизонтальные или экваториаль-ные) координаты светила и геогра-фические коорди-наты наблюдате-ля.

Угол при по-вышенном полю-се ZP_NC равен практическому часовому углу светила $t_{пр}$, угол при зените CZP_N − азимуту светила А. Сторона-ми треугольника являются: дуга меридиана наблюдателя $\cup P_NZ = 90° - \varphi$, дуга меридиана светила $\cup P_NC = 90° - \delta$ и дуга верти-кала светила $\cup ZC = 90° - h$.

Угол q при светиле носит название параллактического угла.

Географическая долгота наблюдателя λ входит в скрытом виде в часовой угол светила t, который в параллактическом треугольнике всегда является ***местным часовым углом,*** связанным с долготой соотношением

$$t_м = t \pm \lambda \frac{E}{W},$$

где t – гринвичский.

Стороны и углы параллактического треугольника всегда меньше180°, поэтому входящий в треугольник часовой угол принимается практическим, E или W, а азимут в полукруговом счете, т.е. также меньшим 180°.

Значение параллактического треугольника заключается в том, что в результате его решения могут быть вычислены неизвестные интересующие нас элементы по заданным.

Изображение небесной сферы на плоскости меридиана наблюдателя и экватора. Графическое решение задач на сфере

Взаимное расположение основных кругов и точек на сфере, а также наблюдаемые особенности в движении светил зависят от географической широты наблюдателя. Для того чтобы получить наглядное представление об этих явлениях, принято строить изображение небесной сферы, соответствующее широте наблюдателя. Попутно практикуют приближенное решение задач на преобразование координат светил, т. е. переход от одной системы координат к другой. Построение небесной сферы выполняют от руки, откладывая и снимая координаты “на глаз” с точностью до 5°. Наиболее наглядным и удобным для преобразования координат является перспективное изображение сферы на ***плоскости меридиана наблюдателя***.

Построение сферы начинают с проведения окружности радиусом 5 − 6 см, которую принимают за меридиан наблюдателя. Проведя вертикальный диаметр, изображающий отвесную линию, получают точки Z и *n (рис. 3.6,а).* Перпендикулярно отвесной линии проводят полуденную линию NS и большой круг, изображающий истинный горизонт. Перед тем как нанести точки N и S, следует по условию задачи определить, какой стороной, восточной или западной, должна быть повернута к нам сфера. Если из наименования практического часового угла или азимута светила следует, что светило находится в восточной половине сферы, то к нам должна быть обращена именно эта половина. В таком случае точку *N* ставят справа, а S слева. Если же светило расположено на западной половине сферы, то точку N помещают слева, а S − справа.

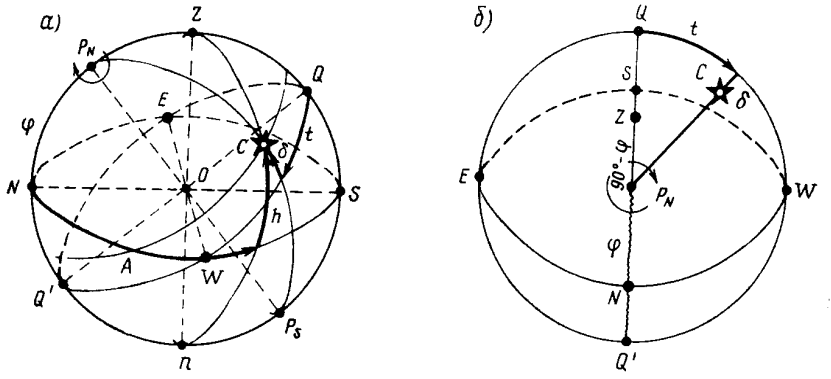


Рис. 3.6. Построение сферы на плоскости. а – меридиана наблюдателя; б− экватора

От точки N, если широта наблюдателя северная, или S, если широта южная, откладывают в сторону зенита дугу, равную широте φ. Отмечают повышенный полюс P_N или Ps, наименование которого одноименно с широтой наблюдателя. Через повышенный полюс и центр сферы проводят ось мира P_NP_S. и отмечают пониженный полюс. Перпендикулярно оси мира проводят небесный экватор QQ′, в точках пересечения которого с истинным горизонтом получают точки E и W.

Построив сферу, наносят светила по заданным координатам и снимают искомые. Линии и дуги, расположенные внутри сферы или за плоскостью чертежа, изображают пунктиром.

Пример 3.1 : Дано φ = 50°N; *A* = N120°W; *h* = 40°. Построить сферу и определить *t* и δ светила.

Решение: Строим небесную сферу *(рис. 3.6,а).* Точку N ставим слева, поскольку вторая буква наименования полукругового азимута W, и, следовательно, светило расположено в западной половине сферы. Повышенный полюс P_N располагаем под углом 50° над точкой N. Отложив по дуге горизонта заданный A, проводим вертикаль светила, откладываем по нему высоту *h* и наносим светило. Через место светила проводим меридиан и параллель. По экватору от точки Q до меридиана светила измеряем часовой угол t = 40°W, а по меридиану от экватора до места светила — склонение δ = l0°N.

При рассмотрении вопросов измерения времени применяют изображение сферы на ***плоскости экватора***. Его можно получить, если смотреть на сферу со стороны повышенного полюса. Тогда полюс оказывается в центре чертежа, меридиан наблюдателя и меридианы светил изображают в виде прямых линий, а параллели − в виде концентрических окружностей.

Точку Z *(рис. 3.6,б)* наносят на полуденную часть меридиана наблюдателя, отложив от повышенного полюса дугу, равную
90° − φ. Точки горизонта N и S наносят на меридиан наблюдателя, откладывая от повышенного полюса дуги, равные φ. Через точки N, E, S, W может быть проведен истинный горизонт. Вертикалы и альмукантараты изображают кривыми линиями, их обычно на чертеж не наносят.

На *рис. 3.6,б* показана сфера, построенная на плоскости экватора по условиям ***примера 3.1.*** Светило нанесено по его экваториальным координатам t = 40°W и δ = 10°N.

Видимое суточное движение светил

Наблюдая в течении нескольких часов за звездным небом, заметим, что созвездия, расположенные в восточной стороне небесного свода, поднимутся выше, а находящиеся на западе зайдут. Наблюдателю представляется, что весь небесный свод вместе со светилами вращается вокруг некоторой оси в направлении с востока на запад. Общая картина вращения небесного свода (для наблюдателя в северном полушарии) при наблюдении за светилами в северной стороне неба показана на рис. 3.7,а.

Если наблюдать южную часть неба, то траектории вращения светил схематически изобразятся так, как это показано на *рис. 3.7,б.*

Наблюдаемые движение светил в направлении с востока на запад является видимым, т.е. кажущимся. Его причиной на самом деле служит вращение земли вокруг своей оси с запада на восток.

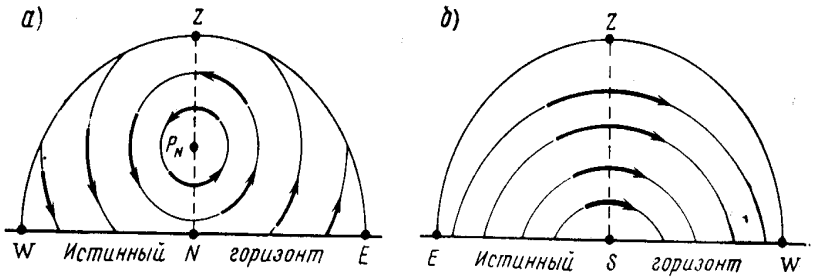
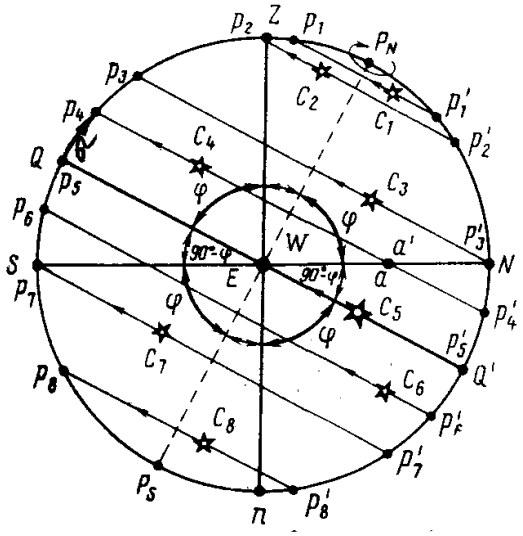


Рис. 3.7. Видимые суточные пути светил в северной (а) и южной (б) стороне неба(для наблюдателя в северном полушарии.

В сферической астрономии принято, однако, рассматривать все явления так, как они представляются наблюдателю. Поэтому для удобства рассуждений будем считать землю неподвижной, а небесные светила – вращающимися. Вместе с наблюдателем остаются неподвижными и связанными с ним линии и круги небесной сферы: отвесная линия, истинный горизонт с полуденной линией NS, ось мира, меридиан наблюдателя, первый вертикал и небесный экватор.

Видимое суточное движение светил происходит по небесным параллелям в направлении по часовой стрелке, если смотреть на сферу со стороны северного полюса мира P_N.

В зависимости от соотношения широты наблюдателя φ и склонения δ все светила при своем движении по параллелям будут проходить те или иные характерные положения. Рассмотрим *рис. 3.8* с изображенной на нем небесной сферой для наблюдателя в произвольно взятой широте φ = 60°N. Для простоты построений на рисунке представлено не перспективное, а плоское изображение сферы, на котором истинный горизонт, экватор, первый вертикал и параллели светил изображены параллельными линиями.



видимое суточное движение светил

Кульминацией светила называется точка пересечения цент-ром светила меридиана наблюдателя. Если светило находится на полуденной части меридиана наблюдателя, то его кульминация называется верхней, а если на полуночной – нижней. Например на *рис. 3.8* точка Р4 и Р4′ на параллели светила С4.

Истинным восхо-дом светила называ-ется точка пересече-ния центром светила Е-й части истинного горизонта, а ***истин-ным заходом*** – точка пересечения его W-й части, например, точ-ки а и а′ на паралле-ли светила С4.

На *рис. 3.8* видно, что светила C_1,C_2 и C_3 не заходят. Их склонения одноименны с φ наблюдателя, δ > 90°– φ. Светила C_7 и C_8, наоборот, в заданной широте не восходят. Их склонения разноименны с φ, причем δ также > 90°– φ. Следовательно, условием восхода и захода светил в данной широте является неравенство δ < 90°– φ.

Особенности видимого суточного движения светил для наблюдателя на полюсах или экваторе.

Представленная на *рис. 3.7* картина суточного движения светил соответствует средним широтам. Для наблюдателя, находящегося на полюсе (φ = 90°), полюсы мира P_N и P_S совпадают с точками Z и n, ось мира – с отвесной линией, а экватор – с истинным горизонтом *(рис. 3.9,а)*. Наблюдателю доступна только одна половина небесной сферы. Наблюдатель не видит светил, склонение которых разноименно с широтой. В суточном движении светила описывают круги, параллельные горизонту, высоты светил не изменяются и равны склонениям. Светила не имеют точек кульминации, восхода и захода.

Для наблюдателя на экваторе φ = 0° полюсы мира P_N и P_S совпадают с точками горизонта N и S, ось мира с полуденной линией, небесный экватор – с первым вертикалом *(рис. 3.9,б)* . Здесь все светила восходят и заходят. Параллели светил перпендикулярны горизонту и делятся им пополам, т.е. время нахождения светил над горизонтом и под ним одинаковое.

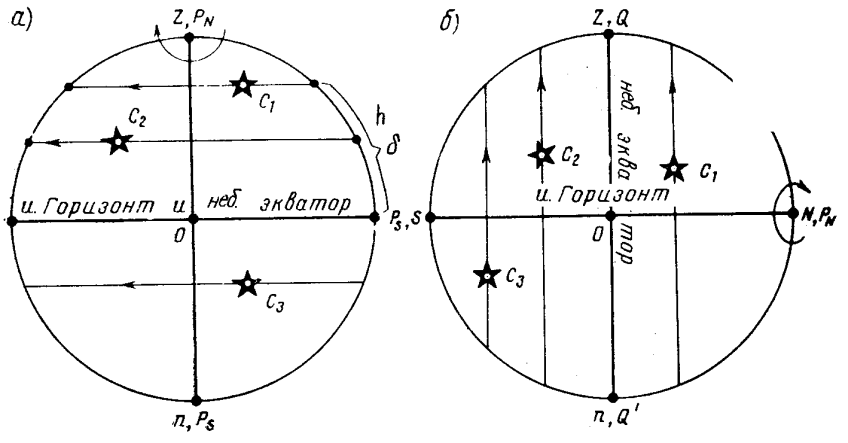


Рис. 3.9. Особенности суточного движения светил

Годовое движение солнца. Совместное суточное

и годовое движения Солнца

Земля как и другие планеты солнечной системы движется по орбите вокруг центрального тела системы – Солнца. Период одного оборота Земли вокруг Солнца равный приблизительно 365,25 средних суток, называется ***тропическим годом***. Для удобства построения календаря год принимают в течение трёх лет равным 365 суток, в каждый четвёртый високосный год равен 366 суток.

Земля, как и другие планеты, движется вокруг Солнца по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце *(рис. 3.10)*. Ближайшая к Солнцу точка земной орбиты П′ называется

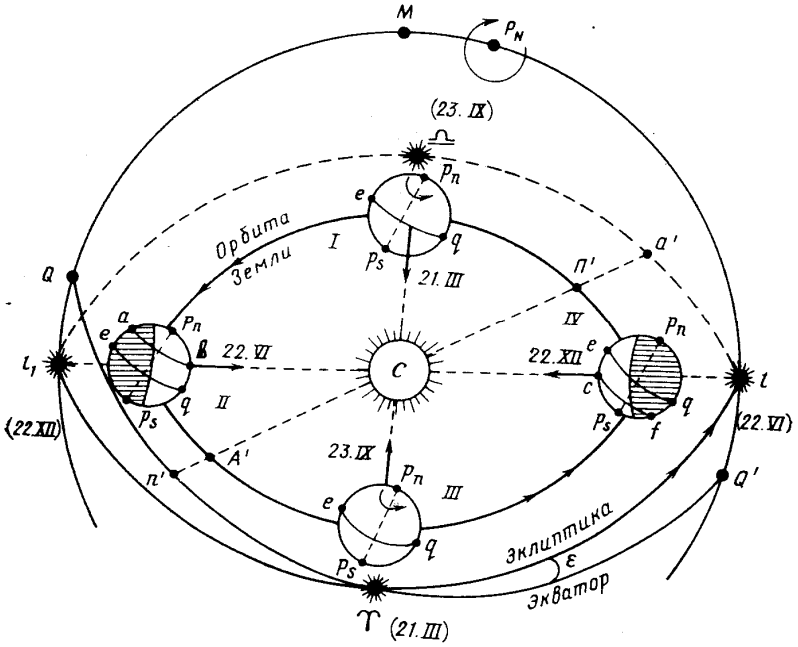


Рис. 3.10. Видимое годовое движение Солнца по эклиптике

перигелием, а наиболее удалённая А′ – ***афелием***. Планеты перемещаются по орбитам неравномерно, имея наибольшую скорость в перигелии и наименьшую в афелии.

Ось Земли наклонена к плоскости ***земной орбиты*** на постоянный угол 66° 33′, а земной экватор – на угол ε = 23° 27′. Этим объясняется смена времен года.

На *рис. 3.10*, в центре которого находится Солнце (С), показаны четыре положения Земли на её орбите.

В положении I (21 марта), Солнце проецируется на экватор, оба полушария в течение полуоборота Земли освещены одинаково от полюса до полюса. Во всех широтах день равен ночи, в северном полушарии весна.

В положении II (22 июня), Солнце проецируется на параллель ab с φ = 23° 27′ N (Северный тропик), в северном полушарии лето, длинный день и короткая ночь.

В положении III (23 сентября), Солнце вновь проецируется на экватор, день и ночь везде равны. В северном полушарии осень.

В положении IV (22 декабря), Солнце проецируется на параллель cf с φ = 23°27′S (Южный тропик), в северном полушарии зима, короткий день и длинная ночь.

Если, находясь на Земле в течение года наблюдать за Солнцем, то будет казаться, что не Земля вращается вокруг Солнца, а наоборот это светило перемещается по большому кругу небесной сферы, проходящему через 4 положения Солнца. Верхнее положение Солнца обозначено знаком точки весов ♎. Этот круг носит название ***эклиптики***. В среднем за сутки Солнце проходит по эклиптике дугу, несколько меньшую 1°. Таким образом, эклиптика изображает видимый (кажущийся путь), который Солнце, проецируясь на сферу, проходит в течение года. Как и орбита Земли, эклиптика наклонена к экватору на угол $\varepsilon = 23° 27'$.

Находясь 21 марта в положении один, наблюдатель увидит Солнце на сфере в точке Овна ♈, называемой ***точкой весеннего равноденствия*** (даты, соответствующие тому ил иному положению Солнца на эклиптике, показаны в скобках).

Из положения II Солнце проецируется на сферу в ***точку летнего солнцестояния l.*** Склонение Солнца равно 23°27′N. В положении наблюдателя III Солнце усматривается в точке Весов или ***точке осеннего равноденствия***. Склонение Солнца опять равно нулю, оно переходит в юж. полушарие. Из положения IV Солнце проецируется в ***точку зимнего солнцестояния l_1***, его склонение равно 23°27′S.

Точке ***перигелия П′*** на земной орбите соответствует на земной эклиптике точка ***перигея п′,*** в которой Солнце бывает 2-4 января. Точка ***афелия А′*** соответствует точке ***апогея а′,*** где Солнце бывает 3-5 июля. Скорость перемещения Солнце в точке перигея наибольшая (61,2′ в сутки), а апогея наименьшая (57,2′).

Видимый путь Солнца на небесной сфере проходит через 12 созвездий: Рыбы, Овна, Тельца (весной), Близнецов, Рака, Льва (летом),Девы, Весов, Скорпиона(осенью), Стрельца, Козерога, Водолея(зимой). В течение года Солнце последовательно проецируется на одно из этих созвездий, образующих ***пояс Зодиака***. В поясе Зодиака располагаются орбиты Луны и боль-

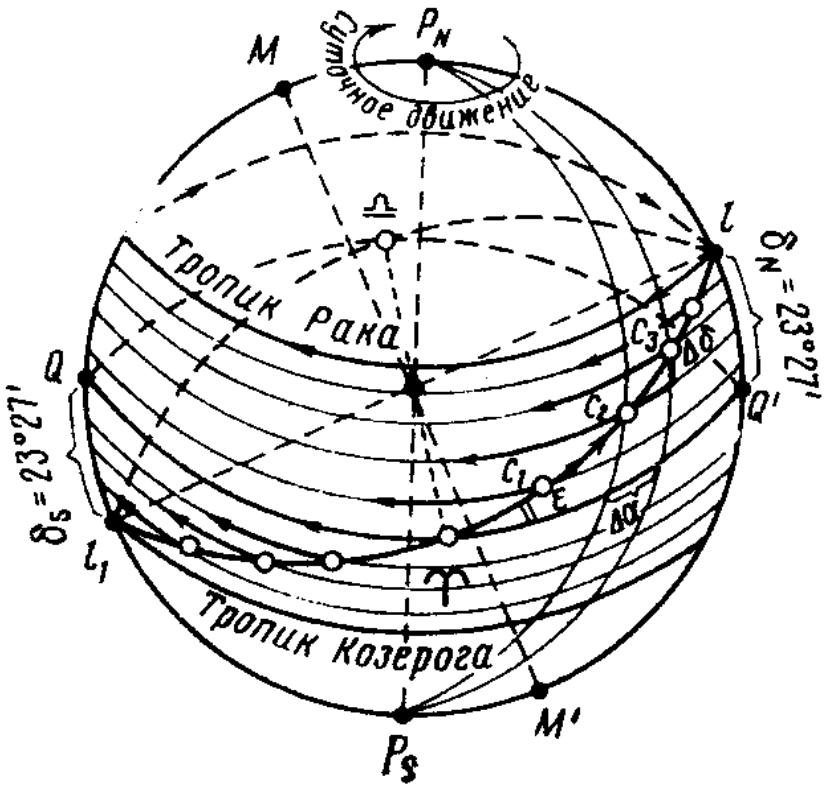


Рис. 3.11. Совместное суточное и годовое движение Солнца

шинства планет. Движение Солнца по эклиптике называется ***видимым годовым движением***. То, что Солнце кроме суточного имеет своё годовое движение, является причиной изменения его координаты – склонения $\delta_\odot$ и прямого восхождения $\alpha_\odot$

Нанесём на небесную сферу большой круг изображающий эклиптику *(рис. 3.11)*.Эклиптика наклонена к экватору на угол ε, равный 23°27′.

Видимое перемещение Солнца в годовой эклиптике обозначенное на *рисунке 3.11* двойной стрелкой, имеет направление противоположное суточному вращению сферы.

На эклиптике выделяют 4 основных положения Солнца:

1.Точка весеннего равноденствия Овна(♈), в которую Солнце приходит 21.3. В этой точке $\delta_\odot = 0°$, $\alpha_\odot = 0°$.

2.Точка летнего солнцестояния *l* , которая соответствует положению Солнца 22.6. В этой точке у Солнца наибольшее северное склонение $\delta_\odot = 23°27'N$, $\alpha_\odot = 90°$.

3.Точка осеннего равноденствия – точка Весов(♎). Солнце приходит в эту точку 23.9, имея $\delta_\odot = 0°$, $\alpha_\odot = 180°$.

4. Точка зимнего солнцестояния l_1 соответствует положению Солнца 22.12. В этой точке у Солнца наибольшее южное склонение $\delta_\odot = 23°27'S$, $\alpha_\odot = 270°$.

При перемещении по эклиптике солнце меняет экваториальные координаты – прямое восхождение $\alpha_\odot$ и склонение $\delta_\odot$. На *рис 3.11* изменение этих координат при перемещении светила из положения C_2 в C_3 обозначено Δα и Δδ. Так как Солнце движется по эклиптике неравномерно, а так же из-за наклона эклиптики к экватору суточные изменения $\alpha_\odot$ в течение года колеблются от 53,8′ до 66,6′. В среднем $\Delta\alpha_\odot = 1°$ или $4^м$. Суточное изменение $\delta_\odot$ колеблется в течение года от 0 до 0,4°. Наибольшая скорость изменения склонения соответствует дням равноденствия, а наименьшая – солнцестояния. Принимают, что $\Delta\delta_\odot$ в среднем составляет 0,4° в сутки в периоды за месяц до равноденствий и после них, 0,3° во второй месяц до равноденствий и после них, 0,1° – за месяц до солнцестояний и после них. При пересечении Солнцем экватора меняется наименование $\delta_\odot$.

Кроме собственного годового движения, Солнце, как и все светила, имеет суточное движение, которые являются следствием вращения Земли вокруг своей оси. Совместное годовое и суточное движение Солнца происходит по спирали. Действительно, в течение суток 21.04 Солнце в суточном движении описывает параллель, близкую к экватору. Однако за эти же сутки оно переместится приблизительно на 1° по эклиптике из положения ♈ в положение C_1. Это перемещение произойдет в направлении, обратном суточному движению. В результате за сутки 21.03 Солнце опишет на сфере спираль, начало которой находится в точке ♈, а конец в точке C_1. В следующие сутки Солнце опишет спираль между точками C_1 и C_2 и т. д. Промежутки между этими спиралями, т. е. суточные изменения $\delta_\odot$, уменьшаются по мере удаления от экватора. Крайнюю северную параллель – тропик Рака – Солнце опишет22.06, после чего начнет снова приближаться к экватору. После 23.09 Солнце переходит в южное полушарие. Крайнюю южную параллель, называемую тропиком Козерога, оно опишет 22.12. Годовой путь солнца завершится 21.03, когда светило вновь придет на экватор.

Заметим, что из-за наличия у Солнца собственного годового движения, направленного против суточного, промежуток времени между двумя последовательными одноименными кульминациями Солнца на меридиане наблюдателя приблизительно на 4 мин больше, чем у неподвижных заезд. Действительно, за одни сутки Солнце отходит в собственном движении назад в среднем на $1°(4^м)$ и, следовательно, для завершения полного оборота в суточном движении требуется такое же дополнительное время.

Изменение склонения Солнца от 23°27′N до 23°27′S приводит к тому, что на протяжении года в данном месте Земли ежедневно изменяются точки восхода и захода Солнца, продолжительность пребывания его над горизонтом и меридиональные высоты. Эти явления зависят от соотношения между широтой наблюдателя φ и склонением Солнца $\delta_\odot$. В различных широтах возможные соотношения φ и δ будут разными, что определяет особенности в движении Солнца и, как следствие, климатические особенности на поверхности Земли. По последнему признаку земной шар разделен на тропический, умеренный и полярные пояса.

Местное и всемирное время. Соотношения между

гринвичским и местным временем

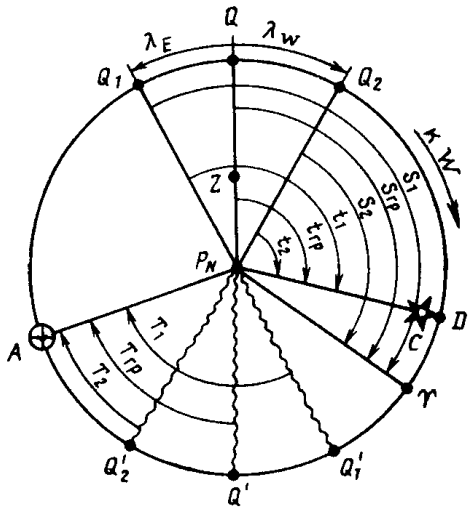


Рис. 3.12. Соотношение между местным и гринвичским временем

Начало средних солнечных суток для любого наблюдателя на Земле соответствует моменту нижней кульминации среднего Солнца на меридиане этого наблюдателя. Следовательно, у наблюдателей, находящихся в разных долготах, сутки начинаются неодновременно и время в один и тот же момент разное. Так как Земля вращается с запада на восток, то у наблюдателей, расположенных восточнее, кульминация происхо-дит раньше и, следовательно, времени боль-ше.

Приведенные рас-суждения справедли-вы и по отношению к звездному времени, а также к часовым уг-лам светил.

Среднее время, отс-читываемое от момен-та нижней кульмина-ции среднего Солнца на меридиане данного наблюдателя, называ-ется ***местным*** и обоз-начается Тм. Местное звездное время обоз-начается Sм, а местные часовые углы, отсчеты которых, как и от-счеты Sм, ведут от моментов верхних кульминаций соответству-ющих светил на меридиане данного места, — $t_м$.

Разность местных времен и часовых углов у наблюдателей, расположенных в разных долготах, равна разности долгот этих наблюдателей, выраженной во временной или дуговой мере.

Для сравнения местных времен и часовых углов на практике используют местное гринвичское время Тгр, Sгр и гринвичские часовые углы $t_{гр}$, отсчет которых ведут от меридиана Гринвича с долготой 0°. Среднее гринвичское время называют также ***всемирным временем***.

Установим соотношения между гринвичским и местным временем и часовыми углами на различных меридианах.

На *рис. 3.12* изображена небесная сфера на плоскости экватора. Отрезок P_NQ — полуденная часть небесного меридиана наблюдателя, находящегося на Гринвиче, отрезок P_NQ'—полуночная часть. Отрезки P_NQ_1 и $P_NQ'_1$ являются полуденной и полуночной частями меридиана наблюдателя, расположенного на Земле к востоку от Гринвича (λ_E), а отрезки P_NQ_2 и $P_NQ'_2$ — к западу от Гринвича (λ_w). Отрезки P_NA, $P_N\Upsilon$ и P_ND являются соответственно меридианами среднего солнца А, точки Овна Υ и какого-либо светила *С*. Дугами показаны местные и гринвичские средние и звездные времена, а также часовые углы светила *С*.

Как следует из *рис. 3.12*, для наблюдателя, расположенного к востоку от Гринвича, действительны соотношения:

$T_1 = Tг + \lambda_E$; $S_1 = S_{гр} + \lambda_E$; $t_1 = t_{гр} + \lambda_E$

Для наблюдателя в западной долготе

$T_2 = Tгр - \lambda_W$; $S_2 = S_{гр} - \lambda_W$; $t_2 = t_{гр} - \lambda_W$

Принимая меридианы наблюдателей за местные, запишем найденные соотношения в общем виде:

$$T_м = T_{гр} \pm \lambda^E_W; \quad S_м = S_{гр} \pm \lambda^E_W; \quad t_м = t_{гр} \pm \lambda^E_W \qquad (3.1)$$

Для перехода от местных величин к гринвичским соотношения имеют вид:

$$T_{гр} = T_м \pm \lambda^E_W; \quad S_{гр} = S_м \pm \lambda^E_W; \quad t_{гр} = t_м \pm \lambda^E_W \qquad (3.2)$$

Для контроля при вычислениях по формулам (3.1) и (3.2) применяют правило «к востоку времени больше». Так как звездное время и часовые углы не имеют дат, к ним можно прибавлять или вычитать 360° ($24^ч$).

При переводе с одного меридиана на другой средних времен иногда приходится изменять дату: вперед, если Т превысило $24^ч$, назад, если $24^ч$ были заняты.

Пример 3.2 **:** 15.XI.1980 г. Тгр = $3^ч19^м30^c$; λ = 95°07,3'W.

Определить Тм.

Решение:

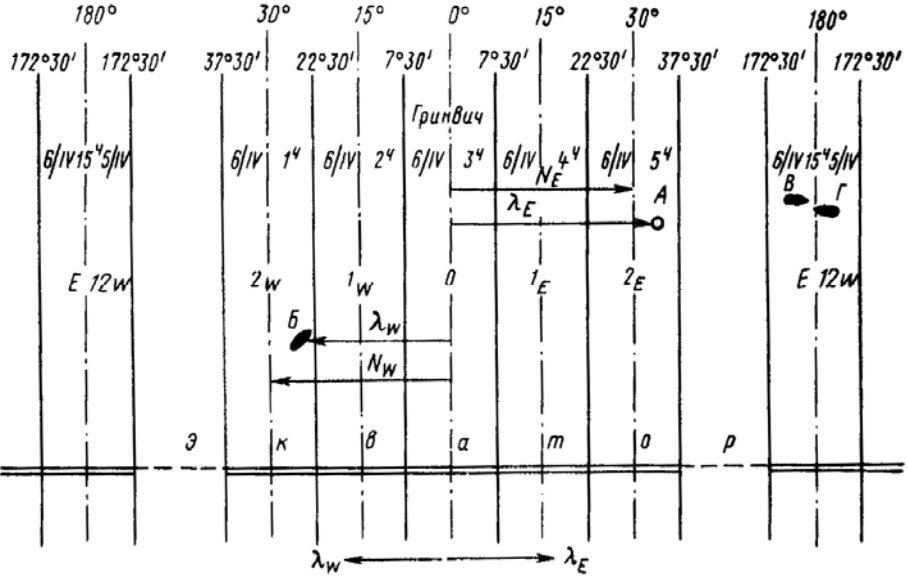
15.XI	Тгр	$3^ч19^м30^c(+24^ч)$
	$-\lambda W$	6 20 29
14.XI	Тм	$20^ч\ 59^м\ 01^c$

Поясное, декретное и судовое время. Линия перемены даты. Служба времени на судне.

Свойства поясного времени. В повседневной жизни и особенно на транспорте пользоваться средним местным временем неудобно. Действительно, при перемещении на восток или на запад надо было бы непрерывно переводить стрелки часов в первом случае вперед, а во втором назад. По этой причине еще в конце XIX в. во многих странах была введена ***поясная система*** счета времени.

В этой системе поверхность Земли разделена на 24 часовых пояса (12 восточных и 12 западных) по 15° ($1^ч$) долготы в каждом. Меридианы 0°, 15°, 30° и т. д., кратные 15°, являются центральными для каждого пояса *(рис. 3.13).* Долготы центральных меридианов, выраженные в часах, соответствуют номеру пояса. Нулевой пояс, центральным меридианом которого является Гринвич, считается начальным. Границами его служат меридианы с долготами 7°30'E и 7°30'W. Границами первого восточного пояса являются меридианы с долготами 7°30'E и 22°30'E, а первого западного — с долготами 7°30'W и 22°30'W и т. д. Двенадцатый пояс одновременно является восточным и западным. Долгота его центрального меридиана 180°, а границами служат меридианы с долготами 172°30'E и 172°30'W. Местное среднее время центрального меридиана пояса принимается одинаковым для всего пояса и называется ***поясным временем*** Тп.

Рис. 3.13. Поясная система счета времени



Поясное время обладает следующими свойствами: разность поясных времен в двух соседних поясах равна $1^ч$, разность поясных времен в двух любых поясах равна разности их номеров; поясное время в любом поясе отличается от гринвичского, т. е. от времени нулевого пояса, на величину номера пояса, т. е.

$$T_n = T_{гр} \pm N\frac{E}{W} \qquad или \qquad T_{гр} = T_n \pm N\frac{E}{W}$$

Теоретически в пределах одного пояса Тм не может отличаться от Тп более чем на $30^м$ (7°30'). Однако на практике границы поясов, особенно на суше, устанавливаются по государственным или естественным (рекам, побережью морей) границам, не совпадающим с меридианами, кратными по долготе 7°30'.

В СССР поясное время было введено в 1919 г. В соответствии с новым административно-территориальным делением союзных республик, краев и областей в 1980 г. постановлением Совета Министров СССР на территории СССР установлены уточненные границы часовых поясов.

Декретом Советского правительства с 16 июня 1930 г. с целью перенести рабочее время на более освещенные часы суток на всей территории нашей страны время было переведено на 1 ч вперед. Поясное время, увеличенное на 1 ч, называется ***декретным временем;*** Тд = Тп $+1^ч$. Сохраняя введенное в 1930 г. декретное время, Совет Министров СССР постановлением 1980 г. «О порядке исчисления времени на территории СССР» установил, что начиная с 1981 г. часовая стрелка будет ежегодно дополнительно переводиться на 1 ч вперед в 0 ч 1 апреля и на 1 ч назад в 0 ч 1 октября, т. е. введено «летнее» и «зимнее» время. Это решение принято в целях дальнейшего повышения эффективности использования и экономии топливно-энергетических ресурсов. В настоящее время перевод стрелок производят в ночь с субботы на воскресенье, ближайшее к указанным датам. Время, по которому устанавливаются часы вовтором восточном поясе России, в пределах которого расположена Москва, называется ***московским временем***.

Судовым временем Тс называется поясное время, принятое на данном судне. Судовое время учитывают с точностью до $1^м$.

Линия перемены даты. Если идти от Гринвича на восток, то в каждом следующем поясе время увеличивается на $1^ч$, а при движении на запад — уменьшается на $1^ч$. Для того чтобы судовое время соответствовало номеру пояса, в котором находится судно, при пересечении границ поясов стрелки часов переводят на $1^ч$ вперед (при следовании в восточном направлении) или назад (при следовании в западном направлении). Перевод часов делают по распоряжению капитана, извещая об этом все судовые службы. В восточной части 12-го пояса времени на $12^ч$ больше, чем на Гринвиче. В западной части того же 12-го пояса часы показывают на $12^ч$ меньше, чем на Гринвиче. Таким образом, у наблюдателей в восточной и западной частях этого пояса в один и тот же момент часы показывают одинаковое время, но даты различные (см. рис.3.12). При этом у наблюдателя в восточной части пояса на календаре значится следующая дата по сравнению с наблюдателем в западной его части.

За границу смены дат принята линия, совпадающая в основном с меридианом 180°. При пересечении этой линии судном, идущим в восточном направлении, начиная с ближайшей полночи, повторяют одну и ту же дату дважды. Если судно пересекает линию смены дат, двигаясь на запад, то после наступления полуночи одну дату выбрасывают из календаря.

Соотношение между гринвичским, местным и поясным временем. На практике необходимо уметь вычислять местное среднее время по известному поясному (судовому) или решать обратную задачу. Переход от Тм к Тп (Тс)

делают приемом «через Гринвич». Он заключается в том, что сначала по Тм в известной долготе наблюдателя вычисляют Тгр, а затем номером пояса переводят Тгр в Тп: $T_{гр} = T_{м} \pm \lambda^{E}_{W}$ и $T_{п} = T_{гр} \pm N^{E}_{W}$

При решении обратной задачи применяют тот же прием: заданное Тп (Тс) переводят номером пояса в Тгр, а затем по Тгр и долготе наблюдателя получают Тм: $T_{гр} = T_{п} \pm N^{E}_{W}$ и $T_{м} = T_{гр} \pm \lambda^{E}_{W}$.

Для определения номера пояса долготу наблюдателя делят на 15°. Если в остатке получается больше 7°30', то частное от деления увеличивают на единицу.

***Пример 3.3*:** 17.XI. Тм = $4^{ч}42^{м}08^{с}$, λ = 67°22,0'W. Определить Тп.

Решение:

17. XI	Тм	$4^{ч}42^{м}08^{с}$
+		
	λ_W	4 29 28
17. XI	Тгр	$9^{ч}11^{м}36^{с}$
-		
	N_W	4
17. XI	Тп	$15^{ч}11^{м}36^{с}$

Пример 3.4: 10.III Тс = $16^{ч}40^{м}$, λ= 147°40,0'E. Определить Тм.

Решение:

10.III	Тс	$16^{ч}40^{м}$
-		
	N_E	10
10.III	Тгр	$06^{ч}40^{м}$
-		
	λ_E	9 51
10.III	Тм	$16^{ч}31^{м}$

Если задано декретное время, то предварительно получают
Тп = Тд – $1^{ч}$.

Стандартное время (Standart Time). В зарубежных пособиях стандартным временем называют систему счета среднего времени, официально принятую в данном районе Земли. Это может быть поясное, летнее, декретное, поясное $\pm 30^{м}$ (как в Индии, Индонезии, Иране, Афганистане, среднем поясе Австралии), местное — определенного пункта (как в Либерии, Гвиане и др.). Стандартные времена показаны на картах часовых поясов (вернее, это карты стандартных времен), приведены в справочниках «Nautical Almanac'e».

Судовое время. Судовые часы должны идти по поясному времени какого-либо пояса, в иностранных же портах и территориальных водах могут быть поставлены по стандартному времени. Пояс, по времени которого следует установить судовые часы, выбирается капитаном из организационных и экономических соображений, например, в иностранном порту судовые часы можно поставить на $1^{ч}$ вперед стандартного; при внутреннем переходе судна через два пояса на часах можно сохранить время исходного пояса, так как предстоит возвращение, и т. п. ***Судовым временем Тс*** называется поясное время того часового пояса, по которому поставлены судовые часы. Номер пояса указывается капитаном и записывается в судовой журнал. Номер пояса, указанный капитаном, очень часто не совпадает со счислимой долготой, поэтому при расчетах он выбирается из журнала, а не определяется по долготе. Судовое время обычно отсчитывается до $1^{м}$, что достаточно для нужд судовой жизни, эксплуатации и навигации при скоростях до 15 – 16 уз (при скоростях до 25 уз время следовало бы замечать до $30^{с}$, а при больших – и до $10^{с}$).

Организация службы времени на судне. Судовая служба времени должна обеспечить выполнение следующих задач:

– хранение точного времени на судне;

– распространение его по объектам;

– получение точного времени на любой момент (что требуется для навигационных и астрономических наблюдений, связи с берегом, для судовой службы и нужд экипажа и пассажиров);

– выполнение различных расчетов, связанных со временем, например перестановка часов, освещенность, эксплуатационные расчеты времени и т. п.

Для выполнения этих задач на судне имеются измерители времени, радиоаппаратура для приема сигналов времени, а также осуществляются организационные мероприятия – служба времени. Судовая служба времени находится в ведении третьего помощника и контролируется старшим помощником и капитаном.

Рассмотрим порядок выполнения основных задач службы времени.

Наблюдение за хранением точного гринвичского времени Тгр. Хранение точного времени обеспечивается хронометрами: механическим или кварцевым, а в некоторых случаях и палубными часами. На судах дальнего плавания должны быть два хронометра, на судах малого плавания — один. Желательно иметь также одни палубные часы. Хронометры должны быть поставлены по Тгр, идти непрерывно и при соблюдении рекомендаций обеспечивать расчет Тгр до $\pm 0{,}5^{с}$. Хронометры нельзя вынимать из штурманского стола, следует следить, чтобы не нарушались условия хранения (температура + 20°, отсутствие сильных магнитных полей, вибраций, ударов). При сильном повышении влажности следует накрыть ящик дополнительным шерстяным чехлом. Все наблюдения по хронометру осуществляются через верхнюю стеклянную крышку. Работа хронометра проверяется ежесуточно по его ходу- он не должен превышать $4^{с}$ и по изменению хода — вариации, которая должна быть порядка $\pm 0{,}5^{с}$ и не более $2{,}3^{с}$. При нарушении этих условий или при порче хронометра его останавливают и сдают на ремонт в навигационную камеру. Ремонт хронометра или его регулировка на судне запрещается.

Примечание. При длительной стоянке или отстое судна хронометр можно остановить, но за 3 сут. до выхода в рейс его следует пустить и проверить работу.

Прием радиосигналов времени, ведение хронометрического журнала. При приеме сигналов времени отметку момента лучше производить непосредственно по хронометру, а не по секундомеру, для чего сигналы должны транслироваться к месту хранения хронометров.Поправку хронометра принимают ежедневно и вносят в журнал. В журнал также заносят вычисленные суточный ход, вариацию и ΔТк.

Наблюдение за хранением судового времени (Тс). Судовые часы, установленные в штурманской рубке и машинном отделении, должны показывать Тс с точностью до $0{,}5^{м}$ без введения поправки и не рассогласовываться больше, чем на эту величину. Часы в других помещениях должны показывать Тс до $1^{м}$. Часы в радиорубке идут по московскому времени с точностью до $6^{с}$. Проверку показаний судовых часов производит третий помощник.

Проверка показаний и согласование судовых часов. Проверку часов производят с помощью «контрольных часов» — хороших часов с центральной секундной стрелкой, выверенных по хронометру до $5^{с}$. Судовые часы должен проверять ежедневно третий помощник. Результаты проверки и регулировки записывают в «журнал (блокнот) часов», где указывают поправку, ход и смещение регулятора: в сторону П — прибавить ход или У — убавить ход. Завод часов производят раз в неделю. За показаниями часов в штурманской рубке должны следить все вахтенные помощники. Согласование показаний часов в штурманской рубке и машинном отделении производят (кроме общей проверки) перед отходом и приходом, перед проходом узкостей, выполнением маневров и входом в туман.

Перевод стрелок судовых часов при пересечении границ пояса. Стрелки всех судовых часов (кроме хронометров и часов в радиорубке) переставляют при переходе границ пояса на 1 ч вперед при следовании к *E* и назад, — при следовании к *W*. Переставляют часы по указанию капитана в зависимости от обстоятельств плавания. Перестановку выполняют с помощью контрольных часов и сразу на $1^{ч}$. Переставлять часы удобнее вечером или ночью.Перестановку часов на стандартное время порта производят при подходе к нему по указанию капитана. О перестановке часов производится запись в судовом журнале.

Смена даты при пересечении линии смены дат. При пересечении линии смены дат, судно продолжает следовать до полуночи, не меняя ее. Для астрономических наблюдений в это время долготу считают сверх 180° в прежнем направлении. В полночь, следующую за переходом, при следовании *E* курсами дату повторяют, при следовании *W* курсами дату увеличивают сразу на два дня.

Проверка секундомеров. Проверку производят пуском секундомера по хронометру на $0^{с}$ любой минуты и остановкой через $15^{м}$, также на $0^{с}$. Для секундомеров, применяемых в астрономических наблюдениях, расхождения не должны превышать $0{,}6^{с}$.

Отметка времени на лентах самописцев. При выходе в рейс третий штурман делает отметку даты и времени на ленте курсографа (до $1^{м}$), согласует ленту барографа с днями недели и помечает на ней дату и время. Отметки на лентах делаются в конце каждой вахты, а на курсографе также при проходе через узкости и перед входом в туман. Все изменения в счете времени также отмечаются на лентах самописцев.

Ежесуточный «штурманский бюллетень». На некоторых бассейнах и судах (по хорошей традиции) принято вывешивать во время рейса в штурманской рубке ежесуточный бюллетень, составляемый третьим помощником. В бюллетене обычно указываются: дату, номер пояса, время начала утренних навигационных сумерек, время Солнца, время кульминации его, захода и конца навигационных сумерек, φ и λ на полдень, высота глаза наблюдателя, последняя поправка хронометра и суточный ход. При необходимости даются и другие сведения.

Выполнение эксплуатационных расчетов времени. Расчеты времен связанные с переходом, например время прибытия или отхода судна, входят также в задачи службы времени. Если пункты отшествия и пришествия лежат в разных часовых поясах, и особенно если при этом пересекается линия смены дат, то при расчете времени прибытия удобнее все расчеты вести в гринвичском времени, а затем перейти на поясное.Все расчеты производятся в соответствии с Методикой, приведенной в описании Астрономических таблиц МТ – 2000 г. (раздел 3).

Пример 3.5: Предстоит переход Рига-Монреаль, средняя скорость 14 уз, время выхода $Т^{с} = 10^{с}$ 25.10. Определить время прибытия по поясному времени Монреаля.

Решение: 1. Из таблицы расстояний Рига – Монреаль — 4246 миль. С карты часовых поясов имеем: для Риги пояс № = $-3^{ч}$ для Монреаля № = $+5^{ч}$. По метеорологическим условиям на маршруте и из предыдущего опыта принимаем потери времени на переходе + $8^{ч}$.

2. Время перехода в среднем

$$\frac{4246}{14} = 303{,}3^{ч} \approx 303^{ч} = 12^{д}15^{ч}$$

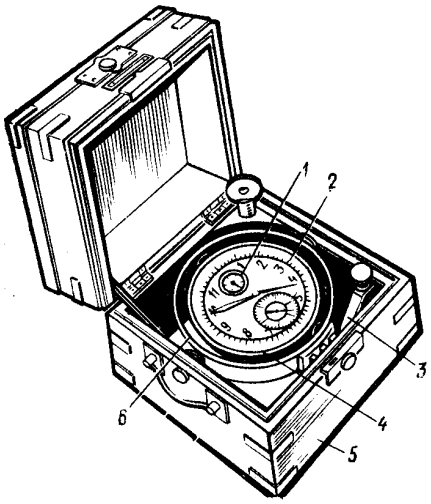
Время перехода с учетом задержек $\Delta T = 12^{д}23^{ч}$.

3.

T_{-3}	$10^{ч}$	25.10 – время выхода
–		
№	3	
Тгр	7	25.10
+		
ΔT	$12^{д}23^{ч}$	Дата: $25^{д} + 13^{д} - 31^{д} = 7.11$
Тгр	6	7.11
–		
№	5	
T_{+5}	$1^{ч}$	7.11 – время прибытия

Судовые измерители времени. Устройство хронометра. Правила эксплуатации. Поправка и суточный ход хронометра

Для измерения времени на судах применяют морские хроно-метры, судовые часы, па-лубные часы и секундоме-ры.



Морской хронометр *(рис. 3.14)* предназначен для определения момен-тов точного гринвичского времени Тгр. Механизм хронометра состоит из следующих основных узлов:

1) *двигателя*, заводная пружина которого приводит в движение части хронометра;
2) *регулятора* (маятни-ка), совершающего колебания со строго постоянным периодом.
3) Для сохранения постоянства колебаний при изменениях температуры он имеет *температурный компенсатор*;
4) *хронометрического спуска*, предназначенного для равномерного пуска и остановки счетного механизма в соответствии с колебаниями маятника;
5) *часового механизма*, включающего в себя систему зубчатых колес и стрелок.

Механизм хронометра вмонтирован в металлический корпус *4,* который сверху завинчивается металлическим кольцом со стеклянной крышкой. *2.* В нижней части корпуса имеется отверстие для завода. Корпус хронометра крепится в ящике 5 с двойной крышкой при помощи карданова подвеса *6,* предохраняющего хронометр от влияния качки. Циферблат хронометра 1 разделен на 12ч.

Часовая и минутная стрелки насажены на ось ходового механизма, конец которой имеет четырехгранное сечение для перевода стрелок при помощи заводного ключа. Малый циферблат, расположенный в нижней части основного, разделен на 60 с. Секундная стрелка двигается толчками по 0,5 с, ее скачки сопровождаются ясно слышимыми ударами. В верхней части основного циферблата находится стрелка счетчика завода, которая при полном заводе хронометра устанавливается на отсчет, 0 ч, а при его остановке – на отсчет 56 ч. Таким образом, стрелка показывает, сколько часов прошло от полного завода прибора.

Морской хронометр хранится в специальном отделении штурманского стола.

Отсчеты хронометра при проведении астрономических наблюдений берут через стекло во второй крышке ящика. Стопор карданова подвеса у работающего хронометра должен быть отдан.

Хронометр заводят ежедневно в одно и то же время, обычно утром в 8 ч. Чтобы завести прибор, открывают обе крышки ящика и аккуратно поворачивают корпус вверх дном. Удерживая корпус в таком положении левой рукой, заводным ключом открывают заслонку отверстия для завода. Вставив заводной ключ, поворачивают его правой рукой против часовой стрелки, делая семь-восемь полуоборотов, что достаточно при ежедневном заводе хронометра. Последний полуоборот делают осторожно, доводя стрелку счетчика завода до положения $4 - 8^{ч}$.

Если хронометр стоял, то после завода его стрелки устанавливают по намеченному Тгр. Для этого закрепляют стопором *3* карданов подвес, отвинчивают кольцо со стеклянной крышкой и надевают заводной ключ на выступающий конец оси стрелок. Поворотом ключа вправо переводят стрелки на нужный отсчет Тгр, согласовывая показания минутной стрелки с секундной. Завинтив стеклянную крышку, пускают хронометр, для чего поворачивают его легким толчком на $40—50^{0}$ вокруг оси. Без такого первоначального толчка, приводящего в движение маятник, хронометр не пойдет.

На небольшие расстояния хронометр переносят на руках при закрепленном стопоре.

При получении на судно нового хронометра следует перед его пуском удалить пробковые клинышки, вставленные под регулятор;

Судовые часы предназначены для фиксации судового времени Тс при ведении счисления и навигационных определениях. Часы служат также для организации службы и повседневной жизни на судне. Циферблат судовых часов разбит на 12 или 24 часовых деления. Заводят их раз в неделю, причем показания часов, установленных в различных служебных и жилых помещениях, согласовываются с часами в штурманской рубке.

Палубные часы представляют собой переносные часы карманного типа с центральной секундной стрелкой, движущейся толчками по $0{,}2^{с}$. Часы устанавливают по Тгр и используют при проведении астрономических наблюдений.

Секундомер служит для измерения небольших промежутков времени при судовых наблюдениях. При помощи пусковой кнопки секундную стрелку пускают в ход, стопорят и по окончании наблюдений возвращают в нулевое положение. Кроме секундной, у секундомеров имеется минутная шкала, которую используют при измерении промежутков времени, превышающих минуту.

Поправка хронометра, ее определение.Показания хронометров вследствие их конструктивных недостатков могут отличаться от Тгр, на которое они устанавливаются. Разность между Тгр и показаниями хронометра Тхр в один и тот же момент называется ***поправкой хронометра***:

$$u_{хр} = Тгр - Тхр.$$

Знак $u_{хр}$ положительный, если Тгр > Тхр (хронометр идет позади Тгр), и отрицательный, если Тгр < Тхр (хронометр идет впереди Тгр).

***Пример 3.6*:** Тгр = $5^{ч}00^{м}00^{с}$, Тхр = $5^{ч}02^{м}17^{с}$. Определить $u_{хр}$.

Решение:

Тгр	$5^{ч}\ 00^{м}\ 00^{с}$
–	
Тхр	5 02 17
$u_{хр}$	$-02^{м}\ 17^{с}$

Значение $u_{хр}$ не может превышать $\pm 6^{ч}$, так как циферблат хронометра разбит на $12^{ч}$.

Чтобы получить на судне Тгр, следует к замеченному моменту хронометра Тхр прибавить поправку хронометра со своим знаком, т. е. $T_{гр} = T_{хр} + u_{хр}$.

Значение $u_{хр}$ для этого определяют ежесуточно по радиосигналам точного времени, которые передают специальные советские и зарубежные радиостанции. Сведения о радиостанциях (их позывные, время работы, частоты и программы передач) помещают в выпускаемом издательством «Стандарты» справочнике «Эталонные сигналы частоты и времени», а также в английском пособии «Описание радиосигналов» и в Извещениях мореплавателям.

Существует несколько программ подачи сигналов точного времени. При работе радиостанции по любой из программ передают не один сигнал, а несколько их серий. Например, советские программы предусматривают передачу в определенное расписанием время секундных сигналов длительностью по $0{,}1^{с}$. Начало каждой минуты отмечается удлиненным до $0{,}5^{с}$ сигналом (звуковое тире).

Принцип определения $u_{хр}$ заключается в том, что в момент подачи определенного заранее намеченного радиосигнала замечают отсчет по хронометру Тхр. Так как гринвичское время Тгр подачи каждого сигнала известно из программы передачи, то:

$$u_{хр} = Тгр - Тхр.$$

Чтобы избежать промаха и уменьшить случайные ошибки наблюдений, $u_{хр}$ обычно определяют по трем – шести сигналам с осреднением результатов.

Сигналы времени принимают двумя способами. Если в штурманской рубке, в которой находится хронометр, есть динамик или наушники, то Тгр в момент подачи намеченных сигналов фиксируют непосредственно по хронометру. При этом сперва замечают показания секундной, затем минутной и часовой стрелок. Полученные результаты заносят в таблицу *(пример* 3.7), после чего вычисляют $u_{хр}$.

Пример 3.7: По принятым на хронометр трем радиосигналам времени первой программы *(табл. 1)* вычислить $u_{хр}$.

Решение: *Таблица1.*

Расчет поправки хронометра по трем сигналам

Тгр сигнала по программе	*Txp*	$u_{хр}$
$5^{ч}55^{м}15^{с}$	$5^{ч}42^{м}05{,}0^{с}$	
56 15	43 05,5	$+13^{м}10{,}0^{с}$
57 10	44 01,0	+13 09,5
		+13 09,0
	$u_{хр_{ср}}$	$+13^{м}09{,}5^{с}$

Если радиоприемник имеется только в радиорубке, то прием сигналов ведут на секундомер. В момент подачи первого из намеченных сигналов пускают его стрелку, а затем замечают отсчеты по идущему секундомеру при подаче второго, третьего и т. д. выбранных сигналов. Подходят к хронометру и в какой-либо заранее намеченный момент T'хр

останавливают секундомер. Показания остановленного секундомера вычитают из T'хр и получают момент по хронометру Тхр, соответствующий первому принятому сигналу. Прибавляя к Тхр записанные моменты секундомера, получим остальные моменты хронометра. Зная Тгр подачи сигналов, определяют $u_{хр}$.

Пример 3.8: В момент подачи сигнала Тгр = $20^{ч}55^{м}0l^{с}$ пустили секундомер. На каждой первой гринвичской секунде замечен отсчет по секундомеру Т *(табл. 2)*. Остановили секундомер при
T'хр = $21^{ч}04^{м}00^{с}$ с показанием в момент остановки Т = $05^{м}28^{с}$. Определить $u_{хр.}$
Проводим расчет в изложенном выше порядке.

Решение:

Таблица 2.

Расчет $u_{хр}$

Тгр сигнала по программе	Показания секундомера *Т*	*Тхр*	$u_{хр}$
$20^{ч}55^{м}01^{с}$	$0^{м}\ 00,0^{с}$	$20^{ч}58^{м}32,0^{с}$	$-03^{м}31,0^{с}$
55 01	1 00,2	59 32,2	– 03 31,2
57,01	2 00,2	21 00 32,0	– 03 31,0
	$u_{хр_{ср}}$		$-03^{м}31,0^{с}$

На практике $u_{хр}$, как правило, определяют по сигналам времени широковещательных радиостанций, которые подают 6 звуковых точек в конце 59-й минуты каждого часа. Начало первой точки соответствует $59^{м}55^{с}$ текущего часа, а начало последней шестой – $00^{м}00^{с}$ очередного часа. При определении $u_{хр}$ по сигналам широковещательных радиостанций можно также вести прием сигналов непосредственно на хронометр или на секундомер. При этом рекомендуется брать два сигнала — первый и последний.

Суточный ход хронометра.Поправка хронометра не остается постоянной. Хронометры или спешат, или отстают. Изменение $u_{хр}$ за некоторый промежуток времени называют ***ходом хронометра***.Изменение поправки хронометра за 1 сут, называется ***суточным ходом хронометра,***

$$\omega = (u_{хр_2} - u_{хр_1})/\Delta T, \qquad (3.3)$$

где $u_{хр_1}$ — предыдущая поправка; $u_{хр_2}$ — последующая поправка; ΔТ – промежуток времени, сутки и их доли.

Знак суточного хода определяют по формуле (3.3), при этом можно также руководствоваться правилом: хронометр отстает – суточный ход положителен, хронометр спешит – суточный ход отрицателен.

Пример 3.9: I5.V в Тгр = $10^{ч}00^{м}$ имели $u_{хр_1} = +2^{м}34^{с}$; 26.V в Тгр = $10^{ч}00^{м}$ определили $u_{хр_2} = +1^{м}59^{с}$. Определить ω.

Решение: $$\omega = \frac{(+1^{м}59^{с}) - (+2^{м}24^{с})}{11,0^{д}} = \frac{-25,0^{с}}{11,0^{д}} = -2,3^{с}$$

По техническим условиям абсолютное значение ω при температуре от +6 до +36 °С не должно превышать $4^{с}$.Качество хронометра определяется постоянством суточного хода. Среднее изменение и за 1 сут не должно быть больше $0,5^{с}$.

Для суждения о работе хронометра ω выводят каждые сутки из двух поправок, разделенных промежутком времени в 5 – 6 сут. Суточным ходом пользуются также для вычисления поправки хронометра, если ее почему-либо не удалось получить по радио, а также для получения $u_{хр}$ на момент астрономических наблюдений.

В указанных случаях определяемая поправка:

$$u_{хр_2} = u_{хр_1} + \omega\Delta T,$$

где $u_{хр_1}$ — последняя известная поправка; ΔТ — промежуток времени между моментами определения поправок, сутки и их доли.

Таблица 3.

Журнал поправок хронометра

Дата	Тгр позывные станции	Хронометр №			Примечание
		Момент по хронометру	Поправка хронометра	Суточный ход	
1.IV.86	10.00 «Москва»	9–56–28	+3 – 32	–	—
1.IV.86	10.00 »	9–56–31	+3 –29	– 3,0	
3.IV.86	10.00 »	9–56–34	+3 –26	– 3,0	

Пример 3.10: 10.III Тгр =$18^{ч}00^{м}$; $u_{хр_1} = -21^{м}10^{с}$; ω = $+2,5^{с}$;
12.III Тгр = $06^{ч}00^{м}$. Определить $u_{хр_2}$.

Решение:
ΔТ = $1.5^{д}$; $u_{хр_2} = -2^{м}10^{с} + (+2,5^{с})\ 1,5^{д} = -2^{м}10^{с} + 0^{м}3,8^{с} = -2^{м}06^{с}$.

Поправку хронометра и суточный ход ежедневно записывают в судовой журнал поправок хронометра *(табл. 3).*

Звездное небо. Звездный глобус и задачи, решаемые

с его помощью

Звезды и созвездия.Совокупность всех светил, видимых ночью, называется звездным небом. Древние астрономы распределили звезды по группам, или созвездиям, которым были присвоены различные названия: Большая и Малая Медведицы, Орион, Пегас, Андромеда, Лебедь, Персей, Кассиопея и др.

Видимые простым глазом звезды были разделены на шесть групп по их яркости. Самые яркие были названы звездами первой величины, а самые слабые – шестой. Подробные списки звезд с их координатами приводятся в звездных каталогах, которые охватывают 88 созвездий.

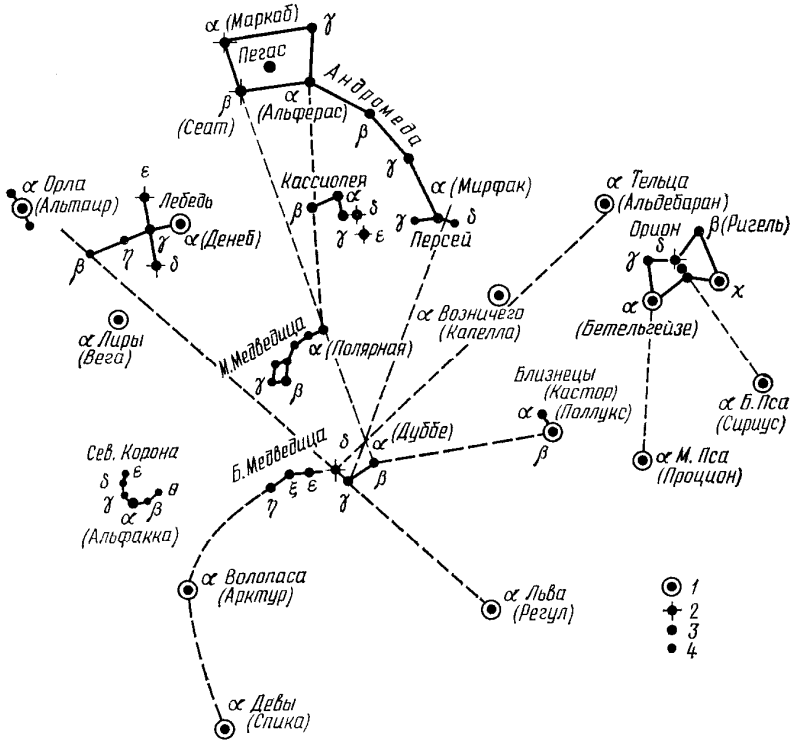


Рис. 3.15. Схема расположения созвездий и ярких звезд

В **МАЕ** ***(морской астрономический ежегодник)*** приводятся координаты 159 наиболее ярких, так называемых навигационных звезд, входящих в 48 созвездий. Наиболее яркие звезды имеют свои собственные названия, другие обозначаются буквами греческого алфавита с добавлением названия созвездия.

Судоводитель должен знать расположение не менее 40 звезд, чтобы пользоваться ими при определении места судна.

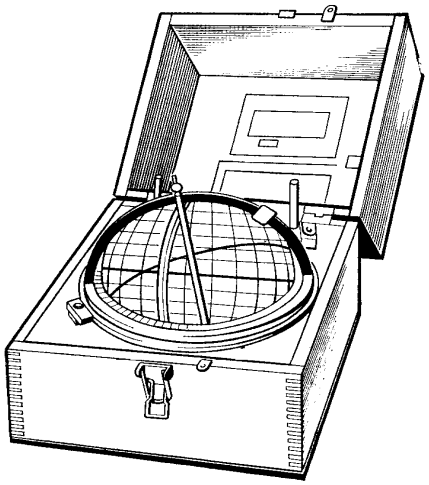
При изучении звездного неба северных широт исходным ориентиром является созвездие ***Большая Медведица***, имеющее вид ковша с изогнутой ручкой *(рис. 3.15)*. У этого созвездия семь основных звезд. Если через звезды β и α провести линию и продолжить ее в сторону звезды α примерно на пятикратное расстояние между ними, увидим ***Полярную звезду*** — α Малой Медведицы.

Созвездие Малой Медведицы также имеет вид ковша, но меньшего размера и состоит из слабых по яркости звезд.

Если линию, соединяющую звезды β и α Большой Медведицы, продолжить еще дальше, найдем созвездие ***Пегаса***, имеющее форму большого квадрата. У этого созвездия две яркие звезды: α (***Маркаб***) и β (***Сеат***). На продолжении линии, проходящей через звезды γ и δ Большой Медведицы, видим сразу три созвездия: ***Лиры*** с яркой звездой α (***Вега***), ***Орла*** с яркой звездой α (***Альтаир***) и ***Лебедя*** с яркой звездой α (***Денеб***). На звездном небе звезды Вега, Альтаир и Денеб являются вершинами треугольника больших звезд. Продолжив кривую ручку созвездия Большой Медведицы в направлении от Полярной, встретим яркую звезду созвездия ***Волопаса*** α (***Арктур***). Продолжая эту дугу еще дальше, увидим наиболее яркую звезду созвездия ***Девы*** — α (***Спика***). Рядом с созвездием Волопаса расположено созвездие ***Северной Короны*** с яркой звездой в середине — α (***Альфакка***).

В направлении от звезды δ к ♈ Большой Медведицы встречаем созвездие ***Льва*** с яркой звездой α (***Регул***). На линии звезды δ Большой Медведицы с Полярной увидим созвездие ***Кассиопеи*** в форме буквы W. Созвездие ***Андромеда***, которое начинается от квадрата Пегаса, имеет вид дуги. На продолжении линии звезд γ – α Большой Медведицы встречаем созвездие ***Персея*** с яркой звездой α (***Мирфак***). На продолжении линии звезд δ и α Большой Медведицы находим созвездие ***Возничего*** с яркой звездой α (***Капелла***). На этой же линии расположено созвездие ***Тельца*** со звездой α (***Альдебаран***).

Если провести линию через звезды δ и β Большой Медведицы и продолжить ее в сторону звезды β, увидим созвездие ***Близнецов*** с яркими звездами α (***Кастор***) и β (***Поллукс***). На продолжении этой линии находим созвездие ***Большого Пса*** с яркой звездой α (***Сириус***). Между звездами Поллукс и Сириус находится созвездие ***Малого Пса*** со звездой α (***Процион***). Между звездами Альдебаран и Сириус расположено созвездие ***Орион***, имеющее вид трапеции, внутри которой находятся три звезды, называемые ***поясом Ориона***. В этом созвездии имеются две яркие звезды α (***Бетельгейзе***) и β (***Ригель***).



Устройство и назначение звездного глобуса

При определении места судна необходимо знать название главных звезд и созвездий. Если наблюдатель по каким-либо причи-нам не смог определить название звезды, то в этом случае пользу-ются звездным глобусом. Глобус используют также для подбора звезд при определении места судна в сумерки.

Звездный глобус пред-ставляет собой пустотелый шар, изображающий не-бесную сферу *(рис. 3.16)*. На его поверхности нанесены небесный эква-тор, эк-липтика, мериди-аны, параллели, а также главнейшие звезды и соз-вездия. Мери-

дианы про-ведены через 15° (или $1^ч$), а параллели – через 10°.

Над экватором нанесе-ны надписи от 0 до 360°, кратные 10°, а под экватором – деления обозначены цифрами I, II, III, IV. V и т. д., которые означают часы звездного местного времени ($S_м$ или $t_м\,\Upsilon$). Счет $S_м$ и α ведется по экватору от точки Овна Υ, возле которой нанесены цифры 360° и XXIV. Ось глобуса является осью мира, на концах которой расположены полюса. У северного полюса мира P_N располагается Полярная звезда (Polaris). Глобус свободно вращается в медном кольце прямоугольного сечения, которое проходит через выступающие концы оси. На этом кольце, изображающем меридиан наблюдателя, нанесены деления через один градус, причем на экваторе находится 0°, а у полюсов – 90°.

Рис. 3.16. Звездный глобус

Глобус вложен в деревянный футляр так, что половина его располагается внутри, а другая — снаружи. Горизонтальное металлическое кольцо внутри ящика изображает истинный горизонт, На кольце нанесены деления в градусах по четвертной системе и румбы, а в точках *N* и S имеются прямоугольные вырезы, в которые вставляется кольцо, изображающее меридиан наблюдателя.

Сверху на глобус надевается металлическая крестовина вертикалов, расположенных под углом 90° друг к другу. На одном из двух вертикалов крестовины нанесены градусные деления от 0 до 90°. По дуге вертикала скользит специальный указатель с индексом. При помощи крестовины вертикалов определяют азимуты и высоты светил.

На поверхности звездного глобуса нанесено около 170 наиболее ярких звезд и надписаны наименования созвездий. Солнце, Луна и планеты на глобус не нанесены, так как их координаты непрерывно изменяются. При необходимости их наносят на глобус по выбранным из МАЕ координатам мягким цветным карандашом, имеющимся в комплекте.

Для решения задач на глобусе его нужно установить по широте места φ и местному звездному времени $S_м = t_м\,\Upsilon$.

Для установки глобуса по широте повышенный полюс мира, наименование которого соответствует наименованию широты наблюдателя, устанавливают над одноименной точкой истинного горизонта. Отсчет по меридиану наблюдателя у горизонта должен быть равен 90° – φ. Затем, вращая глобус вокруг оси, устанавливают его по Sм. Для этого под дугой меридиана наблюдателя располагают отсчет на экваторе, равный местному звездному времени.

Решение задач с помощью звездного глобуса.Определение названия наблюдаемой звезды или планеты.

Для определения названия неопознанной звезды выполняют следующие действия.

1. Измеряют секстаном высоту звезды $ОС_*$. По компасу определяют ее пеленг КП. Замечают время по судовым часам Тс.
2. С карты снимают φ_c и λ_c.
3. Рассчитывают Тгр по формуле $Тгр = Тс \mp N\frac{E}{W}$.
4. Выбирают из МАЕ $t_{гр}\,\Upsilon$ переводят его долготой в $t_м\,\Upsilon = S_м$
5. Устанавливают глобус по широте φ_c и звездному местному времени Sм.
6. Переводят КП в ИП, выражают его в четвертной системе.
7. Надевают на глобус крестовину вертикалов. Устанавливают вертикал на величину вычисленного ИП — азимута, а индекс указателя — на измеренную высоту.
8. Под индексом или около него находят наблюдаемую звезду. Если под индексом не окажется звезды, то, очевидно, наблюдалась какая-либо планета. Сняв точки α и δ под индексом, с помощью МАЕ решают вопрос, какая в этом случае наблюдалась планета.

Определение по звездному глобусу высоты и азимута светил на заданный момент и подбор звезд для определения места судна.

Для решения этих задач вычисляют по МАЕ величину $S_м = t_м\,\Upsilon$ на заданный момент. Устанавливают глобус по φ_c и $t_м\,\Upsilon$. Подбирают две или три звезды с высотами и азимутами, удовлетворяющими требованиям наблюдений. Записывают названия звезд, их азимуты и высоты, которые снимают с глобуса.

Пример 3.11: 25/III 1982 г. $Тс = 19^ч54^м$; $\varphi_c = 22°18'N$; $\lambda_c = 36°37'E$; $ОС_* = 48°30'$; $КП_* = 253°$; ΔМК = +2°. Определить название светила.

Решение:

1. Рассчитываем Тгр

25/III Тс = $19^ч54^м$

\–

$N_E = 2^ч$

25/III Тгр = $17^ч54^м$

2. Выбираем из МАЕ $t_{гр}\,\Upsilon$ и переводим его в $t_м\,\Upsilon = S_м$.

25/III в Тгр = $17^ч$ $t_{гр}\,\Upsilon$ = 77°49,5'

Изм. за ΔТгр = $54^м$ $t_{гр}\,\Upsilon$ = 13°32,2'

25/III в Тгр = $17^ч54^м$ $t_{гр}\,\Upsilon$ = 91°21,7'

\+

λ_E = 36°37'

$t_м ♈ = 127°58,7' \approx 128°$

3. Вычисляем А. $A = КП + \Delta МК = 253° + 2° = 255° = 75°SW$.
4. Устанавливаем глобус по φ_c и $t_м ♈$, ставим вертикал по азимуту $A = 75°SW$, а указатель – по высоте $h_* = 48,5°$ и под индексом
находим: звезда α Ориона.

Пример 3.12: 1/X 1982 г. Тс = $21^ч47^м$; $\varphi_c = 55°14'N$; $\lambda_c = 7°40'E$; $\Delta МК = +1°$. Подобрать две звезды для наблюдений, определить их приближенные координаты.

Решение:

1. Рассчитываем Тгр:

1/X Тс = $21^ч47^м$
–
$N_E = 1^ч$
1/X Тгр = $20^ч47^м$

2. Выбираем из МАЕ $t_{гр} ♈$ и переводим его в $t_м ♈ = S_м$

1/X Тгр = $20^ч$ $t_{гр} ♈ = 310°\ 13,2'$
Изм. за ΔТгр = $47^м$ $t_{гр} ♈ = 11°46,9'$
$t_{гр} ♈ = 322°00,1'$
–
$\lambda_E = 7°40'$
$t_м ♈ = 329°40,1' \approx 330°$

3. Устанавливаем глобус по φ_c и $t_м ♈$. С помощью крестовины вертикалов подбираем две яркие звезды с разностью азимутов, близкой к 90°:
α Змееносца: $h = 24°$, $A = 78°SW$;
β Б. Медведицы: $h = 23°$, $A = 9°SN$.

Общий и частный способы исправления высот светил по таблицам

Общий случай исправления высот светил, измеренных над видимым горизонтом.

Общая формула исправления высот.

Высоты, измеренные в море над видимым горизонтом, исправляются в общем порядке. Сводя вместе поправки, получим общую формулу исправления высот:

$$h = oc + i + s + (-d) + (-\Delta h_\rho) + \Delta h_p + \Delta h_{t,B} \pm R, \qquad (3.4)$$

где d – наклонение горизонта из таблиц или по наклономеру;
Δh_ρ – поправка за среднюю астрономическую рефракцию;
Δh_p – поправка за суточный параллакс;
$\Delta h_{t,B}$ – поправки за температуру и давление (поправки астрономической рефракции);
R — видимый угловой полудиаметр светила.

После инструментальных поправок первой всегда вводится поправка за наклонение и получается “видимая высота” $h_B = h' + (-d)$. Все остальные поправки получают по аргументу "видимая высота". Применяются два приема введения поправок: по таблицам “раздельных поправок” и по таблицам “общих поправок”.

Для исправления измеренных высот светил применяются таблицы при ВАС – 58, ТВА – 57, МАЕ (начиная с 2000 г.),МТ –2000 (описание III Г. – исправление измеренных высот светил: таблицы – 3.20 – 3.31), МТ – 75, где приведены таблицы раздельных поправок; этот прием и является теперь основным. Исклю- чение составляют таблицы поправок Луны, где всегда применяются “общие поправки”.

Исправление высот по таблицам раздельных поправок.

Исправление высот звезд и планет. При исправлении высоты звезды, измеренной над видимым горизонтом, в общей формуле $\Delta h_p = 0$ и $R = 0$, поэтому

$$h = oc + i + s + (-d) + (\Delta h_\rho) + \Delta h_{t,B}. \qquad (3.5)$$

При определении места по звездам в формулу (3.5) входит еще поправка за приведение к одному зениту Δh_z, она же входит в общие схемы исправления высот, но вопрос о ней решается в конкретных задачах (ее можно ввести и графически), поэтому в общую формулу Δh_z не вводят.

Поправки *d,* Δh_ρ, $\Delta h_{t,B}$, выбираются из соответствующих таблиц на обложке ВАС – 58 , по табл. 11-а, 9-а и 14-а,б МТ – 75, МАЕ (начиная с 2000 г.), МТ –2000 (описание III Г. – исправление измеренных высот светил: таблицы – 3.20 – 3.31), причем теоретически следует сначала ввести *d* и уже с Δh_B входить в остальные таблицы; практически же для звезд и планет поправки выбираются по *ос* и суммируются.

При исправлении высоты планеты сохраняется еще поправка , Δh_p, которая выбирается из таблиц внизу обложки ВАС – 58, ТВА – 57 или по табл. 9-6 МТ – 75 по параллаксу p_o, выбранному из МАЕ (начиная с 2000 г.), МТ –2000 (описание III Г. – исправление измеренных высот светил: таблицы – 3.20 – 3.31).

Пример 3.13: 11.05.85 г. в утренние сумерки измерили высоты звезды α Скорпиона ос = 18°15,5' и Венеры ос = 14°45,3'; *oi* = 359°59,3'; S_1 = +0,4'; S_2 = +0,3'; t = 0°; В = 770 мм; *e* =11,5 м,

Исправить высоты по ВАС – 58 и МТ – 75

*Решение:*1. i = 360° – 359°59,3' = +0,7'; из МАЕ для Венеры p_0 = 0,3.

2.	α Скорпиона	Венера
ос	$18^0$15,5'	$14^0$45,3'
i+s	+1′,1	+1′,0
d	–6′,0	–6′,0 табл. 11–а,3.20,3.21 МТ-2000 г. (то же по табл. ВАС-58,МТ-75,МАЕ)
h_B	$18^0$10,6'	$14^0$40,3'
Δh_ρ	–2′,9	–3′,6 табл. 9-а,3.22 (тоже по ВАС-58,ТВА-57,МАЕ,МТ-2000)
Δh_p		+0′,3 табл. 9-б (то же по ВАС-58, ТВА-57,МАЕ,МТ-2000)
$\Delta h_{t,B}$	–0′,1	–0′,3 табл. 14-а,б (тоже по ВАС-58,ТВА-57,МАЕ,МТ-2000)
h	$18^0$07,6'	$14^0$36,7'

Примечание. Из примера видно, что для звезд и планет исправление по ВАС-58 и МТ-75 совершенно одинаково.

Исправление высот Солнца раздельными поправками. При исправлении высот Солнца этим приемом формула (3.4) сохраняется целиком, объединены только ρ и р, т.е.

$$h = h' + (-d) + (-\Delta h_{\rho+p}) + \Delta h_{t,B} \pm R\frac{\odot}{\odot}$$

Таблицы раздельных поправок помещены на обложке ВАС –58, МТ-63 (табл. 11–14), МАЕ (начиная с 2000 г.), МТ – 2000 (описание III Г. – исправление измеренных высот светил: таблицы – 3.20 – 3.31). В МТ – 75 раздельных поправок для Солнца нет, хотя поправка *d* вводится отдельно. Для Солнца возможны измерения малых высот – вплоть до 0°, при которых сначала надо обязательно получить h_B чтобы с ней входить в остальные таблицы, поэтому и в общей схеме сначала получают h_B.

Пример 3.14: 02.02.85 г. измерили высоту нижнего края Солнца (⊙); ос = $23^0$37,8'; oi_1 = 0°33,6'; oi_2 = 359°28,2'; S = –0,4';
t = -5^0; В = 765 мм. Исправить высоту по ВАС – 58.

Решение:

ос	$23^0$37,8'
i+s	–1,3
Δh_d	–5,4
h_B	$23^0$31,1'
$\Delta h_{\rho+p}$	–2,1
R	+16,3
$\Delta h_{t,B}$	–0,2
h	$23^0$45,1' Таблицы МТ-63 дают тот же результат (по МТ–75 h = $23^0$37,0')

Исправление высот по таблицам общих поправок. Таблицы общих поправок должны объединять поправки формулы (3.4) в одну, кроме поправок за температуру и давление. В МТ – 63 такими таблицами являлись табл. 8-а, б для Солнца и табл. 9-а, б для звезд и планет. В МТ – 75 таблицы для Солнца, Луны (и звезд) требуют предварительного введения наклонения по табл. 11-а, т. е. собственно являются не общими, а смешанными.

Исправление высот Солнца по МТ–75, МТ–2000, МАЕ. Общую формулу исправления высоты можно записать в виде

$$h = h' + (-d) + [-\Delta h_\rho + \Delta h_p \pm Rcp] + \Delta h_{t,B}.$$

Поправки d, Δh_t и Δh_B, как обычно, выбирают из табл. 11-а, 14-а, б; первым, как обычно, вводят наклонение. Поправки в квадратных скобках объединены в одну табл.8, имеющую четыре колонки:по датам «апрель — сентябрь», где Rcp принят равным 15,89', и «октябрь — март», где Rcp принят 16,15'; по краям Солнца для нижнего +Rcp и для верхнего –Rcp. Входить в таблицу надо с тремя аргументами: датой, видимой высотой h_B и краем Солнца, по которым получаем общую поправку Δh. До 10^0 табл.8 требует интерполяции, с 10^0 (9°34') табл. 8 является безынтерполяционной. В таком виде табл. 8 очень близка к таблицам в англо-американском «Nautical Almanac».

Формула для исправления высоты Солнца примет вид

$$h = oc + (i + s - d) + \Delta h + \Delta h_{t,B}.$$

Пример 3.15. 2.10.85 г. измерили высоту нижнего, а затем верхнего краев Солнца:
$oc_{\odot} = 10°48,6'$; $oc_{\overline{\odot}} = 12°04,8'$; $i + s = +0,8'$; $e = 13,2$ м;

$t = \overline{+}5°$; B = 770 мм. Исправить высоту Солнца по МТ – 75 и сравнить с результатом по ВАС – 58. *Решение:*

	⊙	$\overline{\odot}$	
oc	10°48,6'	12°04,8'	
i+s	+0,8	+0,8	
Δh_d	-6,4	-6,4	(табл. 11-а)
h_B	10°43,0'	11°59,2'	
Δh	+11,3	-20,5	(табл. 8)
$\Delta h_{t,B}$	-0,2	-0,2	(табл. 14-а,б)
H	10°54,1'	11°38,5'	

Исправление высоты по ВАС – 58 раздельными поправками дает 10°54,0' и 11°38,7'.

При исправлении высот Солнца по табл.8 возможны ошибки за отклонение $R_{\odot}$ от Rср, которые в первые три дня января, апреля, июля и октября достигают 0,14'; в остальные даты – не более 0,1'. В рассмотренном примере высоты отличаются на 0,1' и 0,2' от значений, полученных по таблицам ВАС – 58. Следует отметить, что исправление высот Солнца по МТ – 75, на наш взгляд, менее удобно, чем по ВАС – 58, так как надо входить в три таблицы на разных страницах; вход в табл. 8 более сложен, а точность ее меньше.

Исправление высот Луны. Таблицы для исправления высот Луны, помещенные в ВАС – 58, МТ – 75 и в МТ – 53, вычислены по несколько отличающимся формулам и, кроме того, имеют разное устройство. Табл. 10 МТ – 75 и таблица при ВАС – 58 рассчитаны по формулам:

$\Delta h_{\text{☾}} = -\rho_0 + p + R'$

$\Delta h_{\overline{\text{☾}}} = -\rho_0 + p - R'$

$\text{Sin}\,\overline{p} = (1 - \alpha\sin^2\varphi)\sin p_0 \cos h_{\text{тц}}$ (3.7)

$\text{Sin}\, p = \sin p_0 \cos h'$ (3.6)

$\text{Sin}\, R\otimes = 0,2725 \sin p_0$ (3.8)

$R' = R / (1 - 2\sin p/2\, \sin(h - p/2)\, \sec(h - p))$, (3.9)

где *p* — в МТ–75 вычислен по формуле (3.7), а в ВАС–58 — по формуле (3.6); .
R' — в МТ–75 вычислен по формуле (3.9) с учетом (3.8), а в ВАС–58 — по формуле (3.8).

Следовательно, табл. 10 рассчитана по более точным формулам, учитывающим параллактическое увеличение радиуса и форму Земли. Устройство табл. 10 также отличается от других— поправки для верхнего и нижнего краев расположены рядом в одной колонке параллакса; аргументами служат параллакс Луны (через 1′) и видимые высоты (через 1°), поэтому требуется двойная интерполяция, причем для параллакса— через колонку.

В ВАС — 58 поправки нижнего края Луны расположены слева, верхнего — справа, для выборки также требуется p_o и h_B Луны, поэтому предварительно из МАЕ на данную дату, с интерполяцией по Тгр выбирают $p_{\text{☾}}$; затем из таблиц выбирают Δh_d и получают h_B. Исправление высот Луны производится по следующей формуле:

$$h = oc + (i + s - d) + \Delta h_{\text{☾}} + \Delta h_{t,B}$$

Пример 3.16: 10.05.85 г. около Тгр = 18ч, $oc_{\overline{\text{☾}}}$ = 27°26,5', i + *s* = –0,8', e = 14,5 м, t = +25°, *B* = 750 мм. Исправить высоту Луны по ВАС–58.

Решение: $p_{\text{☾}} = p_0 + \frac{\Delta p}{24} \cdot 18 = 57,4' + (-0,9' \cdot 0,75) = 56,7'$

2.

oc	27°26,5'
i+s	-0,8
Δh_d	-6,7
h_B	27°19,0'
$\Delta h_{\text{☾}}$	+64,0
$\Delta h_{t,B}$	+0,1
h	28°23,1'

Примечание. По МТ–75 поправка $\Delta h_{\text{☾}}$ = 63,9', по английским таблицам из N.A = 63,8', т. е. эта поправка по разным таблицам отличается на 0,2 – 0,3'.

Частный случай исправления высот светил

К частным случаям относятся измерения высот любого светила, выполненные необычным приемом или не над видимым горизонтом, в связи с чем порядок исправления высот изменяется.

Исправление высот измерения высот, последнее время при-измерении не толь-ко возможность вы-явить

Исправление высот Рекомендуется из-Солнца, т. е. касаясь измерении является таблицами. По +i+s-d т. е. высота 180^0 и получить $h\frac{H}{B}$,

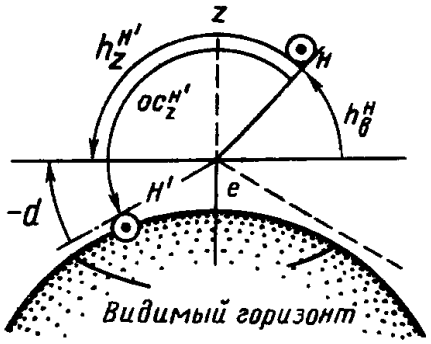


Рис. 3.17

светил, измеренных «через зенит». Этот прием возможный при высо-тах, больших 45—50°, за обретает распростра-нение и применяется при высот Солнца, но и высот других светил (он дает ошибки и промахи).

Солнца, измеренных «через зенит».

мерять высоту, «погружая в море» изображение горизонта краем н' *(рис. 3.17),* который при обычном нижним (н). Исправлять высоту можно с любыми полученному ос выбирают s и получают $h\frac{H'}{Z}$ = *ос* приводится к истин горизонту. Эту $h\frac{H'}{Z}$ надо вычесть из которая и исправляется в обычном порядке (раздельными или общими поправками). Формула для исправления имеет вид:

$$h = [180° – (oc + i + s – d)] + (– p_o + p) \pm R$$

При этих высотах поправки $\Delta h_{t,B,}$ обычно меньше 0,1', и ими пренебрегают.

Пример 3.17: 12.05.85 г. измерена высота Солнца «через зенит»: $oc\frac{H'}{Z}$ = 121°32,6'; oi_1 = 359°27,4'; oi_2 = 0°31,0'; s = +0,5';

E = 12,2 м. Исправить высоту по ВАС – 58, ТВА – 57, МАЕ.

Решение: 1. Контроль: $oi_2 – oi_1$ = 63,6' (по МАЕ 63,6');

$$i = \frac{+2{,}6 - 1{,}0}{2} = +0{,}8; \quad i + s = 1{,}3'$$

2. По табл. ВАС – 58, ТВА – 57, МАЕ :

$oc\frac{H'}{Z}$	121°32,6'
i + s	+1,3
Δh_d	– 6,2
$h\frac{H'}{Z}$	121°27,7'
$180–h_z$	58 32,3
$\Delta h_{\rho+p}$	– 0,5
R	+15,9
h	58°47,7'

Аналогичный результат получается при исправлении высот по таблицам МТ–75,МТ– 2000.

Исправление высот звезд и планет, измеренных «через зенит». Формула для исправления имеет вид:

$$h = [180° – (oc + i + s – d)] + (–\rho) + (p),$$

где поправка p вводится для планет.

Пример 3.18: 10.05.85 г. измерена высота Венеры «через зенит»: oc_z = 112°22,5'; i = – 0,7'; s = + 0,4', *e* = 15,3м. Исправить высоту.

Решение: Из МАЕ p_o = 0,3' (см. приложение 4)

oc_z	112°22,5'
i+s	-0,3
d	-6,9
$h\frac{Z}{B}$	112°15,3'
h_B	67°44,7'
Δh_ρ	-0,4
Δh_p	+0,1
h	67°44,4'

Примечание. При исправлении высот Венеры, измеренных днем, надо вводить еще поправку за фазу.

Исправление высот светил, измеренных над «береговой чертой». При исправлении высот, измеренных над близким предметом (по терминологии МТ – 75 «препятствием»), т.е. над урезом воды или над ватерлинией соседнего судна, вместо наклонения горизонта вводится поправка $d_п$ за наклонение зрительного луча. Таблицы наклонения зрительного

луча приведены в МТ – 75 (табл. 11-6), в МТ – 63 (табл. 11-а) и ТВА–57 (табл. 1-6). В ВАС – 58 их нет, так как этот случай измерения довольно редок. После введения поправки $d_п$ и получения $h_В$ порядок исправления остается обычным.

Пример 3.19: 24.05.85 г. измерили высоты Солнца над ватерлинией соседнего судна, расстояние до него по локатору Dп = 33 кбт, $oc_{\odot}$ = 18°37,5'; i + s = – 0,6'; *e* = 6,7 м; t = – 18°; B = 755 мм.

Исправить высоту по МТ – 75.

Решение:

$oc_{\odot}$	18°37,5'	
i+s	– 0,6	
$d_п$	– 5,2	(табл. 11-6)
$h_В$	18°31,7'	
Δh	+13,2	(табл. 8)
$Δh_{t,В}$	+0,1	(табл. 14-а, б)
h	18°45,0'	

Исправление высот, измеренных секстанами с искусственным горизонтом.

Секстаном с искусственным горизонтом измеряется высота над истинным горизонтом *(d = 0),* причем не края, а центра светила *(R* = 0), поэтому формулы исправления высот примут вид:

$$h_{\odot} = oc + (I + s) + (- \rho_0) + p + \Delta h_{t,B}$$

$$h_{*} = oc + (i + s) + (- \rho_0) + \Delta h_{t,B}$$

$$h_{☾} = oc + (i + s) + (- \rho_0) + p_{☾}\cos h + \Delta h_{t,B}$$

Поправками $\Delta h_{t,B}$ при этих измерениях обычно пренебрегают. При исправлении высот Солнца и Луны по МТ – 75 общую поправку можно получить как полусумму поправок верхнего и нижнего краев, т. е.

$$\Delta h = \frac{1}{2}(\Delta h_{\underline{\odot}} + \Delta h_{\overline{\odot}})$$

Равноценным приемом получения Δh является добавление $R_{\odot}$ из МАЕ к поправке нижнего края. Для звезд применяется поправка из табл. 9-а. Исправление высот, измеренных теодолитом, производится по этим же формулам, но со всеми поправками до 0,1'.

Точность исправления высот. Эксперименты показывают, что точность определения поправки i ± 0,1– 0,2', а *s* порядка ± 0,1'; точность исправления высот поправками из таблиц порядка ± 0,1 – 0,2', отсюда и общая точность исправления *oc* — около ± 0,2'.

Время и его измерение. Звездное, истинное и среднее солнечное время. Уравнения времени. Основная формула времени

Звездное время.

Единица для измерения времени. Для измерения времени необходимо иметь еди-ницу, строго постоян-ную по значению и удобную для практи-ческого применения. Еще в древности за единицу измерения времени был принят период суточного вра-щения небесной сфе-ры, соответствующий одному обороту Земли вокруг своей оси. Этот период может быть оп-ределен по законче-нному суточному дви-жению любой звезды, например, между мо-ментами ее одноименных кульминаций. Однако изме-рение вре-мени условились производить по точке весеннего равноденствия ♈ которая участвует в суточном движении, как и все светила.

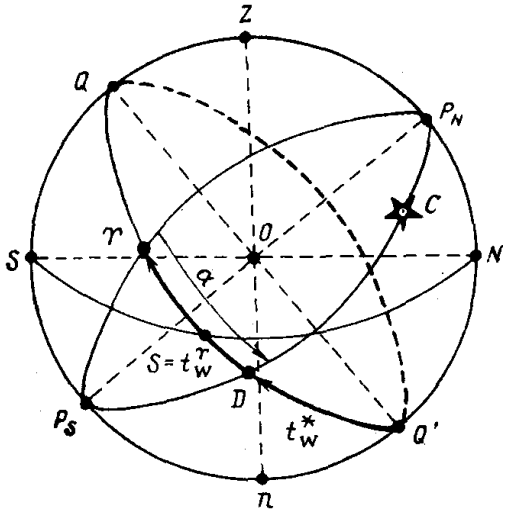


Рис. 3.18. Звездное время

Промежуток времени между двумя последовательными одноименными (верхними или нижними) кульминациями точки Овна на одном и том же меридиане называется ***звездными сутками.*** Они делятся на 24 звездных часа, звездные часы — на более мелкие единицы: минуты и секунды.

За начало звездных суток на данном меридиане принимается момент верхней кульминации точки Овна. Время, протекшее от момента верхней кульминации точки весеннего равноденствия до данного момента, выраженное в долях звездных суток, называется ***звездным временем S***.

Звездное время календарной даты не имеет.

Повороту сферы на 360° соответствует $24^{ч}$, на 180° — $12^{ч}$, на 90° — $6^{ч}$, на 15^0 — 1 ч, на 1^0— $4^{м}$, на 15'- $1^{м}$, на 1' — $4^{с}$. В соответствии с этими соотношениями время может выражаться как в ***дуговых,*** так и во ***временных*** единицах. Например, $S = 65°45,0' = 4^{ч}23^{м}00^{с}$.

В МТ–75 в МАЕ помещены специальные таблицы для перевода дуговой меры во временную и обратно. Этот перевод можно также делать в уме, применяя следующие правила.

1. Для перевода угла из дуговой меры во временную надо: градусы разделить на 15 — частное даст целые часы; остаток от деления градусов умножить на четыре и к полученному результату прибавить частное от деления дуговых минут (') на 15 — сумма даст временные минуты (^{м}); остаток от деления дуговых минут умножить на четыре — результат, который надо округлить до единицы, даст временные секунды (^{с}). Например:

$$123^0 54,8' = \left(\frac{123^0}{15}\right)^{ч} + (3^0 \times 4)^{м} + \left(\frac{54,8}{15}\right)^{м} + (9,8' \times 4)^{с} = 8^{ч}14^{м}39^{с}$$

2. Для перевода угла из временной меры в дуговую надо: часы умножить на 15 и прибавить частное от деления временных минут на четыре — результат даст дуговые градусы (°); остаток от деления временных минут умножить на 15 и прибавить частное от деления временных секунд на четыре, взятое с точностью до десятых долей, — результат даст дуговые минуты (') с десятыми долями. Например:

$$7^{ч}39^{м}43^{с} = (7^{ч} \times 15)^0 + \left(\frac{39}{4}\right)^0 + (9,8^{м} \times 15)' = 144^0 55,8'$$

Из *рис.3.17,* на котором изображена сфера на плоскости меридиана наблюдателя, следует, что S, выраженное в дуговой мере, численно равно вестовому часовому углу точки Овна:

$$S = t_w{}^{\Upsilon}$$

Основная формула времени. Из *рис. 3.18* можно заключить, что: $\cup Q\Upsilon = \cup QD + \cup \Upsilon D$,

т.е. $$\mathbf{S = t_w + \alpha} \qquad (3.10)$$

Следовательно, в один и тот же момент S равно сумме вестового часового угла любого светила t_w и его прямого восхождения α.

Это выражение носит название ***основной формулы времени***. Формулу (3.10) можно переписать в виде $S = t_w - 360^0 + \alpha$. Отсюда

$$t_w = S + 360° - \alpha = S + \tau, \qquad (3.11)$$

где величина $\tau = 360° - \alpha$ называется ***звездным дополнением.***

Формулу (3.11) используют для расчета часовых углов звезд. В повседневной жизни звездное время не используется, так как начало звездных суток на протяжении года приходится на различное время солнечных суток. В связи с этим создана единица времени, которая связана с видимым движением Солнца.

Истинное и среднее солнечное время.

Измерение солнечного времени основано на видимом движении Солнца.

Промежуток времени между двумя последовательными одноименными кульминациями центра диска Солнца на одном и том же меридиане называется ***истинными солнечными сутками.*** За начало истинных солнечных суток принят момент нижней кульминации центра диска Солнца, т. е. ***истинная полночь***. Солнечные сутки, как и звездные, делятся на часы, минуты и секунды. Вследствие того что перемещение Солнца по эклиптике в годовом движении направлено в сторону, противоположную его суточному движению, промежуток времени между двумя одноименными последовательными кульминациями Солнца в среднем на 4 мин больше, чем у звезд. Следовательно, истинные солнечные сутки длиннее звездных примерно на 4 мин.

Несмотря на простоту измерения времени по Солнцу, для практических целей истинное солнечное время применить нельзя из-за непостоянства солнечных суток. Разная продолжительность солнечных суток на протяжении года объясняется неравномерностью движения Солнца по эклиптике, а также наклоном эклиптики к экватору. В результате суточное изменение прямого восхождения колеблется от 53,8 до 66,6'. Следовательно, разность между самыми короткими и самыми длинными истинными солнечными сутками составляет 66,6' – 53,8' = 12,8' или 51 с.

Чтобы получить постоянную по значению единицу солнечного времени, было введено понятие о среднем Солнце. ***Среднее Солнце*** — это условная точка, перемещающаяся в собственном годовом движении не по эклиптике, а по экватору, причем строго равномерно. Полный оборот по экватору среднее Солнце совершает за тот же период, что и истинное Солнце по эклиптике, т. е. за год. Как и истинное, среднее Солнце имеет суточное движение, которое происходит всегда по экватору. Среднее Солнце проходит точку Овна одновременно с истинным.

Промежуток времени между двумя одноименными последовательными кульминациями среднего Солнца на одном и том же меридиане *называется средними солнечными сутками.* Их значение в течение года строго постоянно и равно среднему значению истинных солнечных суток. Средние солнечные сутки длиннее звездных на $3^{м}56,56^{с}$. За начало суток принимают момент нижней кульминации среднего Солнца, т. е. среднюю полночь. Средние сутки делятся на средние единицы измерения времени: средние часы, минуты и секунды.

Количество средних часов, минут и секунд, прошедших от начала суток до данного момента, называется ***средним солнечным временем T***. В отличие от звездного среднее солнечное время имеет календарную дату, которая меняется в полночь.

Характер движения среднего Солнца таков, что его меридиан всегда располагается недалеко от меридиана истинного Солнца.

Следовательно, моменты кульминаций этих светил мало отличаются по времени, т. е. средние полдень или полночь близки к истинным. По этой причине нам кажется, что мы живем по истинному Солнцу, хотя руководствуемся средним солнечным временем.

Разность между средним и истинным временем называется ***уравнением времени η.***

Теория и устройство

Рис. 3.19. Секстан СНО-М

Секстан является угломерным инструментом, предназначенным для измерения высот светил, а также горизонтальных и вертикальных углов между береговыми ориентирами. На *рис.3.19* показан общий вид секстана. Его части смонтированы на раме 6, образованной двумя радиусами и дугой, равной приблизительно $^1/_6$ окружности. На верхней части дуги, называемой лимбом 8, нанесены деления до 140° влево от нулевого индекса и до 5° вправо. На левом радиусе установлены неподвижно малое зеркало 2 и светофильтры 1 и 3. Половина поверхности малого зеркала прозрачна. В вершине на подвижном радиусе, называемом алидадой 7, укреплено большое зеркало 4. На другом конце алидады укреплен отсчетный барабан 9, разделенный на 60-минутные деления. Труба 5 вставляется в специальную стойку на раме секстана. В комплект входят также регулировочный торцовый ключ, диоптры, отвертка и другие предметы для ухода за секстаном.

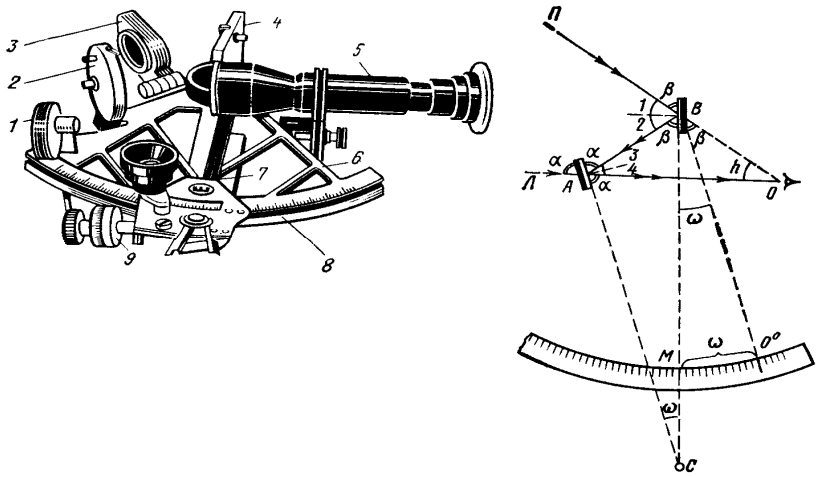


Рис. 3.20. Принципиальная схема устройства

Принцип измерения углов секстана основан на следующем. Предметы П *(рис. 3.20)* и Л из глаза наблюдателя О видны под углом h. Требуется измерить этот угол.

Предмет Л наблюдатель непосредственно видит через прозрачную половину малого зеркала *А*. Этот предмет называется ***прямовидимым***. Поворотом алидады большое зеркало *В* установлено в такое положение, при котором луч света от предмета П, отразившись от большого зеркала, попадает на малое зеркало А. а от него — в глаз наблюдателя О. Изображение предмета П называется ***дважды отраженным***. В результате наблюдатель видит по направлению ОАЛ совмещенными предмет Л и дважды отраженное изображение предмета П. Угол между зеркалами, образовавшийся при установке в данное положение зеркала В, обозначен ω.

Углы падения и отражения световых лучей равны, т. е. $\angle 1=\angle 2$ и $\angle 3=\angle 4$. Следовательно, равны и их дополнения до 90°, т. е. соответственно равны между собой углы, обозначенные на рис.3.19 α, а также углы, обозначенные β.

Установим зависимость между значением измеряемого угла h и значением угла между зеркалами ω. Применим теорему о внешнем угле, который равен сумме не смежных с ним внутренних углов.

На ΔЛВО найдем: $2\alpha = 2\beta + h$, или $h = 2\alpha - 2\beta = 2(\alpha - \beta)$.

Из ΔАВС: $\alpha = \beta + \omega$ или $\omega = \alpha - \beta$.

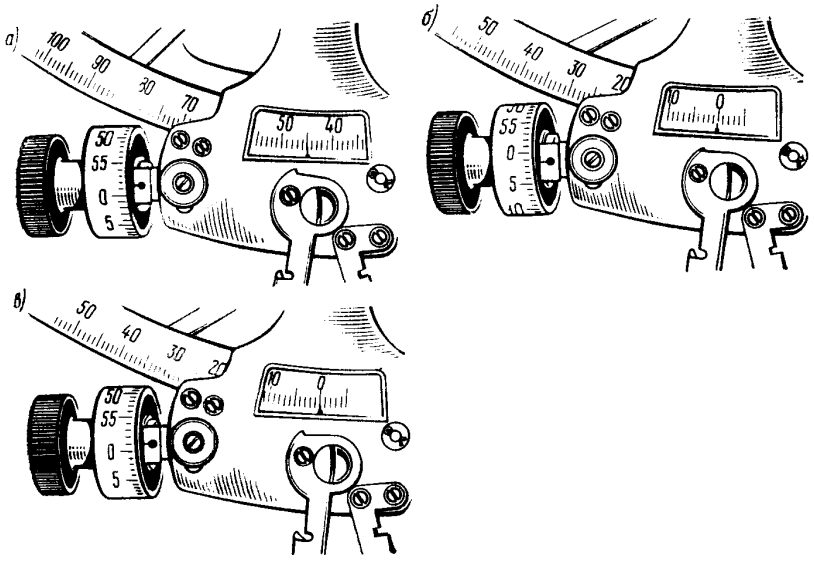
Сравнив эти выражения, получим $h = 2\omega$.

Следовательно, при условии совмещения прямовидимого предмета Л и дважды отраженного изображения предмета П измеряемый угол h равен двойному углу между зеркалами ω. В соответствии с этим выводом измерение угла h может быть заменено измерением угла ω. Как видно из *рис.3.19*, для снятия значения этого угла служит лимб, по которому перемещается индекс алидады при повороте большого зеркала (линия ВС). Деление 0° на лимбе соответствует параллельному положению зеркал. Для получения с отсчетного устройства сразу же измеряемого угла $h = 2\omega$ лимб разделен на полуградусные деления, оцифрованные значениями целых градусов.

Отсчеты измеряемого угла ($\cup$0°М, *рис. 3.20*) в градусах снимают с лимба против индекса алидады, а минуты и их десятые доли отсчитывают по барабану, который связан с лимбом при помощи бесконечного винта.

Иногда делают ошибки в отсчете секстана ос, когда индекс барабана располагается недалеко от нулевого деления. Следует помнить, что если индекс барабана не дошел до нуля минут, т. е. расположен выше него, то и индекс алидады не перешел еще границы следующего градуса. Например, на *рис.3.21,а* ос = 44°58,6'. Отсчеты, расположенные влево от нулевого деления лимба, превышают 0° (360°), а вправо – меньше 360°. Например, на *рис.3.21,б* ос = 0°01.4', а на *рис.3.21,в* ос = 359°59,0'.

Рис. 3.21. Снятие отсчетов секстана

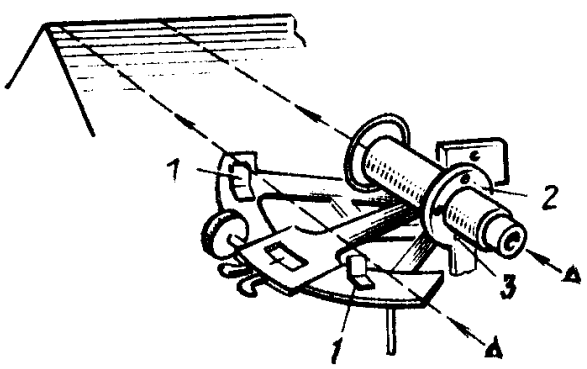


Технические характеристики секстана СНО – Т:

Диапазон измерения углов	0 – 120°
Инструментальная погрешность, не более	± 12"
Цена деления лимба	1°
Цена деления шкалы барабана	1°
Погрешность отсчитывания по шкале барабана	± 6"
Поправка секстана	± 36"
Параметры трубы Галилея:	
увеличение	от 3Х до 4Х
поле зрения	от 6° до 8°
Параметры астрономической трубы:	
увеличение	от 6Х до 7Х
поле зрения	от 4°30' до 6°40'

Выверка секстана и уменьшение поправки индекса

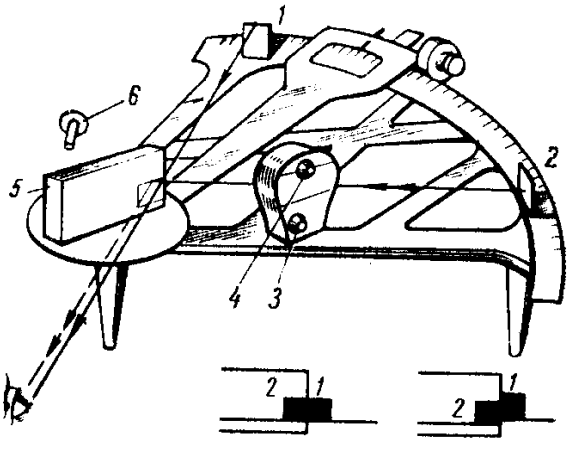
Выверка параллельности оси трубы плоскости лимба. Для получения правильных результатов при измерении углов секста-ном необходимо, чтобы визирная ось трубы была параллельна, а плоскости зеркал – перпендикулярны плоскости лимба. На судах периодически выверяют по-ложение трубы и зеркал, и при необходимости устраняют воз-никшие наруше-ния. Выверки проводят в той же последова-тельности, в ка-кой ниже дано их описание. Для определения параллель-ности оси тру-бы плоскости лимба секстан устанавливают горизонтально на неподвижном основании. По краям лимба ставят два диоптра *1 (рис. 3.22)* так, чтобы они были параллельны трубе. Выбирают на расстоянии не менее 50 м предмет, направление на который совпадает с линией, проходящей по срезам диоптров. Наблюдают этот предмет в тру-бу. Если предмет находится на горизонтальной линии, проходя-щей через центр трубы, то ось трубы параллельна плоскости лим-ба. Если предмет виден выше или ниже центра трубы, то вращая отверткой верхний *2* и нижний *3* регулировочные винты на стой-ке трубы, добиваются перевода изображения в центр трубы.



плоскости лимба

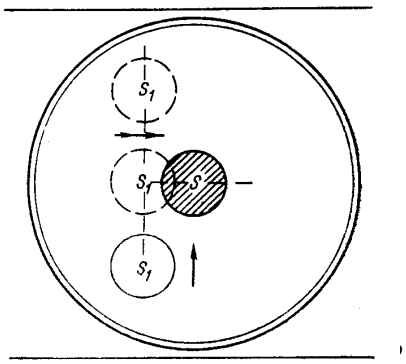
Выверка перпендикулярности большого зеркала к плоскости лимба *(рис. 3.23).*

Алидаду устанавливают на отсчет около 40°, а диоптры – по краям лимба. На расстоянии 30 – 40 см под острым углом смотрят на правый срез большого зеркала так, чтобы видеть пра-вее его края половину ди-оптра *1*. Пере-двигая диоптр *2,* добиваются, чтобы отра-женное изоб-ражение его верхнего среза оказались ря-дом со срезом диоптра *1*. Если большое зеркало пер-пендикулярно к плоскости лимба, то оба среза окажутся на одной линии. Если срезы не лежат на одной линии, то торцовым ключом *6* вращают корректировочный винт 5, пока срезы диоптров не составят прямую линию.



зеркала к плоскости лимба

Выверка перпендикулярности малого зеркала к плоскости лимба. Алидаду устанавливают приблизительно на отсчет 0° и секстан направляют на какое-либо светило. В трубе будут видны его прямовидимое S *(рис. 3.24)* и дважды отраженное S_1 изображения. Вращая барабан, перемещают дважды отраженное изображение в поле зрения трубы по вертикали. Если это изображение пройдет через прямовидимое, то малое зеркало перпендикулярно к плоскости лимба. Если же изображения, как показано на *рис. 3.24,* не совпадут, переводят отраженное светило 5, на одну горизонталь с прямо-видимым 5 и вращением регулировочного винта *4 (рис. 3.23)* совмещают их, сводя в одну точку. После выверки секстана следует заново определить поп-равку его индекса.



зеркала

Уменьшение поправки индекса. Обычно і уменьшают, если ее значение превышает 6' (0,1°). Индекс алидады устанавливают на 0°, а индекс барабана на 0'. Трубу наводят на звезду. При помощи торцового ключа, вращая регулировочный винт *3 (рис. 3.23),* совмещают дважды отраженное изображение светила с прямовидимым.

Определение поправки компаса методом моментов

Показания приборов, служащих для определения направлений в море, подвержены систематическим и случайным ошибкам. Для компенсации систематической составляющей погрешности необходимо определять поправку прибора. Поправка компасов обозначается ΔК. В море, вне видимости берегов, до сих пор единственным и наиболее точным способом определения ΔК является астрономический. Его особенностью является то, что *ИП* на светило С получается вычислением из треугольника zP_NC *(рис. 3.25).* Если в этот же момент наблюдать КП светила, то величина и знак ΔК определяется по формуле:

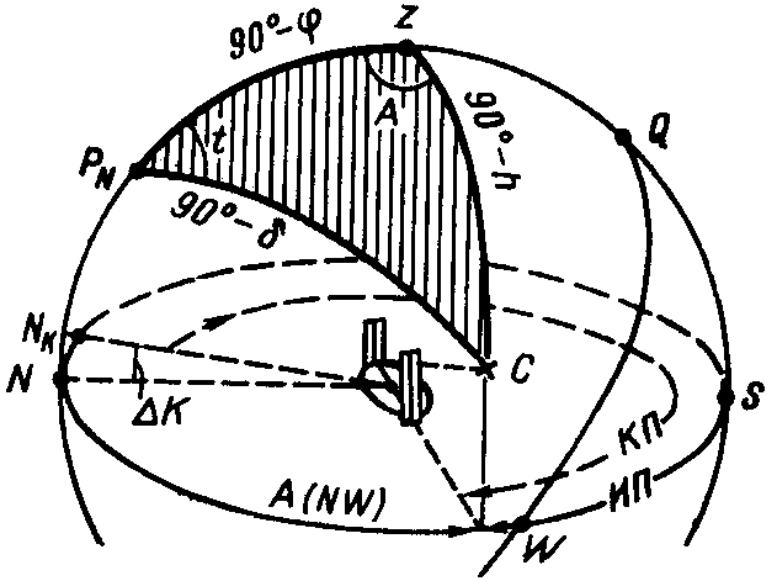


Рис. 3.25. Астрономическое определение поправки компаса

$$\Delta К = ИП_{св} + КП_{св}. \quad (3.11)$$

Истинный пеленг светила, равный его азимуту в круговом счете, можно вычислить по формулам, таблицам, номограммам, приборам или на ЭВМ. Азимут является функцией трех аргументов:

$$A=A_1((\varphi, \delta, t) = A_2((\varphi, \delta, h) = A_3(\varphi, h, t) = A_4(h, \delta, t)=A_5(\varphi, q, t) \quad (3.12)$$

В зависимости от возможности получения аргументов принимается та или иная из этих зависимостей. В настоящее время применяют три первые зависимости, по которым названы и сами методы определения поправки компаса: метод моментов, метод высот и метод высот и моментов. Формулы для вычисления А в этих методах получаются из параллактического треугольника zP_NC *(рис. 3.25)* по общим формулам сферической тригонометрии.

Метод моментов. Если при пеленговании светила замечен момент по хронометру и сняты с карты φ и λ, то треугольник zP_NC решается с полученными φ, δ, $t_м$ по формуле котангенсов. После упрощений получаем

$$\operatorname{ctg} A = \operatorname{tg}\delta \cos\varphi \operatorname{cosec} t_м - \sin\varphi \operatorname{ctg} t_м \quad (3.13)$$

По формуле (3.13) или по составленным применительно к ней таблицам или номограммам вычисляют азимут в полукруговом счете, переводят в круговой счет и принимают за *ИП.* Метод моментов является наиболее распространенным, так как он универсален – его можно применять в любое время и к любому светилу, кроме того, он практически удобен.

Определение поправки компаса в момент видимого восхода (захода)Солнца и по Полярной звезде

Определение ΔК в момент видимого восхода или захода Солнца. Заранее вычисленные азимуты верхнего края Солнца в момент его видимого восхода или захода для широт от 0 до 72° и склонений от 0 до 24° приведены в табл. 20-а и 20-6 МТ–75. Следовательно, если в момент восхода или захода Солнца взять КП его верхнего края, то поправка компаса может быть получена сравнением выбранного из мореходных таблиц *А* и полученного по компасу пеленга. Получение поправки компаса на практике сводится к следующему. С помощью МАЕ рассчитывают предварительно судовое время захода (восхода) Солнца и берут компасный пеленг верхнего края светила в момент его касания линии видимого горизонта.

При пеленговании Солнца замечают время по судовым часам, которое переводят в гринвичское для выборки из МАЕ приближенного значения склонения (с точностью до 0,1°) и получения счислимой широты.

Выборку азимута из табл. 20-а и 20-б проводят по счислимой широте и склонению Солнца с интерполяцией по обоим аргументам. В табл. 20-а входят при одноименных φ и δ, в табл. 20-б — при разноименных. Азимуты даны в полукруговом счете. В северной широте наименование табличного азимута будет NE при восходе и NW при заходе. В южном полушарии — SE при восходе и *SW* при заходе. Выбранный азимут переводят в круговой счет.

Пример 3.20:

26.IX. 1986 г. Атлантический океан. T_c = 17ч24м; ол = 72,5 м; КК = 32°; е = 4 м; φ_c= 34°16' N и λ_c = 23°06' W. В момент видимого захода Солнца КП = 263°. Определить поправку компаса.

Решение:

26.IX	Тс		17ч24м	
+	N_w		2	
26.IX	$T_{гр}$	А	19ч 24м	269,0°
		КП		263,0
		Δ МК		+6,0°

Из МАЕ по Тгр захода $\delta_\odot \approx$ 01, 4° S; из табл. 20-б по φ и δ (разноименные): $A_\odot$ = N 91,0° W

Так как в табл. 20-а и 20-б МТ— 75 значения *А* даны для высоты глаза наблюдателя 12м, то при других значениях *е* полученная рассмотренным способом поправка компаса будет содержать некоторую ошибку. Кроме того, этот способ не позволяет выявить возможный промах и повысить точность результатов наблюдений их осреднением.

Определение ΔК по наблюдениям Полярной звезды. При плавании в малых северных широтах удобным объектом для определения поправки компаса является Полярная звезда. Так как полярное расстояние Δ = 90° – δ этой звезды составляет приблизительно 0,9°, то в суточном движении она описывает вокруг Северного полюса мира параллель, сферический радиус которой очень мал. Вследствие этого азимуты Полярной меняются незначительно и могут находиться в пределах от 0 до 1,2°NE или NW.

Значения азимутов звезды заранее вычислены с точностью до 0,1° и приведены в таблице «Азимуты Полярной» МАЕ. Аргументами для получения азимута из таблицы служат местный часовой угол точки Овна $t^{\curlyvee}_M$, который выбирается из МАЕ и МТ-2000 на $T_{гр}$ наблюдений, и счислимая широта. Выбранный из таблицы азимут соответствует NE или NW четверти горизонта. Правило определения наименования четверти приводится внизу таблицы.

Определение поправки компаса по Полярной звезде практически возможно в широтах от 5 до 15°N при непосредственном пеленговании светила и до 40—50° N при пользовании отражательным зеркалом.

Наблюдения состоят в получении трех – пяти компасных пеленгов звезды, взятых в быстрой последовательности. Время наблюдений вследствие медленного изменения азимута можно замечать по судовым часам с точностью до 5 мин. Счислимые координаты судна достаточно знать с точностью до 1°. Вычислив гринвичское время $T_{гр}$ наблюдений, выбирают по нему из МАЕ гринвичское звездное время $S_{гр}$, которое переводят долготой в местное $S_м = t^{\curlyvee}_M$. Выбранный из таблицы по $t^{\curlyvee}_M$ и φ_c азимут звезды переводят в круговой счет.

Пример 3.21:

28.1. 1986г., Индийский океан. T_c = 22ч30м; ол = 75,5 мили.

В φ_c = 09,9°N и λ_c = 58,1°E измерили средний ГКП Полярной звезды, равный 357,5°, ГКК = 12°. Определить ΔГК.

Решение:

28.I	T_c	$22^ч\ 30^м$
	—	
	t^γ_T	$37°42'$
	Δt	$N_w\ 7'\ 31$
28. I	$t^\gamma_{гр}$	$45°13'$ $T_c°$ $18^ч\ 30^м$
	+	
	λ_E	$58\ \ 06$
	t^γ_M	$103°19'$
	t^γ_M	$103,3°$

A = 0,8°NW	
A	359,2°
—	
ГКП	357,5
Δ ГК	+1,7°

Круг равных высот и его уравнение. ВЛП, ее уравнение и свойства

Круг равных высот. Рассмотрим пучок параллельных лучей от светила В, падающих на поверхность Земли *(рис. 3.26),* имеющей форму геоида. Для наблюдателя M_1 с отвесной линией M_1z' светило В имеет высоту *h* или зенитное расстояние z. Наблюдатель в точке M_2 также видит светило В на высоте *h.* На Земле можно найти еще множество точек M_i, в которых высота *h* имеет одно и то же значение; все они лежат на изоли-нии M_1M_2. *Кругом рав-ных высот* (изолинией высоты) называется гео-метрическое место точек земной поверхности, в которых данное светило в один и тот же момент находится на одинаковой высоте. Учитывая откло-нения отвеса и форму Земли, круг равных вы-сот на реальной земной поверхности представляет сложную кривую. На поверхности же сферы без учета отклонений отвеса — это малый круг. На небес-ной сфере *(рис. 3.26)* с центром в точке *O* круг равных высот представляет геометрическое место зенитов z′, z″ ... наблюдате-лей, имеющих равные высоты. Так как при построении от направ-ления луча *0B* при центре сферы следует откладывать равные зе-нитные расстояния z (или равные высоты *h*), то получается кони-ческая поверхность, которая в сечении со сферой дает малый круг z′z″ со сферическим радиусом z = 90° — *h* и центром в месте светила В. Следовательно, на небесной сфере круги равных высот представляют малые круги, кроме круга радиуса z == 90°, пред-ставляющего большой круг. Если в первом приближении принять Землю за шар, то большой круг *dd′,* образованный лучами, каса-тельными к Земле, и имеющий полюс в точке *b*' (полюс освеще-ния для шара), представляет границу освещенности Земли дан-ным светилом ($h = 0$), отсюда термин — полюс освещения. Остальные круги равных высот представляют малые круги ради-уса z == 90° – *h* с центром в полюсе освещения. От точки *b′* до круга *dd′* высота светила изменяется от 90° до 0, т. е. на 5400', а на земном шаре это расстояние 5400 миль, следовательно, одна минута изменения высоты равна морской миле. Если на судне из-мерить высоту светила, то среди множества кругов равных высот только один — M_1M_2, соответствует измеренной высоте, и на нем находится место наблюдателя. Следовательно, навигационной изолинией судна является круг равных высот, отвечающий изме-ренной на судне высоте светила. Однако только на поверхности сферы или земного глобуса круги равных высот можно строить как окружности радиуса z. На реальной поверхности Земли, а так-же на карте изолинии высот представляют более сложные кри-вые. и их построение усложняется.

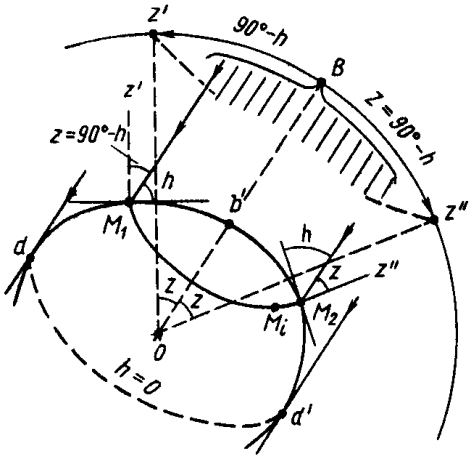
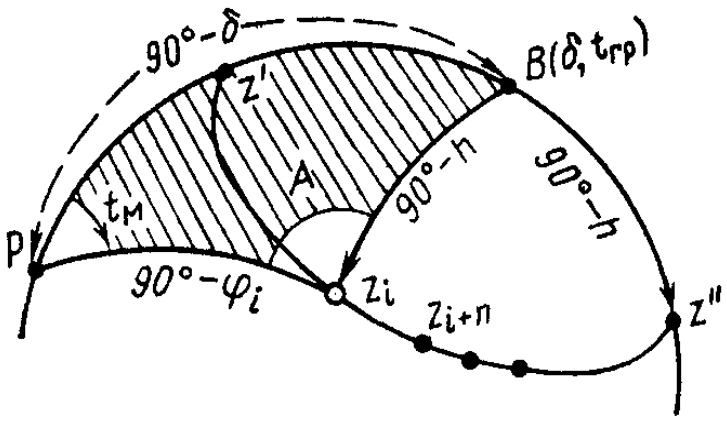


Рис. 3.26 Круг равных высот

Уравнение круга равных высот на сфере. Возьмем на круге равных высот произвольную точку z_i *(рис. 3.27)* и построим для нее параллактический треугольник Pz_iB, в котором $Pz_i = 90 - \varphi_i$ и $t_м = t_{гр}+\lambda_i$. По формуле косинуса стороны z_i, имеем:

$$\sin h = \sin \varphi_i \sin \delta + \cos \varphi_i \cos \delta \cos (t_{гр}+ \lambda_i) \qquad (3.14)$$

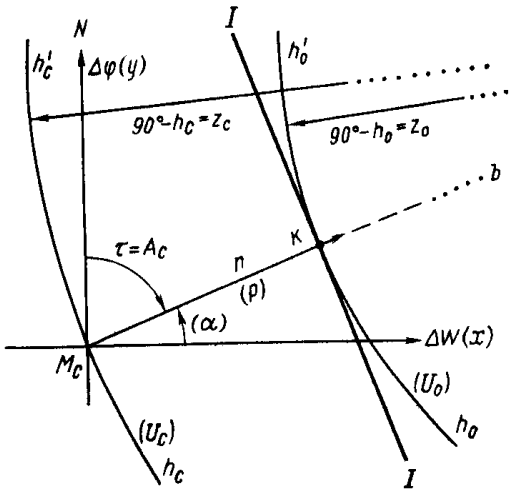


Применяя эту формулу для других точек z_{i+n} круга, видим, что δ, $t_{гр}$ и 90° – *h* остаются постоянными, а λ_i и φ_i меняются. Следовательно, δ, $t_{гр}$ и 90° – *h* представляют параметры круга (координаты центра и радиус), а φ_i и λ_i — текущие координаты точек круга. Если, не изменяя параметров, задаваться значениями одной из координат, положим λ_i, то из уравнения (3.14) можно определить другую координату φ_i, точек, лежащих на круге равных высот. Поэтому формулу (3.14) называют уравнением круга равных высот на сфере. Изолиния высоты на карте представляется сложной кривой, отрезок которой может быть построен по нескольким точкам, но такое построение слишком сложно. На небольшом участке изолинию можно приближенно заменить прямой, при этом построение значительно упрощается. Прямая, заменяющая участок круга равных высот около счислимого места, называется *высотной линией положения* (ВЛП). Высотная линия может быть хордой или касательной.

Рис. 3.27 Уравнение круга равных высот на сфере

Геометрическое представление ВЛП на карте. Уравнение прямой в нормальном виде, выведенное в аналитической геометрии, имеет вид:

$$x \cos \alpha + y \sin \alpha - p = 0 \qquad (3.15)$$



Для высотной линии *(рис. 3.28)* получим:

$\alpha = 90° - A_c$; $x = \Delta W$; $y = \Delta\varphi$; $p = n = h_0 - h_c$

Подставляя эти зна-чения в уравнение (3.15), получим уравнение высотной ли-нии в нормальном виде с началом коор-динат в счислимом месте:

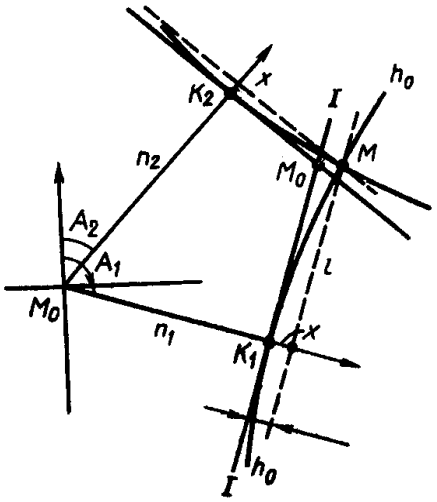
$$\Delta\varphi \cos A_c + \Delta W \sin \cdot A_c = n \qquad (3.16)$$

Следовательно, уравнение высотной линии на карте или плане представляет уравнение прямой в координатах $\Delta\varphi$; ΔW ($\Delta\lambda$) с началом в счислимом месте M_c.

Свойства ВЛП. Высотная линия обладает рядом характерных свойств:

1. Высотная линия представляет *приближенную навигационную изолинию.* На карте вместо циклической кривой проводится касательная к ней *(рис. 3.29*), поэтому место судна получается не в точке М, а в точке M_0. Погрешность определения тем больше, чем M_0 дальше от точек касания k_1 и k_2. Исследования показывают, что обычно при φ и *h,* меньших 70°, замена допустима в пределах около 30' от счислимого места. Следовательно, в применении ВЛП имеются ограничения ($n < 30'$); любая ВЛП может обладать погрешностями метода, так что для точного решения может потребоваться второе приближение или поправки.

2. *Градиент высоты равен* 1 *(рис. 3.28),* поэтому при изменении переноса *n* на 1 линия смещается по A_c на 1 милю. Следовательно, погрешность в высоте h_0 или h_c вызывает равное ей смещение линии положения. Поэтому, например,величины переносов не должны превышать ожидаемые ошибки счисления и ВЛП.



3. *Положение ВЛП не зависит от приня-тых в расчетах счисли-мых координат.* Пусть для расчета элементов высотной линии I—I при одинаковых значе-ниях h_0, δ и $t_{гр}$ приняты различные места M_1, M_2, ... *(рис. 3.30).* Рас-считанные h_0 и *n* оказы-ваются различными (те-оретически и A_c также неодинаковы), однако после прокладки, все линии сливаются в од-ну, так как положение круга h_0h_0' остается неизменным. Следова-тельно, положение ВЛП не зависит от принятых при расчетах и построении счисли-мых координат в пределах 30' от M_c. Из это-го свойства вытекает, что при расчете h_c можно принимать не счислимые, а удобные для расчета коорди-наты $\varphi_п$ и $\lambda_п$ перемещенного места (ПМ). Обычно $\varphi_п$ выбирается равной ближайшему градусу, а $\lambda_п$ – такой, чтобы в сумме $t_{гр}$ давала $t^{o}_{м}$ в градусах.

4. *Высотная линия более универсальна, чем рассчитанная по h_0, координата φ_0 или λ_0.* Способы раздельного определения координат φ_0 или λ_0 места представляют частные случаи решения уравнения (3.14) навигационной изолинии:

$$\sin h_0 = \sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \cos\left(t_{гр} \pm \lambda \frac{E}{W}\right).$$

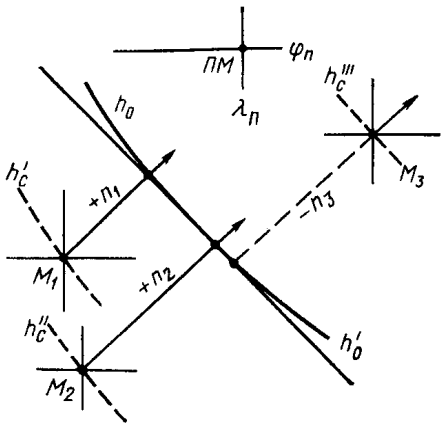


Рис. 3.30. Расчет элементов высотной линии

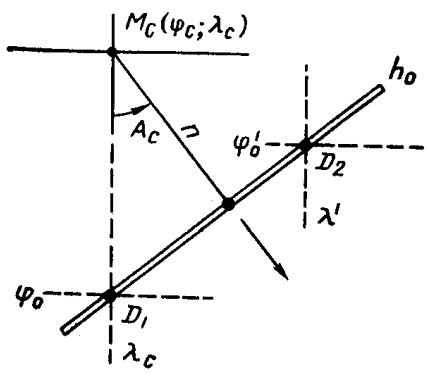


Рис. 3.31. Частный случай применения ВЛП.

При одной измеренной *h* можно определить только φ_0 (если светило около ме-ридиана) или λ_0 (если све-тило около первого вертикала), т. е. эти спо-собы ограничены. Высот-ная же линия может опре-деляться по любому све-тилу и, следовательно, проходить на карте под любыми углами, т. е. пред-ставляет общий случай ли-нии положения данного типа. Определения φ_0 и λ_0 есть частные случаи применения ВЛП. Действительно, задаваясь долготой λ_c *(рис. 3.31),* в пересечении проложенной линии h_0 с меридианом M_c получим точку D_1, широта которой и представит φ_0. Если взять другую λ', то получим другую точку на ВЛП — D_2 и другую широту φ_0'. Очевидно, что вычисляемая широта зависит от принятой для расчета

долготы. Аналогично можно получить и долготу, задаваясь широтой. Из сказанного вытекает невозмож-ность способов определения места по одной и той же высоте, об-работанной для ВЛП и для φ_0 (или λ_0) так как во всех случаях находятся точки на одной высотной линии (D_1, D_2 и т. д.). Из рас-смотренных свойств ВЛП вытекает, что даже одна высотная ли-ния, если подобрать соответствующее ее расположение, может помочь штурману в уточнении направления или элементов счис-ления.

Определение места судна по высотам двух светил. Точность способа

Общие рекомендации. Наблюдения звезд и планет проводят в период навигационных сумерек, который необходимо рассчитывать заранее для установки звездного глобуса. Вечерние наблюдения следует начинать сразу после захода Солнца, стараясь обнаружить наиболее яркие светила через трубку секстана ранее, чем они будут видны невооруженным глазом. Для этих целей используют координаты светил, полученные при помощи звездного глобуса. Соответственно, утром измерения высот ярких звезд и планет желательно проводить ближе к концу навигационных сумерек. Измеренные при этих условиях высоты будут особенно надежными, так как хорошо видна линия горизонта. В зависимости от обстановки для получения обсервации подбирают две звезды, звезду и планету, две планеты, звезду или планету с Луной. В любом случае светила должны иметь достаточную яркость и приемлемую разность азимутов. В измеренных высотах неизбежно будут присутствовать случайные и систематические (повторяющиеся) погрешности наблюдений. Исследования показывают, что для уменьшения совместного действия этих погрешностей на точность обсервации следует подбирать два светила с разностью азимутов, близкой к 70 – 80°. Если нельзя выполнить это требование, то необходимо, чтобы разность азимутов была, по крайней мере, больше 30° и меньше 90°. Подобрать два светила для наблюдений можно непосредственно на звездном небе. Для контроля разности азимутов в этом случае используют компас, по которому получают приближенные пеленги светил. Удачно подобранную пару светил можно использовать для получения места в течение нескольких дней плавания.

Приведение высот светил к одному месту. Обсервованное место судна принимается в пересечении двух линий положения, которые вычисляют по результатам наблюдений каждого из светил. Обязательным условием при этом является соответствие каждой из этих линий одному и тому же положению наблюдателя на поверхности Земли. На практике, чтобы уменьшить влияние случайных погрешностей, измеряют три – пять высот каждого светила, замечая одновременно моменты по хронометру. Высоты и моменты усредняют. Между средними моментами измерений проходит определенный промежуток времени, в течение которого судно перемещается. Этот промежуток в зависимости от опытности судоводителя, числа высот в каждой серии и условий наблюдений может составить от 5 до 15 мин и более. Поэтому высоты светил необходимо приводить к одному месту наблюдений или, как принято говорить в мореходной астрономии, к одному зениту. Для этого в результаты наблюдений следует вносить поправку Δh_z, учитывающую изменение высоты светила за счет перемещения судна. Обычно все высоты приводят к зениту последних наблюдений. Следовательно, при определении места судна по двум светилам в расчет берется высота второго светила h_z и приведенная к месту вторых наблюдений высота первого светила $h_{пр} = h_1 + \Delta h_z$

Поправку Δh_z рассчитывают по формуле:

$$\Delta h_z = S \cos (A - ИК), \qquad [3.17]$$

где S – плавание судна за время между наблюдениями;

A – ИК = Q – курсовой угол на светило.

В табл. 16 МТ–75 «Приведение высот к одному зениту» приводятся значения изменения высоты за 1 мин плавания судна Δh_v. Аргументами для входа в табл. 16 служит скорость судна и Q светила правого или левого борта. Знак Δh_v для случая приведения к последующему зениту указывается в таблице. Для получения поправки приведения Δh_z выбранную из табл. 16 поправку Δh_v умножают на промежуток времени между измерениями высот в минутах:

$$\Delta h_z = \Delta h_v (T_2 — T_1).$$

Практическое выполнение определения места. Определение места судна по двум звездам выполняют в приведенном ниже порядке (сохраняется и в том случае, если вместо звезды используют планету или Луну). См.Приложение.

Подготовка к наблюдениям.

1. До наступления сумерек подготовить секстан к ночным наблюдениям, проверить перпендикулярность зеркал к плоскости лимба.
2. Привести поправку хронометра к моменту наблюдений.
3. С наступлением сумерек подобрать звезды для наблюдений, если они не были подобраны ранее по звездному глобусу.

Наблюдения.

1. В быстрой последовательности измерить по три высоты каждой звезды, замечая моменты по хронометру или палубным часам.
2. При измерении средней высоты второй звезды заметить судовое время и отсчет лага.
3. Записать ИК и скорость судна. Если высоты не превышают 50°, то замерить и записать температуру и давление воздуха.
4. По одной из звезд определить погрешность индекса секстана до и после наблюдений.

Вычисления.

1. Рассчитать средний отсчет секстана и средний момент хронометра для каждого светила.
2. По замеченным судовому времени и отсчету лага снять с карты счислимые координаты с точностью до 0,1'.
3. Рассчитать приближенное гринвичское время и гринвичскую дату по замеченному судовому времени и номеру часового пояса.
4. По средним моментам хронометра и его поправке получить точное гринвичское время наблюдений каждого светила.
5. С помощью МАЕ по $T_{гр}$ наблюдений и λ_c получить местные практические часовые углы, а также склонения светил.
6. По формулам сферической тригонометрии с помощью таблиц (ВАС–58, ТВА–57) или ЭВМ (ПМК) рассчитать счислимые высоты и азимуты светил.
7. Исправив средние отсчеты секстана всеми поправками, получить обсервованные высоты светил.
8. Первую обсервованную высоту привести к зениту вторых наблюдений.
9. Рассчитать переносы.
10. Проложить линии положения на карте или бумаге.
11. Проанализировать результаты обсервации.

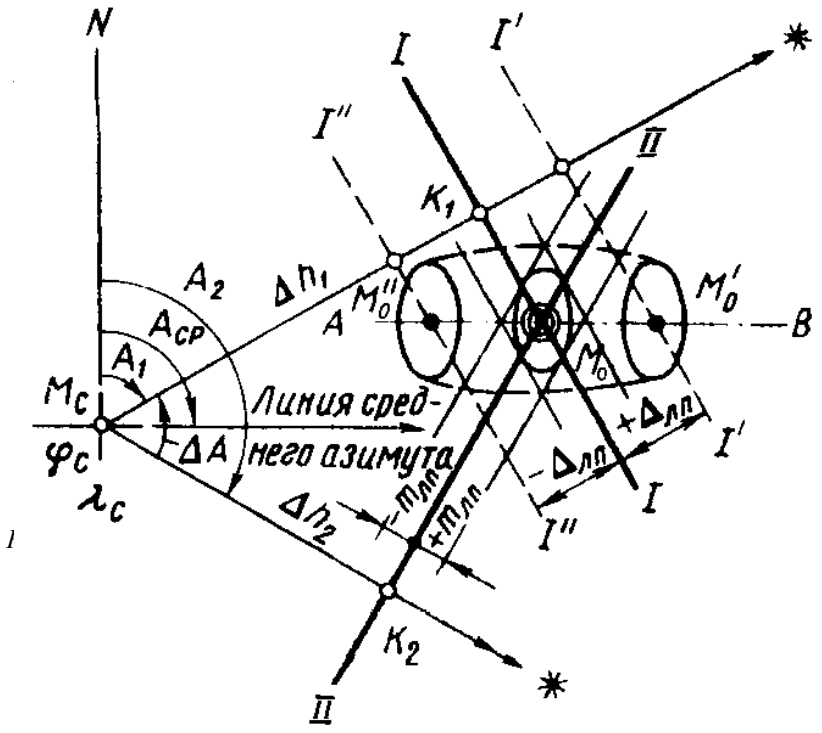


Рис. 3.33. Графический анализ обсервации

12. Полученные обсервованные координаты, невязку, T_c и ол записать в судовой журнал.

Анализ обсервации. Прокладкой на карте не заканчивается работа по определению места судна в море. Необходимо провес-ти анализ обсервации, т. е. учесть действие предполагаемых сис-тематических и слу-чайных погрешнос-тей на элементы лини положения A_c и Δh. Действительно, про-ложенные на карте высотные линии бу-дут соответствовать линиям положения наблюдателя только в том случае, если их элементы A_c и Δh не содержат в себе ни-каких погрешностей. Если счислимый ази-мут A_c имеет лишь незначительную пог-решность вычисле-ний, то случайные и систематические погрешности в переносе Δh должны учитывать-ся. Средняя квадратическая погрешность в переносе $m_{лп}$, завися-щая от случайных погрешностей в обсервованной и счислимой высотах, при измерении не менее трех высот может быть принята равной: для Солнца и Луны $m_{лп} = \pm 0{,}5'$; для звезд и планет $m_{лп} = \pm 0{,}7'$.Ориентировочное значение систематической погрешности в обсервованной высоте может составлять 1—3'.Случайные пог-решности в переносе свидетельствуют о наличии рассеивания изолиний. Поэтому действительная линия положения будет рас-полагаться где-то рядом с линией I – I *(рис. 3.32)* в пределах не-которой *полосы положения.* Ширина полосы положения прини-мается обычно равной двойному значению предполагаемой сред-ней квадратической погрешности в переносе $m_{лп}$, причем ее осью является линия I—I. Вероятность нахождения действительной линии положения в пределах полосы составляет около 68 %. Для повышения вероятности до 95 % ширину полосы следует увели-чить в 2 раза. Если же принимать в расчет предельную ошибку переноса $m_{пред} = 3m_{лп}$, то вероятность нахождения действитель-ной линии положения в пределах полосы составит 99,7 %. Если в обсервованной высоте содержится и систематическая погрешность, то действительная линия положения сместится по линии азимута на расстояние $+\Delta_{лп}$ или $-\Delta_{лп}$. Поэтому для учета одновременно действия систематической ошибки полоса положения также должна быть смещена в обе стороны на предполагаемую величину $\Delta_{лп}$ *(рис. 3.32).*Понятно теперь, что полученная на карте в пересечении высотных линий обсервованная точка в общем случае не будет соответствовать действительному месту судна, которое располагается в пределах некоторой площади рассеивания. Площадь возможного нахождения места судна будет определяться площадью пересечения двух полос положения с учетом их сдвига за счет возможной систематической погрешности $\Delta_{лп}$. Для оценки точности полученной обсервации необходимо составить представление о площади вероятного нахождения места судна. Размеры этой площади будут зависеть от возможных величин погрешностей в переносах, а также и от взаимного положения наблюдавшихся светил. Вследствие этого необходимо придерживаться рекомендаций о подборе светил с разностью их азимутов, близкой к 70 – 80°. В этом случае, как показывают исследования, совместное влияние случайных и систематических погрешностей наблюдений оказывается наименьшим. Выше были приведены ориентировочные значения случайных погрешностей в переносах, соответствующие средним условиям наблюдений. Этими цифрами можно руководствоваться при анализе обсервации, если наблюдения производились также при средних условиях. Однако следует помнить, что значения погрешностей в линиях положения в каждом конкретном случае могут меняться в зависимости от качества инструмента, опытности

наблюдателя, состояния видимого горизонта и числа высот в серии. Поэтому каждому судоводителю рекомендуется для различных условий наблюдений время от времени определять значения своих собственных погрешностей, которые и принимать во внимание при анализе обсервации. Наиболее полное и наглядное представление о точности обсервации, полученной по двум линиям положения, дает *эллипс,* погрешностей. При построении эллипса целесообразно пользоваться графическим методом. Этот метод несложен и поэтому вполне приемлем в условиях работы на мостике. На *рис. 3.33* из счислимой точки M_c проложены элементы линий положений I—I и II—II, в пересечении которых получена обсервованная точка Мо. В переносах Δh_1 и Δh_2 предполагаются одинаковые случайные погрешности $\Delta_{лп}$. Для учета действия случайных погрешностей смещают каждую линию положения в обе стороны на предполагаемое значение средней квадратичной погрешности переноса $m_{лп}$, т.е. строят полосы положения. В пересечении смещенных линий получают ромб, в который от руки вписывают средний квадратичный эллипс погрешностей. Если систематическая погрешность пренебрежимо мала, то действительное место судна будет находиться внутри эллипса с вероятностью около 39 %. Так как вероятность 39 % для практики недостаточная, то удвоив полуоси эллипса, можно получить эллипс погрешностей, вероятность нахождения внутри которого составит уже 86 %. Если линии положения подвержены также систематическим погрешностям, то обсервованное место судна M_0 вместе с эллипсом будет смещено скачком в новое положение по линии среднего азимута AM_0B, проведенной через обсервованное место M_0. Для нахождения сдвига обсервованного места смещаем одну из линий положения в обе стороны на предполагаемое значение $\Delta_{лп}$

(рис. 3.33). В точках пересечения сдвинутых линий с прямой AM_0B получаем еще два обсервованных места M_0' и M_0''. Если в точках M_0'и M_0'' построить средние квадратичные (или удвоенные) эллипсы погрешностей, затем обвести все три эллипса замкнутой кривой, то последняя очертит общую площадь возможного положения места судна при предполагаемых случайных и систематических погрешностях в переносах. Если секстан проходил выверку, а наклонение видимого горизонта было измерено, то систематической погрешностью при анализе обсервации можно пренебречь и вероятное место судна принять в площади эллипса, построенного около точки M_0. В анализ полученной обсервации входит также выявление промахов. Однако при определении места по двум линиям положения промахи в наблюдениях и вычислениях обнаружить невозможно, если только они не обращают на себя внимания неоправданно большим значением переносов. Поэтому к полученной обсервации следует относиться с осторожностью. Некоторым свидетельством надежности полученного места может являться сравнение его с точкой, полученной одновременно другим наблюдателем, а также соответствие невязки возможным ошибкам счисления.

Пример 3.22: 26.03. I986 г., Атлантический океан. $T_c = 19^ч38^м$; ол = 75,3 мили; $\varphi_C = 48°47{,}0'N$; $\lambda_C = 46°46{,}0'W$; ИК = 190°; V = 18,0 уз; *e* = 13,9м; i = +1,4′; $u_{хр} = -01^м37°$; $S_{1,2} = -0{,}2'$; t = +0,5°C; B = 765. Условия наблюдений хорошие. Измерили высоты двух звезд:

Мирфак (α Персея), $ос_{ср} = 49°23{,}3'$; $Тхр_{ср} = 10^ч34^м25^с$;

Бетельгейзе (α Ориона), $ос_{ср} = -42°21{,}2'$; $Тхр_{ср.} = 10^ч39^м31^с$.

Определить обсервованное место судна на момент вторых наблюдений и сделать анализ обсерваций.

1,	26 III	T_c	$19^ч38^м$
	–		
		N_W	3
	26 III	$T_{гр}$	$22^ч38^м$

2.	Мирфак	Бетельгейзе
$T_{хр}$	$10^ч34^м25^с$	$10^ч39^м31^с$
$u_{хр}$	– 01 37	– 01 37
$T_{гр}$	$22^ч32^м48^с$	$25^ч57^м34^с$
t^{γ}_T	154°02,9′	154°02,9′
Δt^{γ}	8 13,3	9,30,1
$t^{\gamma}_{гр}$	162°16,2′	163°33,0′
–		
λ_W	46 46,0	46 46,0
$t^{\gamma}_м$	115°30,2′	116°47,0′
τ_*	309 10,6	28 10,8
$t^*_м$	64°40,8′W	28°10,8′W
$t_{пр}$	64 40,8W	28 10,8W
δ	49°48,9′N	7°24,4′N

3.Вычисления h_c и A_c выполнили по таблицам ВАС-58 (линия I) и ТВА-57 (II линия).

4.

A	296,9°
– ИК	190,0°
Q	106,9°

T_2	$22^ч39^м31^с$	
T_1	22 34 25	
$T_2 - T_1$	$5^м06^с \approx 5,1^м$	

	I линия (Мирфак)	$h_т$	$A_т$
		48°56,0′	63,6°
φ_c	49°13,0′N	– 5,8′	– 0,2°
δ	49°30′18,9′N	+ 8,0	– 0,4
$t_м$	65°19,2′W	+ 11,3	+ 0,1
		– 0,1	
	$q_т$ = 65°	h_c = 49°09,4′	A_c = N63,1°W A_c = 296,9°

Δh_v = – 0,10′; Δh_z = (– 0,10)$5,1^м$ = – 0,5′;

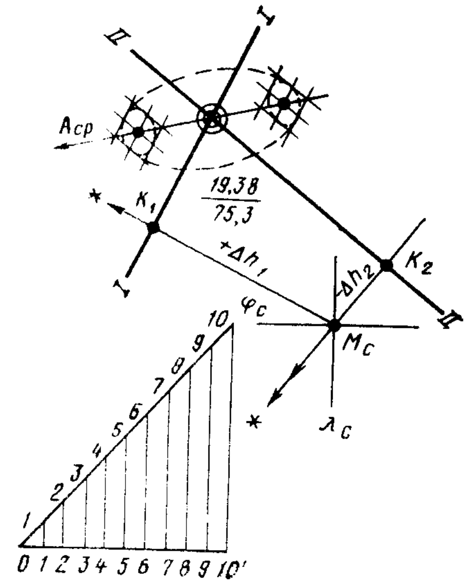
5. II линия (Бетельгейзе)

δ $t_м$	07°24,4′ N 28 10,8W	T(δ) + S(t)	53 004 1 096	–	T(t) S(x)	65 304 93
x φ^c	8°23,4′N 48°47,0N	T(x)	54 100	+	T(p) s(y)	65 211 3 768
y = 90°+(x~φ_c)130°23,6′ A_c= 39°16,8′SW = 219,3°					T(A)	68 979
h_c	42°17,6′					

T(y) – S(A)	72 128 2 225
T(h)	69 903

6.

	Мирфак	Бетельгейзе
oc_{oc}	49°23,3′	42°21,2′
i + s	+ 1,2	+ 1,2
d	– 6,6	– 6,6
$h_в$	49°17,9′	42°15,8′
Δh_ρ	– 0,8	– 1,1
		0,0
		2°14,7′
		2 17,6
		– 2,9′



7. Выполняем прокладку с использованием углового масштаба *(рис. 3.34).*
С прокладки на $T_c = 19^ч38^м$, ол = 75,3 мили получаем: РШ = 7,3′ кN и РД = 6,4′кW.

φ_c	48°47,0′N
РШ	7,3кN
λ_0	48 54,3N

λ_c + РД	46°46,0′W 6,4кW
λ_0	46°52,4′W

Рис. 3.34 Пример определения места по одновременным наблюдениям двух светил

Принимая $m_{лп} = \pm 0{,}6'$ и $\Delta_{лп} = 2{,}0$ мили, строим площадь вероятного места судна:

ср 1 2 - $\frac{77{,}5°}{2} = 258{,}2°$.

Определение места судна по высотам 3 светил

Способ определения места судна по одновременным наблюдениям двух светил отличается сравнительной простотой. Однако полученная по двум линиям положения обсервованная точка при наличии систематических ошибок не получается достаточно определенной. Чтобы получить более точную и надежную обсервацию, необходимо иметь еще одну линию положения, т. е. определить место судна по наблюдениям трех светил. Важным преимуществом такого способа определения является возможность исключить из результатов обсервации систематические погрешности наблюдения. Для этого при подборе звезд по глобусу жела-тельно выпол-нить требование, заключающееся в том, чтобы разность азимутов между каждой звездой была близка к 120°. Подобранные для наблюдений звез-ды C_1, C_2, C_3 *(рис. 3.35)* будут располагаться по всему горизонту. По возможности подбирают звезды с близкими по величине высотами (объектом наблюдения могут являться также планеты).

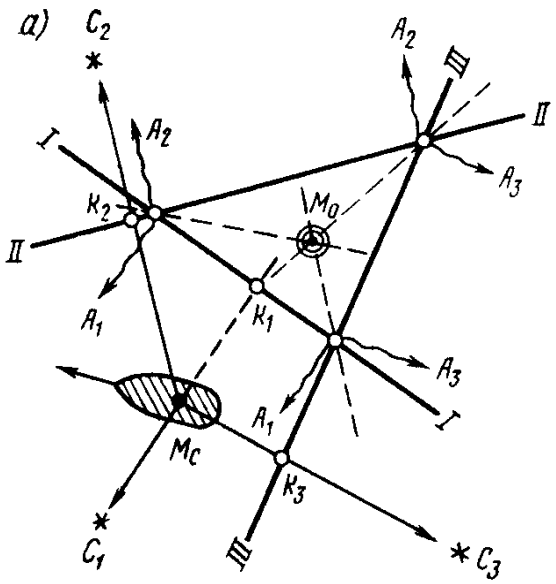


Рис. 3.35 Нахождение обсервованного места при определении по трем звёздам

Подготовку к наблюдениям, сами наблюдения, вычисления и прокладку проводят в том же порядке, как и при определении места по двум светилам. См. Приложение. Высоты первой и второй звезд обычно приводят к зениту третьих наблюдений. В этом случае судовое время и отсчет лага замечают при взятии средней по порядку высоты третьей звезды. Особенности способа определения места по трем светилам проявляются в анализе обсервации. Так как в полученных трех линиях положения I – I, II – II и III – III будут присутствовать систематические и случайные погрешности, то при прокладке на карте или бумаге эти линии, как правило, не пересекаются в одной точке. Образованный ими треугольник называется *ложным треугольником* или *треугольником погрешностей.* Задача судоводителя — отыскать наиболее вероятное место судна, т. е. такую обсервованную точку, которая ближе всего располагается к его действительному месту. Теоретические исследования показывают, что если попарные разности азимутов трех светил были равны или близки к 120°, то обсервованное место M_0 *(рис. 3.35),* свободное от систематических ошибок, может приниматься внутри треугольника на пересечении его биссектрис. Оценка точности места. При трёх линиях можно применять круговую ошибку радиуса R = 2M. Если светила расположены в разных частях горизонта, то M вычисляется по формуле:

$$M = k\frac{2m_n}{\sqrt{N}}$$

где $k = 1$ при симметричном расположении светил;

$k = 1{,}25$ при отклонении в симметрии;

N – число линий.

Если же светила наблюдались в одной части горизонта, то при оценке точности места следует учесть ошибки биссектрис.

Для $\Delta A = 60°$ приближённо $M = 2m_n$ и $R = 2M \approx 4{,}4m_n$; эту величину можно приближённо применять для светил в одной части горизонта.

Определение места судна по высотам 4 светил. Точность способа

Определение места судна по одновременным наблюдениям четырех светил C_1, C_2, C_3, C_4 *(рис. 3.36)* является еще более точным и надежным способом, при применении которого также оказывается возможным исключить влияние систематических погрешностей высот. Преимущество этого способа проявляется при условии правильного подбора

светил для наблюдений. Звезды должны подбираться по всему горизонту, чтобы разность азимутов между соседними светилами была близкой к 90° *(рис. 3.36)*. Высоты «противоположных» звезд должны быть по возможности близкими по значению. Подбор звезд делают заблаговременно по звездному глобусу. Объектом наблюдения могут быть также планеты, которые нужно нанести на глобус.

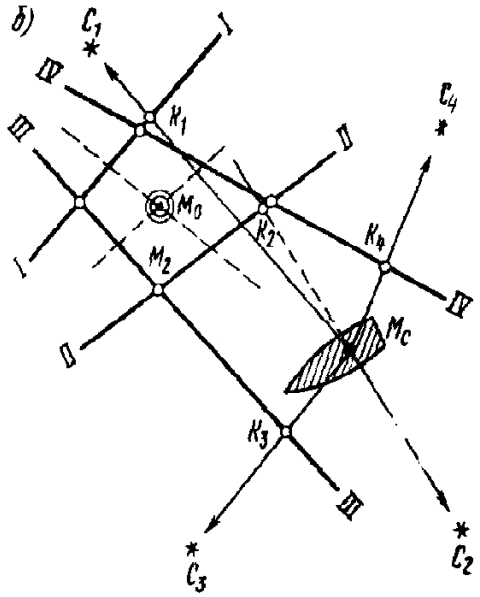


Рис. 3.36. Нахождение обсервованного места при определении по четырём звёздам

Наблюдения, вы-числения и прокладку при определении по четырем светилам вы-полняют в обычном порядке.См.Приложе-ние. Высоты первых трех звезд приводят обычно к зениту четвертых наблюдений. Судовое время и отсчет лага в этом случае записывают при измерении сред-ней по порядку высо-ты четвертой звезды. В результате вычис-лений получают эле-менты четырех линий положения, которые прокладывают на карте или бумаге. Под действием случайных и систематических ошибок четыре линии положения, как правило, не пересекаются в одной точке, образуя *четырехугольник погрешностей.* При правильном подборе светил, когда четырехугольник погрешностей близок к квадрату, обсервованную точку M_0 *(рис. 3.36)* принимают в пересечении линий, соединяющих середины противоположных сторон четырехугольника.

Оценка точности производится радиальной ошибкой по формуле ($M = k\frac{2m_n}{\sqrt{N}}$) или приближённо R = 2M ≈ 2,2m_n. Место, определённое по четырём линиям, достаточно надёжно, но у одиночного наблюдателя остаётся возможность ошибки во времени поэтому он должен после наблюдения вторично проверять время (например, остановить секундомер по другому хронометру или по сигналам времени, проверить $u_{хр}$ и часовые углы). Если привлекался второй наблюдатель, то среднее место отстоит от истинного обычно в пределах 0,5′.

Определение места судна по разновременным наблюдениям Солнца. Точность способа. Оптимальное время между наблюдениями

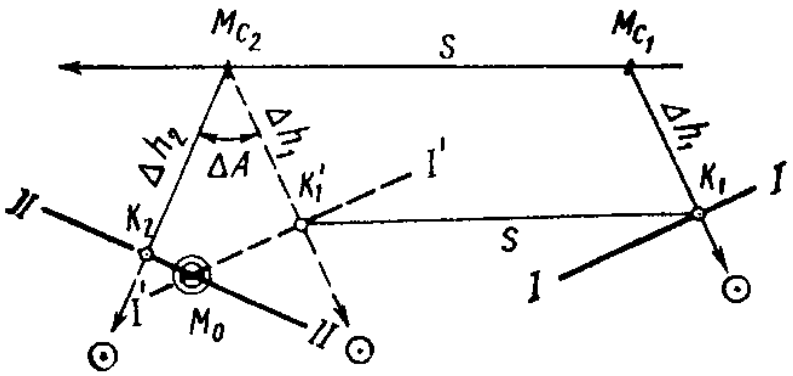


Рис. 3.37. Получение обсервованного места при разновременных наблюдениях Солнца

Обоснование метода. Для получения обсервованного места судна необходимо нанести на карту не менее двух линий положения. Однако в светлое время суток штурман чаще всего имеет возможность наблюдать одновременно только одно светило — Солнце. По этой причине для получения обсервации приходится пользоваться методом его разновременных наблюдений. Промежуток времени между двумя наблюдениями определяется необходимостью изменения азимута светила на 40 – 60°. При различных условиях этот промежуток составляет от нескольких минут до 3 – 4 ч. Чтобы обосновать метод получения обсервованного места по разновременным наблюдениям Солнца, рассмотрим *рис. 3.37.* Предположим что в момент первых наблюдений счислимое место судна находилось в точке Mc_1. Его обсервованное место в этот же момент должно располагаться на линии положения I – I, элементы которой Ac_1, и Δh_1 были получены по координатам Mc_1. Через некоторое время, совершив плавание S, на судне провели вторые наблюдения Солнца и получили линию положения II – II. Элементы этой линии Ac_2 и Δh_1 были рассчитаны по координатам второй счислимой точки Mc_1. Можно утверждать, что в момент вторых наблюдений обсервованное место судна располагалось в одной из точек линии II – II. Предположим теперь, что при плавании судна в промежутке времени между двумя наблюдениями не было допущено никаких ошибок счисления. Перенесем линию положения I – I по направлению пути судна на величину плавания S. Очевидно, что в момент вторых наблюдений обсервованное место при условии точного счисления должно находиться где-то на этой перенесенной линии I' – I'. Но так как в этот же момент судно находится на линии положения II – II, то точка M_o на пересечении линий I' – I' и II – II и явится его обсервованным (фактически счислимо-обсервованным) местом. Переносить линию положения I – I можно от любой произвольно взятой на ней точки. Например, как показано на *рис. 3.35*, точка K_1 смещена по пути плавания в точку K'_1, через которую и проведена линия I' – I', параллельная линии

I – I. Так как отрезки $Mc_1K'_1$ и Mc_1K_1 равны и параллельны, то точку K'_1 можно получить, проложив элементы первой линии Ac_1 и Δh_1 непосредственно из второго счислимого места Mc_2. Это обстоятельство позволяет вести прокладку обеих разновременных линий положения из одной точки Mc_2, и получать обсервованное место, не делая прокладки линии I – I из первой счислимой точки. В реальных условиях на точность перенесенной первой линии положения I' – I' будут оказывать влияние не только случайные и систематические погрешности в переносе Δh_1, но и погрешность в счислении за время между наблюдениями. Значение этой погрешности, которая войдет в полученную обсервацию, будет тем меньше, чем меньше промежуток времени между наблюдениями, а также чем ближе разность азимутов Солнца к 90°. Эти требования противоречивы, так как для получения такой разности азимутов необходим достаточно большой промежуток времени. Учитывая это, следует выбирать при определении места наивыгоднейшую разность азимутов. Как показывают исследования, такой разностью является угол 40 – 60°. Минимальное значение промежутка времени, необходимого для изменения азимута Солнца на угол 40 – 60°, определяется скоростью изменения азимута светила. В свою очередь эта скорость зависит от широты, в которой происходит плавание судна, склонения Солнца и .времени суток, т. е. времени проведения наблюдений. Известно, что в высоких широтах скорость изменения азимута Солнца в течение суток почти постоянна. Поэтому момент выхода на первые наблюдения не скажется на промежутке времени между получением первой и второй высотной линии. Следовательно, в высоких широтах первые наблюдения можно выполнять в любой момент после восхода Солнца. В средних широтах первые наблюдения удобно проводить не раньше, чем за 2 – 3 ч до кульминации Солнца, вторые – не позднее 2 – 3 ч после кульминации Солнца. Эти соображения определяются тем обстоятельством, что скорость изменения азимута вблизи кульминации будет значительно большей, чем после восхода или перед заходом светила. Тем самым удастся сократить промежуток времени между наблюдениями и уменьшить ошибки счисления. В малых широтах указанная неравномерность изменения азимута Солнца особенно заметна, что требует выполнения обоих наблюдений как можно ближе к моменту кульминации.

Практическое выполнение. При определении места судна по разновременным наблюдениям Солнца руководствуются следующим порядком работы.См. Приложение.

Подготовка к наблюдениям.

1. Выбрать время выхода на первые и вторые наблюдения, что особенно необходимо при плавании в малых и средних широтах.
2. Перед выходом на первые наблюдения подготовить секстан к измерениям высот Солнца, проверить перпендикулярность зеркал плоскости лимба.
3. Определить поправку индекса секстана по Солнцу, применяя контроль.
4. Если возможно, измерить наклонение видимого горизонта наклономером.
5. Привести поправку хронометра к моменту наблюдения.

Наблюдения.

1. Измерить три – пять высот Солнца, замечая при каждом измерении моменты по хронометру.
2. При измерении средней высоты заметить T_c и ол.
3. Записать ИК. судна. Если высота Солнца не превышает 50°, записать температуру и давление воздуха.

Вычисления.

1. По замеченному T_c и ол снять с карты счислимые координаты с точностью до 0,1'.
2. По замеченному T_c и номеру часового пояса рассчитать приближенное $T_{гр}$ и гринвичскую дату наблюдений.
3. По среднему моменту хронометра и его поправке получить точное Тгр наблюдений.
4. С помощью МАЕ по $T_{гр}$ наблюдений и λ_c получить местный практический часовой угол и склонение Солнца.
5. По формулам сферической тригонометрии, при помощи таблиц ВАС – 58, ТВА – 57 или ЭВМ (ЭКВМ) определить счислимые высоту и азимут светила.
6. Исправив средний ос всеми поправками, получить обсервованную высоту Солнца.
7. Рассчитать перенос.

Первую линию положения прокладывают на карте, если есть необходимость в уточнении счисления. В промежутке между первыми и вторыми наблюдениями следует принимать меры к точному учету всех элементов счисления. Вторые наблюдения выполняют после изменения $A\odot$ на 40 – 60° в том же порядке, что и первые. При нахождении счислимой высоты и азимута включают в расчет координаты второй счислимой точки.

Прокладка. Обе линии положения на карте или бумаге прокладывают из счислимой точки, соответствующей моменту вторых наблюдений. Место судна принимают в пересечении линий положения.

Анализ обсервации. Площадь вероятного места судна в рассматриваемом случае может быть найдена графическим методом, как при определении по двум звездам. Однако следует учитывать, что случайная погрешность в первой смещенной линии положения определяется не только погрешностями переноса, но и погрешностями счисления. Вследствие этого случайная погрешность в первой линии будет больше, чем во второй. При средних условиях наблюдений, когда измеряют три высоты Солнца в серии, общее значение случайной погрешности в первой линии положения $m_{лп}$ можно ориентировочно считать равной от ±0,7' при малых погрешностях в счислении до ±1,1', если в элементах счисления предполагаются значительные погрешности. Значение $m_{лп}$ для второй линии положения при тех же условиях составит приблизительно ±0,4'. Если средние квадратичные погрешности измерений высот не были определены из непосредственных наблюдений, то целесообразно эллипс погрешностей построить по этим данным. Для учета систематической погрешности наблюдений эллипс смещают на предполагаемую величину $\Delta_{лп}$ в обе стороны по линии среднего азимута и получают общую площадь вероятного места судна. Если наклонение горизонта было определено из наблюдений, а инструментальная поправка секстана заслуживает доверия, величиной $\Delta_{лп}$ можно

пренебречь. Так как промахи при определении места по разновременным наблюдениям Солнца не выявляются, то для контроля надежности обсервации желательно иметь вторую точку, полученную с первой другим наблюдателем.

Пример 3.23: 27.VII 1986 г. в $T_c = 9^ч50^м$; ол = 28,5 мили, $\varphi c_1 = 43°21'N$; $\lambda_c = 130°38'E$; $\Delta_л = 0\%$; измерили три высоты Солнца $oc_{ср}\underline{\odot} = 49°20,2'$; i + s= +5,4'; $Txp_{ср} = 0^ч46^м30^c$; $u_{хр} = +2^м08^c$; e = 10,8 м; ИК = 292°. В Тс = $12^ч55^м$; ол = 84,5 мили; $\varphi_{c2} = 43°42'N$; $\lambda_{c2} = 129°26,4'E$, получили из трёх измерений: $ол_{ср}\underline{\odot} = 64°48,0'$; i + *s* = +5,5'; $Txp_{ср} = 3^ч52^м27^c$. Определить обсервованные координаты на момент вторых наблюдений.

Решение: 1. Обработка первых наблюдений

27. VII	T_c	$9^ч50^м$
–		
	N_E	$9^ч$
27. VII	$T_{гр}$	$0^ч50^м$

$Txp_{ср}$	$0^ч46^м30^c$
	$+2^м08^c$
27. VII $T_{гр}$	$0^ч48^м38^c$
$t_T\odot$	178°22,9(+1′)
Δ_{1t}	12°08,7
Δ_{2t}	+0,8
$t_{гр}\odot$	190°32,4′
+	
λ_E	130 38,0
$t_м\odot$	321°10,4′W
$t_{пр}\odot$	38 49,6E
$\delta_т\odot$	19°19,9′N(– 0,6′)
$\Delta\delta$	– 0,5
$\delta\odot$	19°19,4′N

$oc_{ср}$	49°0,2′
i + s	+ 5,4
d	– 5,8
$h^в\underline{\odot}$	49°19,8′
$\Delta h\odot$	+15,2
h_0	49°35,0′
h_c	49 37,1
Δh	– 2,1

2. Обработка вторых наблюдений

$A_{рг.}$	I линия	$h_т$		$A_т$
	27. VII	49°24,9′	$12^ч55^м$	113,8°
φ_c	43° + 21′N _	– 8,5		+ 0,3
δ	19° + 19,4′N	+ 13,7	$9^ч$	– 0,3
$t_м$	39° – 10,4E	+ 6,9		+0,2
	27. VII	$T_{гр}$	$3^ч55^м$	
$q_т$	45°	+ 0,1		A_c= 114°NE
				A_c = 114°
		h_c = 49°37,1′		

$Txp_{ср}$	$3^ч52^м27^c$
+	
$u_{хр}$	$2^м08^c$
27. VII $T_{гр}$	$3^ч54^м35^c$
$t_T\odot$	223°23,0′(+1′)
Δ_{1t}	13 37,8
Δ_{2t}	0,9
$t_{гр}\odot$	237°01,7′
+	
λ_E	129 26,4
$t_м\odot$	6°28,1′W
$t_{пр}\odot$	6 28,1 W
$t_т\odot$	19°18,3′N(–0,6′)
$\Delta\delta$	– 0,5
$\delta\odot$	19°17,8′N

$oc_{ср}$	64°48,0′
i + s	+ 5,5
d	– 5,8
$h^в\underline{\odot}$	64°47,7′
$\Delta h\odot$	+ 15,2
$h\odot$	65°03,2′
–	
h_c	65 00,1
Δh	+ 3,1′

Расчет h_c и A_c выполняем с помощью программируемого микрокалькулятора «Электроника БЗ-34». Расчет исходных данных в градусах с десятыми долями:

φ_c: 42,0 ↑ 60 ÷ 43 + /43.7°); П 0

δ: 17,8 ↑ 60 ÷ 19 + /19.2967/; П 1

$t_м$: 28,1 ↑ 60 ÷ 6 + /– 6,4683/; П 2

Переводим ПМК в режим «Программирование». Набираем программу расчета, проверяем правильность набора. Вводим исходные данные и включаем программу на расчет нажатием клавиш ВО СП . Получаем А = 165,4°NW = 194,6°. Вызываем значение h = 65.001151. После перевода в градусы и угловые минуты: h = 65°00,1′.

3. Выполняем прокладку с использованием углового масштаба *(рис. 3.38)*.

С прокладки на $T_c = 12^ч55^м$, ол = 84,5 мили получаем РШ = 2,3′ кS; РД = 4,6′кW.

	φc_2	43°42′N		λc_2	129°26,4′E
–			–		
	РШ	2,3′кS		*РД*	4,6′кW
	φ_0	43°39,7N			129°21,8′N

$$C = 235° - 4{,}0'$$

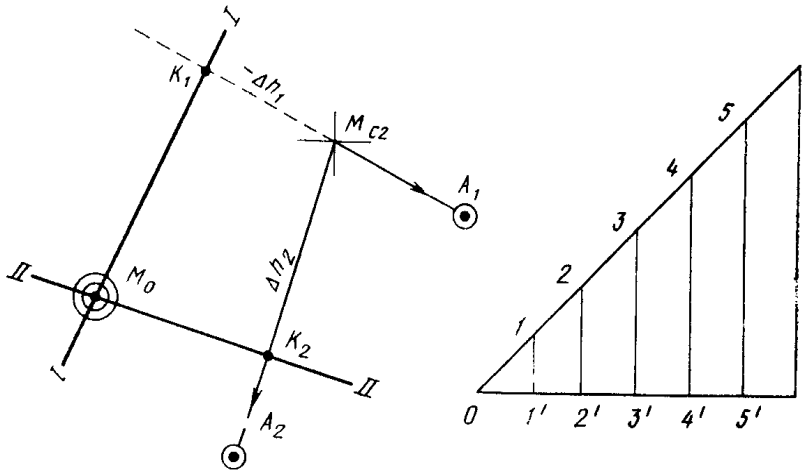


Рис. 3.38. Определение места по разновременным наблюдениям Солнца

Определение широты по высоте Полярной звезды

Обоснование метода. Высота повышенного полюса численно равна географической широте наблюдателя. Поэтому, если бы в точке повышенного полюса располагалась какая-либо звезда, то ее высота, исправленная необходимыми поправками, представила бы собой обсервованную широту судна. Ни в северной, ни в южной половине небесной сферы таких звезд нет. Однако вблизи Северного полюса мира располагается звезда α Малой Медведицы, носящая собственное имя Полярная. Склонение этой звезды имеет значение, большее 89° N, т. е. ее полярное расстояние меньше 1°. Вследствие этого в суточном движении звезда описывает параллель с небольшим сферическим радиусом $\Delta_* \approx 51'$. В моменты верхней и нижней кульминации ее высота отличается от широты наблюдателя на величину Δ_*. Два раза в сутки, когда альмукантарат Полярной проходит через P_N, разность между φ_0 и h_* обращается в нуль. Во всех случаях $\varphi_0 = h_* \pm x$, где x — поправка к высоте Полярной звезды, представляющая собой разность между высотой звезды в какой-либо момент и высотой повышенного полюса. Значение x зависит от положения звезды на ее параллели, т. е. в конечном счете является функцией местного звездного времени $S_м$. Значение этой поправки получают из МАЕ, в котором приводится таблица «Широта по высоте Полярной», состоящая из трех частей — таблиц. Из табл. I по аргументу $S_м$ выбирают первую (основную) поправку к высоте Полярной, из табл. II — вторую поправку (аргументы $S_м$ и h_*, из табл. III — третью поправку (аргументы $S_м$ и дата наблюдений).

Окончательно: $x = I_{попр} + II_{попр} + III_{попр}$.

Практическое выполнение определения широты по высоте Полярной звезды. Определение широты по высоте Полярной звезды возможно при плавании в широтах от 5 до 75°N, однако практически звезду удобно наблюдать при высотах не более 60—70°.

Наблюдения приводят в вечерние или утренние сумерки, когда горизонт четко обозначен. Последовательность действий при определении φ_o сводится к следующему.

Подготовка к наблюдениям.

Подготовить секстан к ночным наблюдениям и определить поправку индекса по звезде.

Наблюдения.

1. Измерить три – пять высот Полярной, замечая моменты по хронометру.
2. Заметить T_c, ол и, если необходимо, температуру и давление воздуха.

Вычисления.

1. Рассчитать $oc_{ср}$ и $Txp_{ср}$.
2. Исправить $oc_{ср}$ всеми поправками, получив h_*.
3. Рассчитать приближенное и точное $T_{гр}$. Выбрать из МАЕ $S_м = t_м{}^\Upsilon$.
4. Выбрать из МАЕ поправки I, II и III по соответствующим аргументам со своими знаками.
5. Получить обсервованную широту по формуле $\varphi_0 = h_* + I_{попр} + II_{поп\,р} + III_{попр}$.

Пример 3.24: 1.IX 1986 г. Черное море, $T_c = 19^ч26^м$; ол = 64,3 мили. Находясь в $\varphi_c = 42°16{,}0'N$; $\lambda_c = 29°0{,}70'E$, измерили три высоты Полярной звезды, заметив моменты по хронометру: $oc_{ср} = 41°54{,}1'$; $Txp_{ср} = 05^ч21^м32^c$; $u_{хр} = +3^м47^c$; $i + s = +5{,}4'$; $e = 10{,}1$ м;
$T = +10°C$; $B = 760$ мм**.** Определить φ_0.

1.	1. IX	T_c	$19^ч26^м$	2. $Txp_{ср}$	$05^ч21^м32^c$
		–		$u_{хр}$	+3 47
		N_E	2	$T_{гр}$	$17^ч25^м19^c$
	1. IX	$T_{гр}$	$17^ч26^м$	4. $oc_{ос}$	41°54,1′
3.		$t^\Upsilon{}_т$	235°33,7′	i+s	+5,4
		Δt^Υ	6 20,8	d	– 5,6
		$t^\Upsilon{}_{гр}$	141°54,5′	$h_{в*}$	41°53,0′
		+		$\Delta h_р$	– 1,1
		λ_E	29 07,0	h_*	41°52,8′
		$t^\Upsilon{}_м$	271°01,5′	I	+26,1
				II	+0,2
				III	+0,4
				φ_0	42°19,5′N

Определение широты по меридиональной высоте Солнца

Обоснование метода. На *рис. 3.39* изображена небесная сфера для наблюдателя, расположенного в некоторой широте φ_N. На сферу нанесены параллели трёх светил: B, D и F, склонения которых имеют самые различные соотношения с широтой наблюдателя.

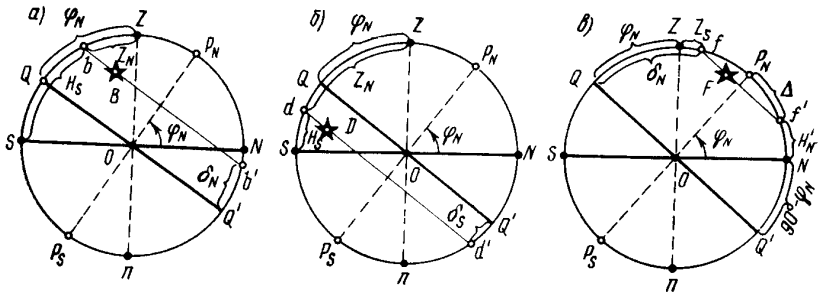


Рис. 3.39. К выводу формул для определения φ_0 по меридиональной высоте Солнца

Светило B *(рис. 3.39, а)* имеет склонение, одноимённое с широтой наблюдателя причем значение его склонения меньше широты ($\delta_N < \varphi_N$). Верхняя кульминация светила B располагается в точке *b.*

Светило *D (рис. 3.39, б)* имеет склонение, разноименное с широтой наблюдателя и меньшее дополнение широты ($\delta_S < 90° – \varphi_N$). Его верхняя кульминация обозначена точкой *d.*

Светило F *(рис. 3.39, в)* имеет склонение, одноименное с широтой наблюдателя и по значению большее широты ($\delta_N > \varphi_N$). Кроме того, склонение этого светила превышает дополнение широты до 90° ($\delta_N > 90° – \varphi_N$). Следовательно, наблюдатель может видеть как верхнюю (точка *f)*, так и нижнюю (точка *f′*) кульминации светила. Предположим, что наблюдателем были измерены меридиональные высоты H всех трех светил в момент их верхней кульминации — точки *b***,** *d* и *f.* Меридиональным

высотам всегда приписывают наименование N или S, определяемое по точке горизонта, над которой измерялась высота. Дополнение Н до 90°, т. е. Z = 90° – Н носит название меридионального зенитного расстояния и имеет наименование, обратное Н. Если при измерении меридиональных высот заметили моменты гринвичского времени, то из МАЕ можно получить склонение светил. Установим соотношения между известными Н и δ каждого светила и широтой наблюдателя φ_N.

Для светила В *(рис. 3.39, а)* получим:

$\cup QZ = \cup Qb + \cup Zb$

или, заменяя дуги соответствующими координатами светил с указанием их наименования,

$\varphi_N = \delta_N + (90° - H_S) = \delta_N + Z_N$.

Для светила *D* (рис.3.39, б) найдем, что

$\cup QZ = \cup Zd - \cup Qd$ или $\varphi_N = (90° - H_S) - \delta_S = Z_N - \delta_S$

Для светила *F (рис.3.39, в)* получим:

$\cup QZ = \cup Qf - \cup Zf$ или $\varphi_N = \delta_N - (90° - H_N) = \delta_N - Z_S$.

Обобщая полученные равенства, напишем формулу, которую применяют для получения широты места по высотам светил, измеренным в момент верхней кульминации:

$$\varphi_0 = Z \pm \delta \qquad (3.18)$$

Широта равна алгебраической сумме склонения светила и его меридионального зенитного расстояния. При использовании формулы знак плюс (“ + ”) следует брать в том случае, если Z и δ одноименные. Широта в этом случае получает наименование слагаемых величин. Если же Z и δ разноименные, то для получения φ_0 в правой части формулы вычитают из большей величины меньшую; широте приписывают наименование большей величины. Установим теперь на рис. 3.39, *в* соотношение между меридиональной высотой светила F в нижней кульминации H'_N, склонением этого светила и широтой наблюдателя:

$\cup NP_N = \cup Nf' + \cup P_N f'$ или $\varphi_N = H'_N + (90° - \delta_N)$.

Заменив дополнение склонения через полярное расстояние Δ = 90° – δ, получим формулу для определения широты места по высотам светил, измеренным в момент нижней кульминации,

$$\varphi_0 = H' + \Delta. \qquad (3.19)$$

Нижняя кульминация может наблюдаться только над точкой горизонта, одноименной с широтой наблюдателя, при φ и δ одноименных. Поэтому в формуле всегда следует брать знак плюс (“ + “). Широту места в море принято определить только по меридиональным высотам Солнца, хотя в принципе это возможно делать по наблюдениям любого светила. Нижнюю кульминацию Солнца можно наблюдать лишь при плавании в высоких северных или южных широтах, во время полярного дня.

Практическое выполнение определения широты по меридиональным высотам Солнца. Последовательность действий при определении широты по меридиональным высотам рассмотрим для случая, когда Солнце наблюдалось в верхней кульминации; в момент нижней кульминации порядок работы при определении φ_0 аналогичный.

Подготовка к наблюдениям.

1. Снять с карты φ_C и λ_C на предполагаемое T_C кульминации Солнца (или на полдень).
2. Рассчитать с помощью МАЕ T_C кульминации Солнца.
3. Подготовить секстан к дневным наблюдениям.
4. Определить поправку индекса секстана по Солнцу, применяя контроль.
5. Измерить, если возможно, наклонение горизонта.

Наблюдения.

1. За 5 – 7 мин до рассчитанного момента кульминации Солнца начать измерять и записывать его высоты. После получения двух-трех убывающих отсчетов прекратить наблюдения.
2. Заметить T_C, ол и, если нужно, температуру и давление воздуха.
3. Заметить, над какой точкой горизонта — N или S измерялись высоты.

Вычисления.

1. По замеченному при наблюдениях T_C рассчитать $T_{гр}$, по которому выбрать из МАЕ склонение Солнца.
2. Наибольший отсчет секстана исправить всеми поправками. Полученную меридиональную высоту перевести в зенитное расстояние, указав его наименование.
3. По формуле (3.18) получить обсервованную широту судна.

Пример 3.25: 22.V 1986 г., Атлантический океан. Рассчитали T_C верхней кульминации Солнца, предвычислив на полдень $\lambda_C \approx 65°55'W$. В $T_C = 12^{ч}21^{м}$ ол = 52,5; $\varphi_C = 23°35,0'N$; $\lambda_C = 65°57,3'W$,
наибольший ос⊙ = 86°39,3' к S; *i* + s = – 0,5'; *d* = – 6,2′ (получено наклономером); ИК. = 262°. Определить φ_0.

Решение: 1. Расчет T_C кульминаций:

22. V $T_к$(м)	$11^ч57^м$
+ λ_W	4 24
22. V $T_{гр}$	$16^ч21^м$
– N_W	4
22. V T_c	$12^ч21^м$

oc⊙	86°39,3′кS
i+s	– 0,5
	– 6,2
$H_в$⊙	86°32,6′KS
Δh⊙	+15,8
H⊙	86°48,4 кS
Z⊙	3 11,6 N
δ⊙	20 25,2 M
φ_0	23°25,2′N

2. δ⊙	20°25,0N(+0,5′)
Δδ	+0,2
δ⊙	20°25,2′N

Прокладка ВЛП на карте и бумаге. Точность элементов ВЛП

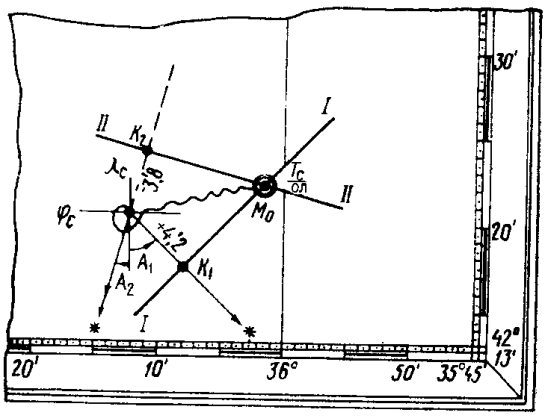


Рис. 3.40. Прокладка высотных линий положения на карте

Счислимое место M_c может располагаться вне круга равных высот, внутри круга, а также и на самом круге. В первом случае перенос $\Delta h = h_0 - h_c$ будет положительной величиной, так как ра-диус счислимого круга больше, чем радиус обсервованного. Оп-ределяющая точка К по отношению к счислимому месту распола-гается в направлении к полюсу освещения. Во втором случае пе-ренос Δh будет отрицательным, так как радиус счислимого круга здесь меньше, чем обсервованного. Определяющая точка К по от-ношению к M_c будет располагаться уже по направлению от полю-са освещения. При расположении счислимого места M_c на круге равных высот пере-нос будет равен ну-лю, так как радиу-сы обоих кругов равны. Точка К бу-дет совпадать с M_c. Таким образом, можно сформули-ровать практичес-кие правила, кото-рыми следует руководствоваться при прокладке высот-ных линий положе-ния в различных случаях *(рис. 3.40):*

– провести из счислимого места (φ_c, λ_c) линии вычисленных азимутов светил, отметив направление к светилам (полюсам освещения) стрелками;

– отложить по линиям азимутов от счислимой точки переносы $h_0 - h_c$ к светилу, если $h_0 - h_c > 0$, или от светила, если $h_0 - h_c < 0$;

– через полученные определяющие точки K_1, K_2 перпендикулярно направлениям азимутов провести линии положения I – I и II – II. При $h_0 - h_c = 0$ линию положения провести перпендикулярно направлению азимута непосредственно через счислимое место;

– в точке пересечения линий положения принять обсервованное место M_0.

Линии положения непосредственно на меркаторской карте прокладывают только в том случае, если карта, по которой ведет-ся счисление, имеет масштаб 1 : 500000 и крупнее. При плавании в открытом море, где чаще всего и приходится прибегать к астро-номическим методам определения места судна, используют мел-комасштабные генеральные карты. Нанесение на них небольших расстояний, какими обычно являются переносы, оказывается не-возможным. В этом случае для прокладки элементов линий поло-жения следует использовать карты-сетки. Если на судне нет кар-ты-сетки, прокладку линий положения выполняют в желаемом масштабе на листе бумаги или специальном бланке. Обычно для прокладки на бумаге применяют угловой масштаб. В нижней части листа проводят горизонтальную линию ОА *(рис. 3.41),* а к ней под углом, равным φ_c, — наклонную линию ОВ. На последней откладывают отрезки в 1 – 2 см, принимаемые за 1′ боковой рамки карты, т. е. меркаторскую милю. Полученные точки 1, 2, 3 ... проецируют по вертикали на горизонтальную линию ОА и получают на ней соответствующие точки 1′, 2′, 3′... . Рассматривая заштрихованный прямоугольный треугольник O*ba,* найдем, что его сторона O*a* = O*bcos*φ_c. Отсюда ясно, что каждое деление горизонтальной линии ОА представляет собой одну экваториальную милю. Другими словами, горизонтальная линия ОА соответствует нижней или верхней рамке меркаторской карты. Произвольную точку на листе бумаги M_c принимают за счислимое место судна (φ_c, λ_c). От этой точки прокладывают линии азимутов. Циркулем-измерителем снимают с наклонной линии масштаба переносы и откладывают по линим азимутов. Проведя через определяющие точки K_1 и K_2 линии положения I – I и II – II, получают в их пересечении обсервованное место M_0. Для вычис-ления обсервованных координат измеряют циркулем РШ и РД точки M_0 относительно счислимого места M_c. Значение РШ получают с наклонной линии масштаба, а РД – с горизонтальной. Теперь $\varphi_0 = \varphi_0 + РШ$; $\lambda_0 = \lambda_c + РД$.

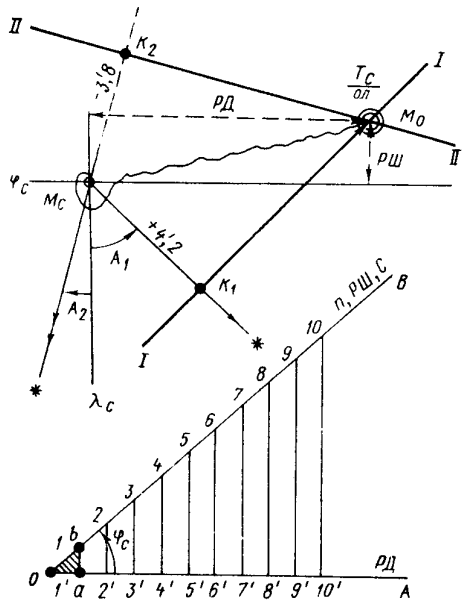
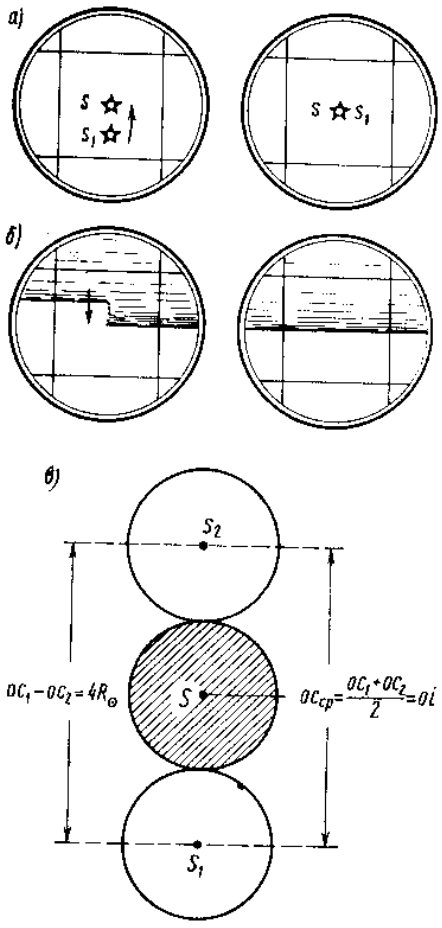


Рис. 3.41. Прокладка линий



Определение поправки индекса. Приемы измерения высот светил. Измерение высот светил над видимым горизонтом

Если предмет *Л (рис. 3.42)* удален на бесконечно большое расстояние, то при совмещении его прямовидимого и дважды отраженного изображения плоскости большого и малого зеркал окажутся параллельными, т. е. ω = 0. Отсчет секстана M_0, соответствующий параллельному положению зеркал, называется *местом нуля на лимбе.* От него следует отсчитывать все измеряемые углы. На место нуля при изготовлении секстана наносится отсчет 0°, называемый нуль-пунктом. Однако вследствие ослабления винтов, крепящих малое зеркало, место нуля на лимбе может смещаться относительно нанесенного на лимб отсчета 0° вправо и влево. В результате в показаниях секстана появляется погрешность, значение которой равно дуге $0°M_0$. При измерении высот светил над линией видимого горизонта, расстояние до которого практически бесконечно, эту погрешность называют *поправкой индекса i*, а отсчет секстана, соответствующий месту нуля, – *отсчетом индекса oi.*Поправку индекса определяют так:

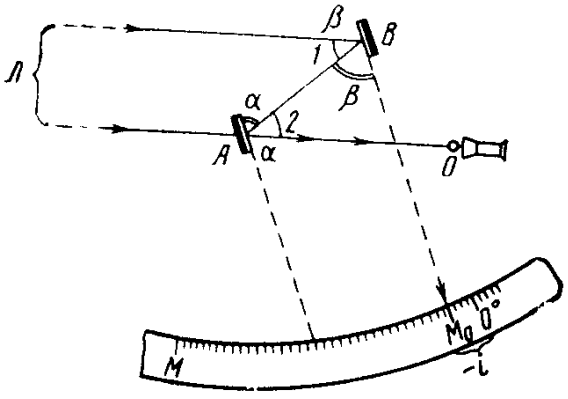


Рис. 3.42 Поправка индекса секстана

$$i = 360° - oi \qquad (3.20)$$

Если место нуля M_0 оказалось правее деления 0°, то отсчеты всех измеряемых углов будут меньше их действительных значений на величину дуги $i = 0°M_0$. Наоборот, при положении M_0 левее 0° *(рис. 3.43)* отсчеты измеренных углов будут завышены. Следователь-но, поправка индекса *i* положительна, если ин-декс алидады при парал-лельных зеркалах распо-лагается правее деления 0°, и отрицательна, если левее. Поправка индекса секстана *i* должна опре-деляться для каждых на-блюдений. При измере-нии высот светил ее оп-ределяют по светилу (звезде или Солнцу) или по видимому горизонту. При измерении углов между береговыми ори-ентирами, расстояние до которых менее 1 мили, ее определяют по одно-му из ориентиров.

Определение i по звезде. Трубу секстана устанав-ливают на резкость, а алидаду на отсчет 0°. На-правив секстан на звезду, вращением барабана сов-мещают ее прямовидимое S и дважды отраженное S_1 изображения *(рис. 3.43,а).* Снимают отсчет индекса *oi* и определяют *i* по формуле (3.20).

Рис. 3.43. Определение поправки индекса: а – по звезде; б – по горизонту; в – по Солнцу

Определение i по горизонту. Подготовив секстан также, как и в предыдущем случае, наводят трубу на видимый горизонт. Прямовидимое и дважды отраженное изображения горизонта будут видны в виде ломаной линии *(рис. 3.43,б).* После совмещения изображений снимают отсчет *oi* и рассчитывают *i* по формуле (3.20).

Определение i по Солнцу (рис. 3.43,в). Накидывают светофильтры перед обоими зеркалами секстана, ставят алидаду на отсчет 0° и наводят трубу на Солнце. Добиваются касания краев прямовидимого S и дважды отраженного S_1 изображений Солнца и снимают по лимбу отсчет oc_1 вращая барабан, переводят дважды отраженное изображение Солнца в положение S_2 и снимают отсчет oc_2. Рассчитывают поправку индекса

$$i = 360° - \frac{oc_1 + oc_2}{2} \qquad (3.21)$$

Для контроля правильности наблюдений рассчитывают разность $oc_1 - oc_2 = 4R\odot$, которую сравнивают с выбранным из МАЕ $R\odot$, умноженным на четыре. Разность не должна превышать 0,4′.

Пример 3.26: 22 мая 1986 г. при определении поправки индекса по Солнцу получили: $oc_1 = 360°28,8′$; $oc_2 = 359°25,8′$. Провести контроль наблюдений, определить *i*.

Решение:

Контроль: $4R\odot = oc_1 - oc_2 = 1°03,0′ = 63,0′$.

По МАЕ $4R\odot = 15,8′ \times 4 = 63,2′$.

Наблюдения удовлетворительные

Расчет *i* : $i = 360° - \frac{719°54,6′}{2} = 360° - 359°57,3′ = +2,7′$.

Измеренной, или *наблюденной,* высотой *h′* называется вертикальный угол между направлениями на центр (или край) светила и видимый горизонт, с учетом поправок s и i секстана,
т. е.

$$h′ = oc + i + s\,, \qquad (3.22)$$

где ос – отсчет секстана, полученный в результате измерения высоты. Измерение высоты разделяется на три операции:

– приведение изображения светила к горизонту в поле зрения трубы;

– отыскание вертикала светила и расположение в нем секстана;

– точное совмещение изображений.

Две последние операции выполняются совместно.

Приведение изображения светила к горизонту. Эта предварительная операция выполняется несколькими приемами в зависимости от условий.

Прием «установки приближенной высоты». Если наблюдения запланированы и с помощью глобуса, таблиц НО-249 или расчетом получены высоты и азимуты светил, то отыскание данного светила в поле зрения выполняют следующим путем:

– установив на секстане приближенную высоту светила и отыскав по компасу азимут светила, следует направить трубу в найденную точку горизонта;

– покачивая секстан и слегка вращая барабан, найти изображение звезды или планеты и горизонта.

Этот прием незаменим при отыскании звезд в ранние сумерки, когда они простым глазом еще не видны, а также для отыскания днем Венеры и Луны (в фазе малого серпа). Применяется этот прием и при наблюдении секстанами с искусственным горизонтом; удобен он и при наблюдениях Солнца. В настоящее время этот прием является основным.

Прием «разведения» изображений от нуля. Установив алидаду секстана на 0°, наводят зрительную трубу на светило и находят его прямовидимое и дважды отраженное изображения. Освободив алидаду, двигают ее к увеличению отсчетов, одновременно опуская трубу к горизонту. При этом прямое изображение светила исчезает, а отраженное должно оставаться в поле зрения. Движение продолжают, пока в поле зрения с отраженным светилом не появится горизонт; при этом алидаду стопорят. Для Солнца движение продолжается до горизонтального положения трубы; при этом прямовидимые фильтры, закрывающие горизонт, убирают. Этот прием чаще применяют при наблюдениях с трубой большого увеличения и малого поля зрения, особенно при наблюдении слабых звезд. Применяется он также при наблюдениях, выполненных экспромтом, по неопознанным светилам. Вариантом этого приема является подведение горизонта к звезде при перевернутом секстане.

Прием «поиска». Направив трубу секстана в точку горизонта под светилом, двигать алидаду от себя, одновременно покачивая секстан и перемещая трубы по горизонту, пока не покажется изображение светила. Этот прием можно применять при наблюдениях ярких светил слабой трубой с большим полем зрения. Обычно он применяется при незапланированных наблюдениях Солнца, причем для ускорения его есть следующие приемы:

– перед большим зеркалом набрасывают слабый фильтр, пока в поле зрения не покажется «зарево», тогда фильтр

заменяют на обычный;

– мимо трубы наблюдают светофильтр большого зеркала, пока на нем не появится солнечный «зайчик».

Отыскание вертикала и совмещение изображений. В этих двух операциях, выполняемых одновременно, наиболее трудной является отыскание правильного — вертикального положения секстана. На *рис.3.44* высота h'_1, измеренная вне вертикала, больше действительной h'. В элементарном сферическом ΔSLL_1 разность Δh гипотенузы h'_1и катета h' определится по формуле, которая приводится к углу отклонения от отвеса i:

$$\Delta h = \frac{j^2}{4} \text{ arc } 1' \sin 2h' = \frac{j^2}{2} \text{ arc } 1' \operatorname{tg} h' \ , \qquad (3.23)$$

где из $\Delta zSDj \cong \dfrac{i}{\cos h'}$.

Формула показывает, что ошибка от наклона секстана из вертикала светила возрастает с высотой; так, при угле наклона $i = 1°$ и $h = 73°$ $\Delta h = 1.7'$. Подобные ошибки — частое явление у нетренированных штурманов. Правильное положение секстана устанавливается покачиванием, при котором светило описывает в поле зрения дугу *aa' (рис. 3.44).* К горизонту подводится ближайшая точка *L* дуги; она и указывает, что секстан находится в вертикале светила. Если отсчет на секстане больше высоты, то дуга проходит «по воде» (изображение S_3), если отсчет меньше–«по небу» (S_2).

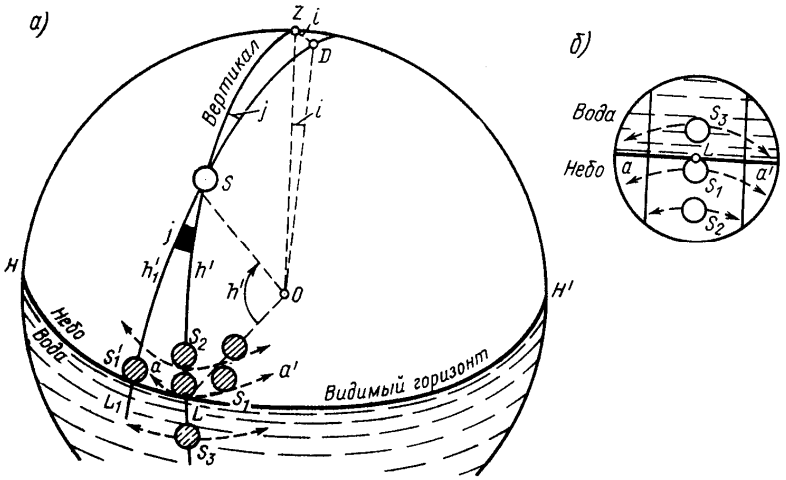


Рис. 3.44. Отыскание вертикала и совмещение изображений

Покачивание секстана. Придание светилу движения по дуге может производиться тремя способами: покачиванием секстана вокруг отвесной линии *Oz;* вокруг оси трубы *OL* и вокруг луча *OS*, падающего на большое зеркало.

1.Покачивание вокруг отвесной линии *Oz* осуществляется движением трубы секстана по азимуту на небольшие углы, удерживая лимб секстана в вертикальной плоскости, т. е. поворотом корпуса наблюдателя вокруг отвесной линии. Изображение светила при этом будет описывать в поле зрения параболу, точка касания которой с горизонтом находится как раз в вертикале светила. Этот прием применяется при измерениях высот «через зенит».

2.Покачивание секстана вокруг оси *OL* трубы является одним из наиболее давно применяемых методов и выполняется движением секстана около оси трубы с одновременным малым перемещением трубы по горизонту около вертикала светила для того, чтобы совмещение изображений светила и горизонта произошло в середине поля зрения трубы. При этом, как показывает исследование, дважды отраженное изображение светила описывает в поле зрения трубы также параболу, но с большей кривизной, чем в первом приеме. При небольших поворотах секстана изображение быстро отходит от горизонта, поэтому второй прием является наиболее точным. Однако он более труден в исполнении и требует тренировки, так как при повороте секстана отраженное изображение светила легко выходит из поля зрения и «теряется».

3.Покачивание секстана вокруг луча, падающего на большое зеркало, выполняется вращением секстана вокруг направления на светило, причем труба его движется вправо и влево по азимуту, т. е. секстан движется по кругу с радиусом, равным h', и центром в светиле. При этом изображение светила будет находиться все время в середине поля зрения трубы, а горизонта – «отходить». Это выполняется наклонами наблюдателя в поясе вправо и влево; прием наиболее прост в исполнении, но точность его ниже, чем второго.

Наиболее распространен и точен второй прием – покачивание секстана около оси трубы с движением по горизонту, который и рекомендуется применять.

Измерение высоты края светила. При измерении высот Солн-ца обычно измеряют высоту нижнего края (S_1 на *рис.3.45,а),* так как на фоне неба касание видно лучше. При измерении высоты верхнего края (S_2 на *рис. 3.45, а)* Солнце погружается «в воду». У Луны измеряются высоты и верхнего, и нижнего краев.

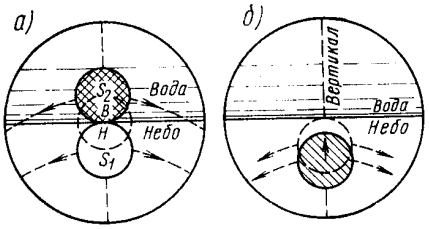


Рис. 3.45. Приемы совмещения изображений

Приемы совмещения изображений. Для точного сведения изображений края или центра светила и гори-зонта, которое производит-ся одновременно с покачиванием секстана, можно применить два приема:

– непосредственное сведе-ние изображений вращени-ем микрометрического винта, как при измерении углов *(рис. 3.45,а);*

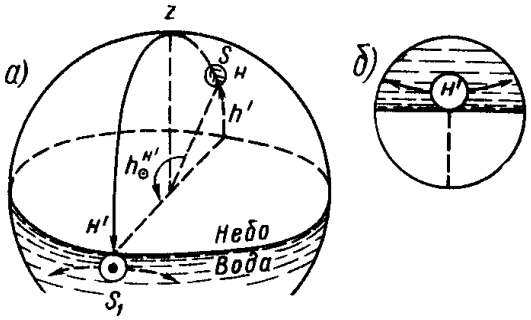
– на заранее установленных отсчетах с последующим ожиданием касания изображений *(рис. 3.45,б).*

Второй из этих приемов точнее и применяется при измерении высот «вне меридиана», обычно Солнца; для этого предварительно определяют интервал перестановки – 5′ или 10′. После освоения всех рассмотренных приемов для правильного измерения высоты требуется тренировка.

Измерение высот «через зенит». Измерение высот светил через зенит представляет собой прием измерения вертикального угла — в обратном азимуте. В настоящее время рекомендуется измерять этим приемом высоты Солнца и других ярких светил в дополнение к обычным измерениям с целью исключения систематических ошибок в полученной паре линий. Кроме того, в противоазимуте Солнца горизонт четче и точность измерения высот выше.

Через зенит измеряется дуга SzS_1 *(рис. 3.46,а),* которая и называется высотой, измеренной через зенит; приближенно она равна 180° – *h′.* Теоретически через зенит нашим секстаном можно измерять высоты от 40° (180° – 140°), но практически только высоты от 45 – 50° измеряются достаточно хорошо. Как правило, через зенит следует измерять высоту обычного нижнего края (*н*). Через зенит этот край *н′* является верхним *(рис. 3.46,б).* При этом изобра-жение Солнца опускается «в во-ду», и при покачи-вании легче удер-живать вертикал светила.

Измерение через зенит выполняют следующим обра-зом: измерив высо-ту *h′* обычным пу-тем, образовать раз-ность 180 – *h′,* поставить ее на сек-стане; повернуться в обратный азимут (по тени или по компасу) и, осторожно двигая трубой по горизонту и покачивая секстан, отыскать изображение светила и горизонт; вращением барабана совместить эти изображения. После этого покачиванием секстана вокруг отвесной линии отыскать положение вертикала и, уже покачивая около этого места, свести изображения и зафиксировать момент. Измерение через зенит несколько труднее обычного, поэтому следует предварительно научиться правильным движениям и потренироваться.



При высотах Солнца, больших 60°, измерения через зенит в дополнение к обычным надо применять обязательно. Очень полезны они и в сумерки, когда видны (в трубу секстана) только две яркие звезды на большой высоте; по ним можно получить четыре линии.

Расчёт часовых углов и склонений Солнца и звезд по МАЕ

Гринвичские часовые углы и склонения Солнца, четырёх больших планет и Луны даны в ежедневных таблицах ежегодника на каждый час всемирного времени, что позволяет рассчитать их значения на заданный момент. Часовые углы звезд для экономии места в ежегоднике не приводятся. Для расчета часовых углов звезд $t_{гр}^{*}$ и $t_{м}^{*}$ применяются формулы (3.24) и (3.25):

$$t_{гр}^{*} = t_{гр}^{\Upsilon} + \tau^{*}, \qquad (3.24)$$

где $t_{гр}$ – гринвичский часовой угол;

вверху и справа у часового угла в случае необходимости ставится соответствующий значок, указывающий к чему относится данный часовой угол, например $t_{гр}^{\Upsilon}$, $t_{гр}^{\odot}$, $t_{м}^{*}$);

τ^{*} - звёздное дополнение (звёздный угол, равный 360° – α);

$$t_{м}^{*} = t_{м}^{\Upsilon} + \tau^{*} \qquad (3.25)$$

где $t_{м}$ – местный часовой угол;

которые показывают, что часовой угол звезды состоит из двух слагаемых: первое слагаемое, общее для всех звезд и быстро меняющееся, представляет собой часовой угол точки Овна, а второе слагаемое, различное для каждой отдельной звезды и медленно меняющееся с течением времени, представляет собой звездное дополнение. Гринвичский часовой угол точки Овна дается в ежедневных таблицах ежегодника на каждый час всемирного времени и рассчитывается на заданный момент. Звездное дополнение и склонение выбираются из таблицы „Звезды" на стр. 270 – 275 или из приложения 5. При решении всех последующих задач предполагается, что гринвичская дата и всемирное время момента астрономических наблюдений уже определены.

Задача 1. *Получение местного часового угла и склонения звезды в заданный момент* $T_{гр}$.

1. Из ежедневных таблиц по гринвичской дате и $T_{гр}$ выбираем гринвичский часовой угол точки Овна $t_{гр}^{\Upsilon}$ на табличный момент всемирного времени, ближайший меньший к рассчитанному моменту $T_{гр}$.

2. Из основных интерполяционных таблиц (приложение 4), соответствующих минуте всемирного времени $T_{гр}$, в столбце «Точка Овна» находим полное изменение $\Delta t_{гр}^{\Upsilon}$ за минуты и секунды $T_{гр}$.

3. Складываем величины $t_{гр}^{\Upsilon}$ и $\Delta t_{гр}^{\Upsilon}$; результат представит значение гринвичского часового угла точки Овна $t_{гр}^{\Upsilon}$ для заданного момента $T_{гр}$.

4. Полученный гринвичский часовой угол точки Овна $t_{гр}^{\Upsilon}$ переводим в местный часовой угол $t_{м}^{\Upsilon}$, пользуясь географической долготой места λ:

$$t_{м} = t_{гр} \pm \lambda \begin{matrix} E \\ W \end{matrix}, \qquad (3.26)$$

где $t_{м}$ – местный часовой угол;

λ – географическая долгота места от меридиана Гринвича (E –

восточная, W – западная)

5. Интерполируем на гринвичскую дату величины звездного дополнения τ^* и склонения δ данной звезды по их значениям, приведенным в таблице «Звезды».

6. Складываем величину $t_м^{\Upsilon}$ точки Овна и величину τ^* данной звезды. В результате получим значение местного часового угла данной звезды $t_м^*$ в заданный момент $T_{гр}$ (формула (3.25)). Если часовой угол $t_м^*$ получится больше 180°, его в случае надобности можно перевести в восточный, взяв дополнение до 360°.

Примечание.Можно вести расчет и так: получив гринвичский часовой угол точки Овна $t_{гр}^{\Upsilon}$ и прибавив к нему τ^* данной звезды, найдем $t_{гр}^*$. Переводим $t_{гр}^*$ в местный часовой угол звезды $t_м^{\Upsilon}$, пользуясь географической долготой места. Результат будет тот же.

Задача 2. *Получение местного часового угла и склонения Солнца или планеты, в заданный момент* $T_{гр}$.

1. Из ежедневных таблиц по гринвичской дате и $T_{гр}$ выбираем гринвичский часовой угол $t_{гр}$ и склонение δ данного светила на табличный момент всемирного времени, ближайший меньший к рассчитанному моменту $T_{гр}$. Одновременно выбираем значения квазиразности $\overline{\Delta}$ и разности Δ (величину и знак) на данный трехсуточный интервал.

2. Из основных интерполяционных таблиц (приложение 4), соответствующих минуте всемирного времени $T_{гр}$, в столбце «Солнце и планеты» находим основное изменение $\Delta_1 t_{гр}$ за минуты и секунды $T_{гр}$.

3. Из той же интерполяционной таблицы из столбцов «Попр.», расположенных справа, по аргументу квазиразности $\overline{\Delta}$ находим дополнительное изменение $\Delta_2 t_{гр}$ к часовому углу, которое всегда положительно, а по аргументу разности Δ – поправку Δδ к склонению. Знак поправки Δδ соответствует знаку Δ.

4. Складывая величины $t_{гр}$, $\Delta_1 t_{гр}$, $\Delta_2 t_{гр}$ и соответственно величины δ и Δδ, получим искомые гринвичский часовой угол $t_{гр}$ и склонение δ светила на заданный момент $T_{гр}$.

Если в результате сложения δ и Δδ получится отрицательное значение склонения, необходимо оставить его без знака, но переменить наименование склонения (S вместо N или N вместо S).

5. Полученный гринвичский часовой угол $t_{гр}$ переводим в местный часовой угол $t_м$, пользуясь географической долготой места λ (формула (3. 26)).

Если часовой угол $t_м$ получится больше 180°, его в случае надобности можно перевести в восточный, взяв дополнение до 360°.

Задача 3. *Получение местного часового угла и склонения Луны в заданный момент* $T_{гр}$.

1. Из ежедневных таблиц по гринвичской дате и $T_{гр}$ выбираем гринвичский часовой угол $t_{гр}$ и склонение δ Луны на табличный момент всемирного времени, ближайший меньший к рассчитанному моменту $T_{гр}$. Одновременно выбираем значения квазиразности $\overline{\Delta}$ и разности Δ (величину и знак), помещенные соответственно справа от столбцов часовых углов и склонений Луны.

2. Из основных интерполяционных таблиц (приложение 4), соответствующих минуте всемирного времени $T_{гр}$, в столбце “Луна” находим основное изменение $\Delta_1 t_{гр}$ за минуты и секунды $T_{гр}$.

3. Из той же интерполяционной таблицы из столбцов «Попр.», расположенных справа, по аргументу квазиразности $\overline{\Delta}$ находим дополнительное изменение $\Delta_2 t_{гр}$ к часовому углу, которое всегда положительно, а по аргументу разности Δ — поправку Δδ к склонению. Знак поправки Δδ соответствует знаку Δ.

4. Складывая величины $t_{гр}$, $\Delta_1 t_{гр}$, $\Delta_2 t_{гр}$ и соответственно величины δ и Δδ, получим искомые гринвичский часовой угол $t_{гр}$ и склонение δ Луны на заданный момент $T_{гр}$.

Если в результате сложения δ и Δδ получится отрицательное значение склонения, необходимо оставить его без знака, но переменить наименование склонения (S вместо N или N вместо S).

5. Полученный гринвичский часовой угол $t_{гр}$ переводим в местный часовой угол $t_м$ пользуясь географической долготой места λ (формула (3. 26)).

Если часовой угол $t_м$, получится больше 180° его в случае надобности можно перевести в восточный, взяв дополнение до 360°.

Расчёт судового времени восхода (захода) и кульминации Солнца

В ежедневных таблицах под суточными эфемеридами четырех планет на среднюю дату трехсуточного интервала с точностью до 1 мин приведены моменты $T_к$ их верхних кульминаций на меридиане Гринвича. На правой странице разворота на каждый день года даются для Солнца моменты верхних (в) кульминаций, а для Луны – моменты верхних (в) и нижних (н) кульминаций. Моменты кульминаций указаны во всемирном времени, т. е. в среднем времени на меридиане Гринвича, что дает возможность рассчитать среднее время $T_м$ кульминации этих светил на местном меридиане, а затем получить судовое время $T_с$ по формулам :

$T_{гр} = T_{часов} + И_ч + 12$ (всемирное время). $И_ч$ – поправка часов. (3.27)

$$T_м = T_{гр} \pm \lambda^{E}_{W} \text{ (среднее время)} \qquad (3.28)$$

$T_с = T_{гр} \pm N_с{}^{E}_{W}$ (судовое время). Nc– номер часового пояса. (3.29)

– для восточной долготы: среднему времени минус долгота и плюс номер часового пояса

$$T_с = T_м \mp \lambda^{E}_{W} \pm N_с{}^{E}_{W} \qquad (3.30)$$

– для западной долготы: среднему времени плюс долгота и минус номер часового пояса.

или:

$$T_с = T_м \pm (N_с - \lambda)^{E}_{W} \qquad (3.31)$$

Промежуток между двумя последовательными одноименными кульминациями Луны всегда больше 24 ч, поэтому в некоторые даты не бывает той или иной кульминации Луны. В этих случаях на соответствующем месте поставлена черта (—), например 15/I и 30/I. Наоборот, для планет промежуток между двумя последовательными верхними кульминациями часто бывает меньше 24 ч, поэтому в некоторые дни происходят две верхние кульминации.

Задача 1. Получение момента кульминации, Солнца, Луны или планеты, на заданном меридиане в заданную дату.

1. Для получения местного времени кульминации Солнца или Луны на заданном меридиане необходимо произвести интерполирование за долготу места. С этой целью рассчитывается величина суточного изменения (сут. изм.) как разность между двумя последовательными моментами одноименных кульминаций. При этом ***для восточных долгот*** интерполирование производится к предшествующему моменту кульминации, а ***для западных долгот — к последующему*** моменту.

Для планет сначала рассчитывается изменение момента кульминации за три дня, а затем за один день (сут. изм.). Полученное суточное изменение используется для расчета поправки за долготу, а в случае несовпадения заданной даты со средней датой трёхсуточного интервала также и для расчета момента кульминации на меридиане Гринвича на заданную дату.

Расчет поправки за долготу места производится с помощью таблицы Приложения (Б. Поправка за долготу) по аргументам: λ – долгота и суточное изменение (сут. изм.).

Примечания: 1) при указанной интерполяции поправки за долготу для Солнца меньше одной минуты, а для планет не превышают двух минут времени и поэтому часто такой интерполяцией можно пренебречь. Для Луны интерполяцию за долготу необходимо производить всегда.

2) если в заданную дату на меридиане Гринвича не происходит верхней или нижней кульминации Луны, т. е. в ежедневных таблицах поставлена черта, то расчет кульминации на эту дату на местном меридиане производится следующим образом. Определяется суточное изменение как разность двух моментов $T_к$ кульминаций, стоящих по обе стороны указанной черты. Затем в случае восточных долгот выбирается момент кульминации $T_к$ Луны на последующую дату и производится интерполирование к предшествующей дате, а в случае западных долгот выбирается момент кульминации Луны на предшествующую дату и интерполирование производится к последующей дате.

2. Полученный в результате указанной интерполяции момент среднего времени кульминации светила на местном меридиане необходимо перевести в судовое время $T_с$ (формулы (3.30), (3.31)).

$$T_с = T_м \pm \lambda^{E}_{W} \pm N_с{}^{E}_{W} \qquad (3.30)$$

$$T_с = T_м \pm (N_с - \lambda)^{E}_{W}, \qquad (3.31)$$

где $T_с$ – судовое время;

$T_м$ – среднее время (среднее время на меридиане наблюдателя);

$N_с$ – номер часового пояса, по которому установлены морские часы (E – восточный, W – западный)

λ - географическая долгота места от меридиана Гринвича
(E – восточная, W – западная)

Приведенные в ежегоднике данные позволяют решать задачи по определению моментов восхода и захода Солнца и Луны, начала утренних и конца вечерних сумерек на заданную дату в заданном пункте.

Задача 2. Определение момента восхода или захода Солнца и Луны, начала утренних и конца вечерних сумерек.

1. Из ежедневных таблиц на заданную дату выбираем момент явления *T* для значения табличной широты, ближайшей меньшей к заданной широте. При этом находим разность Δ (величину и знак) между моментом для последующей большей табличной широты и выбранным моментом.

Момент восхода или захода Солнца и разность Δ находится непосредственно из ежедневных таблиц, если заданная дата совпадает со средней датой трехсуточного интервала. В случае несовпадения этих дат, используя суточные изменения, необходимо предварительно рассчитать на заданную дату момент явления для значения широты, ближайшей меньшей к заданной широте. При расчете момента явления для предыдущей даты суточное изменение берется слева, а для последующей даты — справа. Моменты начала или конца сумерек выбираются всегда на среднюю дату трехсуточного интервала без интерполяции на заданную дату.

2. Из таблицы Приложения (А. Поправка за широту) находим поправку ΔT_φ к выбранному моменту за изменение широты. В этой таблице аргументами служат: величина найденной разности моментов Δ и разность широт Δφ между

значениями заданной широты и ближайшей меньшей табличной широты, для которой выбран соответствующий момент (п. 1). С этой разностью Δφ следует входить в одну из трех строк аргумента таблицы — соответственно интервалу широт 2, 5 и 10°, между которыми производится интерполирование. Найденная поправка ΔTφ за изменение широты берется с тем знаком, который имеет величина Δ.

3. Из таблицы Приложения (Б. Поправка за долготу) находим поправку ΔT_λ к выбранному моменту соответственно долготе места. В этой таблице аргументами служат: заданная долгота λ и суточные изменения (сут. изм.). Суточные изменения приведены слева и справа от моментов восхода и захода Солнца и Луны. Для Солнца знак суточных изменений указан, а для Луны этот знак определяется в зависимости от возрастания или убывания моментов к предыдущим или последующим суткам. При расчете поправок за долготу к моментам восхода и захода Солнца и Луны суточное изменение необходимо выбирать слева, если долгота восточная, и справа, если долгота западная.

Для Солнца при определении поправки за долготу для любой даты трехсуточного интервала можно пользоваться непосредственно указанными в таблицах величинами суточных изменений на среднюю дату. При расчете моментов начала или конца сумерек поправкой за долготу можно пренебречь ввиду невозможности определить точно границу этих явлений.

4. Прибавляем со своими знаками найденные поправки за широту ΔT_φ и долготу ΔT_λ к выбранному моменту T. В результате получим местное время $T_м$ явления в заданном пункте.

5. Полученный момент $T_м$ переводим в судовое время $T_с$ по формуле (3.30), (3.31).

ЛИТЕРАТУРА

1. Дьяконов В.Ф. Мореходная астрономия. Л., «Морской транспорт», 1958 463 с.
2. Красавцев Б.И. Мореходная астрономия. М., «Транспорт», 1968 408с.
3. Матусевич Н.Н. Основы мореходной астрономии. Л., УГС ВМФ 1956 537с.
4. Титов Р.Ю., Файн Г.И. Мореходная астрономия. М., «Транспорт», 1974 328 с.
5. Черниев Л.Ф., Лукин М.Г., Кандрашихин В.Т. Сборник задач по мореходной астрономии. М., «Транспорт», 1984 352 с

Приложение
Пояснение к решению астрономических задач

Решение задач **по Солнцу и планетам**

_____200__г. $\varphi_{1=}$ } Счислимые для 1-й линии $\varphi_{2=}$ } Счислимые для 2-й линии e = (возвышение глаза) $t_в$ = (температура)
Район_____ $\lambda_{1=}$ $\lambda_{2=}$ V = (скорость хода) $B_в$ = (давление)

	Наименование светил				Расчет h_c и A_c по ВАС- 58 на бланке Ш-8							
	1 линия	2 линия	3 линия	4линия	Арг.	Задан.	Табл.	Задан.-таб	h	от	A	от
	Расчет всемирного времени				φ	φ_c	от	$\triangle\varphi$	$\triangle h_\varphi$	Т-1 по h, $\triangle\varphi$, A	$\triangle A_\varphi$	Т -1 по $\triangle\varphi$, A
Приб. T_C	По корабельным часам с точностью до 1 мин				δ	δ	от	$\triangle\delta$	$\triangle h_\delta$	Т-1 по h, $\triangle\delta$, q	$\triangle A_\delta$	Т-1 по $\triangle\delta$, q: знак– по ОТ
^{0st} № W+	№ пояса, по которому поставлены корабельные часы				t	t_w или t_{0st}	от	Δt	$\triangle h_t$	Т-2 поφ,A_c, $\triangle t$	$\triangle A_e$	от
Приб. $T_{гр.}$	Если $T_c + №_w > 24$, принимается дата следующего дня				q	от			$\triangle h_\partial$	Т-3 по $\triangle A_\delta$, A, $\triangle\varphi$	$\Sigma\triangle A$	$\sum\triangle A = \triangle A_\varphi + \triangle A_\delta + \triangle A_t$
Дата	Если $T_c - №_{0st} < 0$,принимается дата предыдущего дня								$\Sigma\triangle h$	$\sum\triangle h = \triangle h_\varphi + \triangle h_\delta + \triangle h_t + \triangle h_\partial$	A_c	$A_c = A_T + \sum\triangle A$
T	Средний момент серии				φ и δ одно / разно именные (ненужное зачеркнуть)				h_c	$h_c = h_т + \sum\triangle h$	$A_c - \Delta A_t / 2$	
u	Поправка часов											
$T_{гр.}$	$T_{гр} = T + u + (12$ ч$)$											
Расчет часовых углов светил												
t_T	Из ежедневной таблицы МАЕ на целое число часов гринвичского времени в столбе ‘’Солнце”											
$\Delta_1 t$	Из основной интерполяционной таблицы МАЕ по числу минут и секунд											
$\triangle_2 t$	Из основной интерполяционной таблицы МАЕ по квазиразности Δ											
$t_{гр}$	$t_{гр.} = t_T + \triangle_1 t + \triangle_2 t$											
λ_{w-}^{0st+}	Счислимая долгота											
$t_м^T$												
τ^*												
t_w	$t_w = t_{гр.} \pm \lambda_w^{0st}$											
t_{0st}	$t_{0st} = 360° - t_w$, если $t_w > 180°$				δ	→	T(δ)	По δ из т.11				
Расчет склонений светил					t	→	S(t)	По t из т.11	T(t)	По t из т. 11		
$\triangle$	Из ежедневной таблицы МАЕ внизу столбца ‘Солнце’				x	←	T(x)	T(δ) + S(t)	S(x)	В одной строке с T(x)		
δ_T	Из ежедневной таблицы МАЕ на целое число часов гринв. времени в столбце ‘Солнце’				φ_c				T(p)	T(t) – S(x)		
$\triangle\delta$	Из основной интерполяционной таблицы МАЕ в столбе “ Попр.” по разности $\triangle$				90° + + (x~φ_c)	= y	→		S(y)	По y из т.11	T(y)	По y из т.11
δ	$\delta = \delta_T + \triangle\delta$				A_c	По T(A)	←		T(A)	T(p) + S(y)	S(A)	По T (A)
Исправление высот светил					h_c	По T(h)	←				T(h)	T(y) – S(A)
Отсчет	Средний *ОС* серии											
i + s	i -определяется наблюдателем.s -из технического формуляра секстана											
Изм.h	Изм.h = ос + (i +s)											
$\triangle h_d$	Измеряется наблюдателем или из табл. “ Поправка за наклонение “											
Вид. h	Вид. h = изм. h + $\triangle h_d$											
поправки $\triangle h_{\rho+P}$	За рефракцию и параллакс											
поправки $\triangle h_t$ $\triangle h_в$	За температуру и давление				Полярная					1 линия	2 линия	3 линия	4линия
поправки R	Полудиаметр Солнца				1 попр.	Из таблиц МАЕ “ “ Широта по высоте Полярной ”		А круг.	A_c в круговом счете				
Ист.h	Ист.h = вид. h + $\triangle h_{\rho+P} + \triangle h_t + h_B \pm R$				2 попр.			ПУ	ПУ = КК+ $\triangle$К + α + β				
$\triangle h_z$					3 попр.			А – ПУ = КУ	Из большего вычитать меньшее				
Прив.h					Σ	$\Sigma = 1 + 2 + 3$		$\triangle$h	Из таблицы “ Приведение высот к одному зениту “				
h_c	Вычисляется по φ_c, δ, t_w или t_{Ost}				Прив. h	Ист. h + $\triangle h_z$		$\triangle_T$	$\triangle T = T_{задан} - T$				
$h - h_c =$	n Тут ист. h – h_c				φ_o	Прив h + Σ		$\triangle h_z$	$\triangle h_z = \triangle h \triangle T$				

Примечания:

ОТ – основные таблицы ВАС-58 (вход по φ_T, δ_T, t_T)
Т-1 – табл.1 “Поправки высоты и азимута за широту и склонение”
Т-2 – табл. 2 “Поправки высоты за часовой угол“
Т-3 – табл.3 “Дополнительная поправка”
A_c – первая буква наименования одноименна с широтой, вторая – с местным часовым углом

Расчет h_c и A_c по ТВА – 57 на бланке Ш-8 *б*

Примечания:

1.Величина x всегда одоименна с δ; если $t > 90°$, то и $x > 90°$. 2. Знак ~ означает: при одноименных x и φ_c – вычитание меньшей величины из большей; при разноименных x и φ_c – их сложение. 3. Первая буква наименования A_c при x и φ_c одноименных и $x > \varphi_c$ одноименна с φ_c, во всех остальных случаях – разноименна; вторая буква наименования A_c всегда одноименна с местным часовым углом.

Решение задач **по звездам**

_____200___г. $\varphi_1 =$ _____ $\varphi_2 =$ _____ e = (возвышение глаза) $t_в$ = (температура)

Район_____ $\lambda_1 =$ _____ Счислимые $\lambda_2 =$ _____ V = (скорость хода) $B_в$ = (давление)

	Наименование светил				Расчет h_c и A_c по ВАС – 58 на бланке Ш – 8							
	1 линия	2 линия	3 линия	4линия	Арг.	Задан.	Табл.	Задан.-таб	h	от	A	от
	Расчет всемирного времени				φ	φ_c	от	$\triangle\varphi$	$\triangle h_\varphi$	Т-1 по h, $\triangle\varphi$, A	$\triangle A_\varphi$	Т-1 по $\triangle\varphi$, A
Приб. T_C	По корабельным часам с точностью до 1 мин				δ	Из МАЕ	от	$\triangle\delta$	$\triangle h_\delta$	Т-1 по h, $\triangle\delta$, q	$\triangle A_\delta$	Т-1 по $\triangle\delta$, q: знак– по ОТ
^{0st} №W+	№ пояса, по которому поставлены корабельные часы				t	t_w или t_{0st}	от	$\triangle t$	$\triangle h_t$	Т-2 по φ, A_c, $\triangle t$	$\triangle A_t$	от
Птиб. $T_{гр.}$	Если $T_c + №_w > 24$ч, принимается дата следующего дня				q	от			$\triangle h_\partial$	Т-3 по $\triangle A_\delta$, A, $\triangle\varphi$	$\Sigma\triangle A$	$\Sigma\triangle A = \triangle A_\varphi + \triangle A_\delta + \triangle A_t$
Дата	Если $T_c - №_{0st} < 0$, принимается дата предыдущего дня								$\Sigma\triangle h$	$\Sigma\triangle h = \triangle h_\varphi + \triangle h_\delta + \triangle h_t + \triangle h_\partial$	A_c	$A_c = A_T + \Sigma\triangle A$
T	Средний момент серии				φ и δ одно именные разно (ненужное зачеркнуть)				h_c	$h_c = h_т + \Sigma\triangle h$	$A_c - \Delta A_t / 2$	
u	Поправка часов											
$T_{гр.}$	Тгр = T + u + (12 ч)											
Расчет часовых углов светил												
t_T	Из ежедневной таблицы МАЕ на целое число часов гринвичского времени в столбе '' Точка Овна ''											
$\triangle_1 t$	Из основной интерполяционной таблицы МАЕ по числу минут и секунд											
$\triangle_2 t$	———											
$t_{гр}$	$t^{\Upsilon}_{гр.} = t_T + \triangle_1 t$											
λ_{w-}^{0st+}	Счислимая долгота											
$t_м^{\Upsilon}$	$t_м^{\Upsilon} = t^{\Upsilon}_{гр} \pm \lambda_w^{0st}$											
τ^*	Из таблицы МАЕ " Звезды. Видимые места на_____ г. "											
t_w	$t_w = t_м^{\Upsilon} + \tau^*$											
t_{0st}	$t_{0st} = 360° - t_w$, если $t_w > 180°$				δ	→	T(δ)	По δ из т.11				
Расчет склонений светил					t	→	S(t)	По t из т.11	T(t)	По t из т. 11		
$\triangle$	———				x	←	T(x)	T(δ)+S(t)	S(x)	В одной строке с T(x)		
δ_T	———				φ_c				T(p)	T(t) – S(x)		
$\triangle\delta$	———				90° + + (x– φ_c)	= y	→		S(y)	По y из т.11	T(y)	По y из т.11
δ	Из таблицы МАЕ " Звезды. Видимые места на_____ г."				A_c	По T(A)	←		T(A)	T(p) + S(y)	S(A)	По T (A)
Исправление высот светил					h_c	По T(h)	←				T(h)	T(y) – S(A)
Отсчет	*ОС*											
i + s	i -определяется наблюдателем. S-из технического формуляра секстана											
Изм.h	Изм.h = ос + (i +s)											
$\triangle h_d$	Измеряется наблюдателем или из табл. "Поправка за наклонение"											
Вид. h	Вид. h = изм. h + $\triangle h_d$											

Примечания:
ОТ – основные таблицы ВАС-58 (вход по φ_T, δ_T, t_T)
Т-1 – табл.1 "Поправки высоты и азимута за широту и склонение"
Т-2 – табл. 2 "Поправки высоты за часовой угол"
Т-3 – табл.3 "Дополнительная поправка"
A_c – первая буква наименования одноименна с широтой, вторая – с местным часовым углом

Расчет h_c и A_c по ТВА – 57 на бланке Ш-8 *б*

Примечания:
1.Величина x всегда одноименна с δ; если $t > 90°$, то и $x > 90°$. 2. Знак ~ означает: при одноименных x и φ_c – вычитание меньшей величины из большей; при разноименных x и φ_c – их сложение. 3. Первая буква наименования A_c при x и φ_c одноименных и $x > \varphi_c$ одноименна с φ_c, во всех остальных случаях – разноименна; вторая буква наименования A_c всегда одноименна с местным часовым углом.

	$\triangle h_\rho$	За рефракцию	Расчет высоты по высоте Полярной звезды		Расчет поправок $\triangle h_Z$ для приведения высот к одному зениту				
	$\triangle h_t$	За температуру воздуха	Полярная			1 линия	2 линия	3 линия	4линия
	$\triangle h_B$	За давление	1попр.	Из таблиц МАЕ " Широта по высоте Полярной"	А круг.	A_c в круговом счете			
Ист.h	Ист.h = вид. h + $\triangle h_\rho$ + $\triangle h_t$ + h_B		2попр.		ПУ	ПУ = КК+ $\triangle$К + α + β			
$\triangle h_z$	За приведение к одному зениту		3попр.		А– ПУ = КУ	Из большего вычитать меньшее			
Прив.h	Прив.h = ист. h + $\triangle h_z$		Σ	$\Sigma = 1 + 2 + 3$	$\triangle$h	Из таблицы " Приведение высот к одному зениту "			
h_c	Вычисляется по φ_c, δ, t_w или t_{Ost}		Прив. h	Ист. h + $\triangle h_z$	$\triangle$T	$\triangle T = T_{задан} - T$			
$h - h_c =$	n	Тут прив. h – h_c	φ_o	Прив h + Σ	$\triangle h_z$	$\triangle h_z = \triangle h \triangle T$			