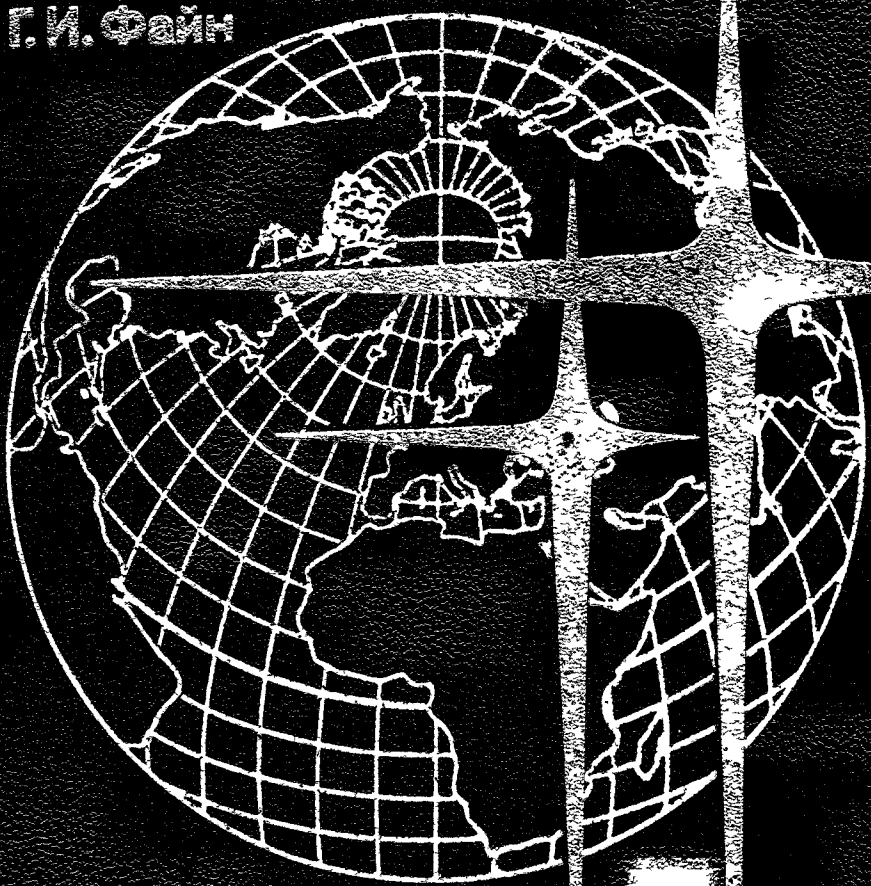
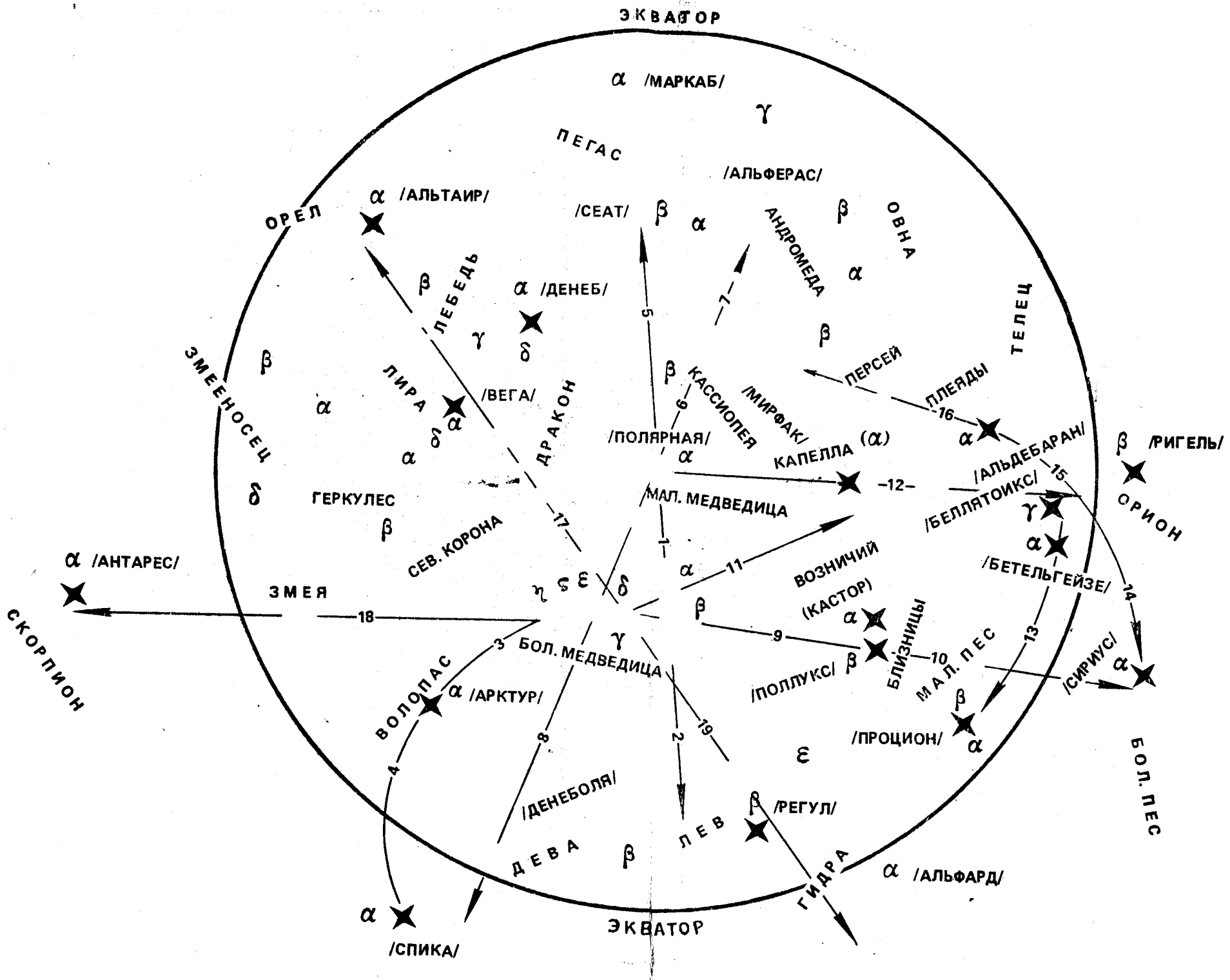
Р. Ю. Титов
Г. И. Файн



МОРЕХОДНАЯ АСТРОНОМИЯ


ЭКВАТОР
α /МАРКАБ/
γ
ПЕГАС
/АЛЬФЕРАС/
α /АЛЬТАИР/
ОРЕЛ
/СЕАТ/
β
α
АНДРОМЕДА
β
ОВНА
α
ЛЕБЕДЬ
β
α /ДЕНЕБ/
γ
δ
ТЕЛЕЦ
ЗМЕЕНОСЕЦ
β
ЛИРА
α
/ВЕГА/
δ α
β
КАССИОПЕЯ
/МИРФАК/
ПЕРСЕЙ
ПЛЕЯДЫ
/ПОЛЯРНАЯ/
α
КАПЕЛЛА (α)
α /АЛЬДЕБАРАН/
β /РИГЕЛЬ/
ДРАКОН
α
δ
ГЕРКУЛЕС
β
МАЛ. МЕДВЕДИЦА
/БЕЛЛЯТОИКС/
γ
ОРИОН
СЕВ. КОРОНА
α /АНТАРЕС/
α
/БЕТЕЛЬГЕЙЗЕ/
ВОЗНИЧИЙ
(КАСТОР)
α
ЗМЕЯ
η ζ ε δ
α
β
γ
БЛИЗНЕЦЫ
/ПОЛЛУКС/ β
МАЛ. ПЕС
/СИРИУС/ α
СКОРПИОН
БОЛ. МЕДВЕДИЦА
ВОЛОПАС
α /АРКТУР/
β
/ПРОЦИОН/
α
ε
/ДЕНЕБОЛЯ/
/РЕГУЛ/
ЛЕВ
ДЕВА
β
ГИДРА
α /АЛЬФАРД/
α
/СПИКА/
ЭКВАТОР
БОЛ. ПЕС

ВВЕДЕНИЕ

Основная цель судовождения — обеспечение безопасного, по возможности, быстрого и экономически выгодного перехода судна из одного пункта в другой. В процессе плавания штурманский состав ведет непрерывное счисление пути судна при помощи различных навигационных пособий и приборов.

Для контроля счисления, точность которого пока еще недостаточна, применяют наряду с другими астрономические способы определения места и поправки компаса.

Мореходная астрономия — одна из наук судовождения. Предметом ее является определение места судна и поправки компаса по наблюдениям небесных светил.

Для выполнения астрономических наблюдений не нужны береговые сооружения, а точность решения астрономических задач не зависит от расстояния до берега. Значит судоводитель получает возможность определять место или раздельно координаты, поправку компаса и некоторые другие данные в любом районе Мирового океана. Единственное ограничение при этом — необходимость хороших метеорологических условий (чистое небо и ясно видимый горизонт).

В курс мореходной астрономии входят основы *сферической и практической астрономии*, математической базой для которых служат выводы и положения сферической геометрии и тригонометрии.

Сферическая астрономия изучает способы координирования небесных светил на вспомогательной сфере, законы видимого движения светил, вопросы измерения времени.

В практической астрономии рассматривается устройство применяемых в ней приборов, способы и приемы наблюдений с ними, а также теория и практика решения задач, в которых используются результаты этих наблюдений.

Краткий очерк развития мореходной астрономии. С глубокой древности велись наблюдения звездного неба для определения направлений в море. Первые научно обоснованные методы определения широты (по высоте, или вертикальному углу, Полярной звезды и по высоте Солнца в полдень) появляются в период великих географических открытий XV—XVIII вв.

Для измерения высот с палубы судна, находящегося в море, применялись специальные угломерные инструменты — *градшток* (рис. 1), *астролябия* (рис. 2), *квадрант*.

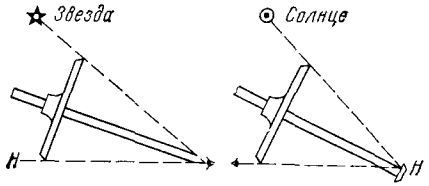


Рис. 1. Грандшток

В 1767 г был изобретен *хронометр*, который обеспечивал «сохранение» времени начального меридиана в течение длительного срока. Это позволило определять долготу места и повысило точность решения других задач.

В первой половине XVIII в. был сконструирован принципиально новый угломерный прибор, основанный на законах отражения света и названный *октаном* (рис. 3), так как его угломерная часть составляла $\frac{1}{8}$ (45°) окружности. Затем величина дуги была увеличена до $\frac{1}{6}$ (60°) части окружности и прибор стал называться *секстаном*. Важное его качество — возможность измерять углы с подвижного и неустойчивого основания (палубы). К середине XIX столетия секстан вытеснил на флоте все другие приборы, использовавшиеся для измерения высот.

Решение задач мореходной астрономии требует знания вычисленных наперед координат светил, называемых *эфемеридами*. Первые эфемериды для Солнца были выпущены в XV в. Позднее стали выходить ежегодные издания координат светил в различных странах. Первый *русский астрономический ежегодник* под названием «Морской месяцеслов» появился в 1814 г.

В 1843 г. американский моряк Т. Сомнер предложил графический метод определения места судна при помощи линий положения на карте. Однако этот способ построения линий положения по точкам оказался практически неудобным, так как требовал выполнения больших вычислительных работ.

Близкое к современному решение задачи совместного определения широты и долготы в 1849 г предложил русский штурман М. А Акимов.

Наиболее простой способ определения места, удобный в судовых условиях, был предложен в 1875 г. французом М Сент-Илером Этот метод применяется до настоящего времени

Надо отметить, что с начала XIX столетия крупные ученые-математики занимались проблемами мореходной астрономии и предложили несколько методов определения места аналитическим путем, т. е. по формулам. В те времена эти способы не были приняты вследствие их сложности. Однако в наши дни анали-

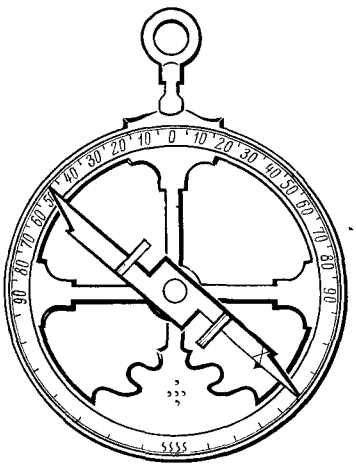


Рис. 2. Астролябия

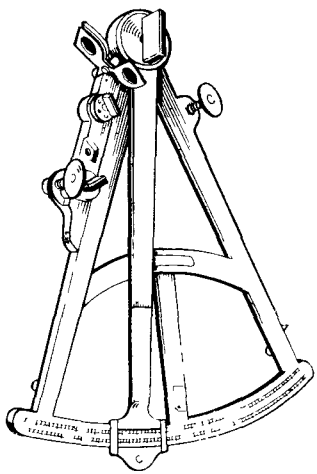


Рис. 3. Октан

тические методы применяют при расчетах координат судна с использованием электронных счетных машин.

С XIX в. в различных странах выпускаются так называемые *мореходные таблицы,* которые включают таблицы логарифмов, таблицы для исправления высот, справочные сведения и пр. Первые русские официальные Мореходные таблицы были выпущены в 1870 г., затем — в 1903 г. В советское время Мореходные таблицы (МТ) выпускаются с 1933 г. Сейчас действуют МТ—75

Для решения основной задачи мореходной астрономии — определения места, применялись кроме таблиц логарифмов также специальные таблицы как отечественные, так и иностранные.

С 1930 г. Институт теоретической астрономии Академии наук СССР выпускает *Морской астрономический ежегодник* (МАЕ), форма и содержание которого несколько раз изменялась (последний вариант — МАЕ 1976 г.).

Начиная с 30-х годов создаются отечественные секстаны и различные табличные пособия. Большой вклад в теоретические и практические вопросы мореходной астрономии внес А. П. Ющенко, создавший первые советские таблицы для определения азимутов светил, необходимые для определения поправки компаса, а также таблицы для расчета элементов высотных линий положения (ТВА—57).

Главным официальным пособием для вычисления высот и азимутов сейчас являются таблицы ВАС—58.

В настоящее время начинается широкое внедрение электронных вычислительных машин (ЭВМ) для решения задач судовождения, в том числе и мореходной астрономии.

Введение, главы I—11 и § 49 главы 13 написаны Р. Ю. Титовым, главы 12—19 и остальной материал — Г. И. Файном.

Общие сведения из сферической геометрии

§ 1. Сфера

Сферой, или *шаром,* называется тело, ограниченное поверхностью, все точки которой одинаково удалены от одной точки O, называемой центром сферы (рис. 4).

Радиус сферы R — это расстояние от ее центра O до любой точки на поверхности сферы, например до точек A или C.

При пересечении сферы плоскостью, проходящей через ее центр, на поверхности сферы образуется окружность большого круга, которую принято называть просто *большим кругом.* Радиусы всех больших кругов данной сферы равны между собой, поскольку каждый из них является радиусом сферы: $AO=OC=R$.

От пересечения сферы плоскостью, не проходящей через ее центр, на поверхности сферы образуется *малый круг,* например $CEDC$ или $KMLK$. Величина радиуса r малого круга зависит от расстояния плоскости этого круга до центра сферы.

Через любые две точки на поверхности сферы, не лежащие на концах одного и того же диаметра, можно провести только один большой круг.

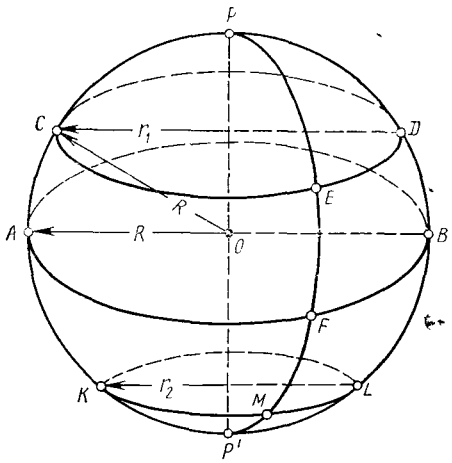


Рис. 4. Сфера

Кратчайшим расстоянием между двумя точками на поверхности сферы является меньшая дуга большого круга, проходящего через эти точки. Например, самое короткое расстояние между точками E и F есть дуга большого круга EF.

Диаметр сферы, перпендикулярный плоскости большого или малого круга, называется *осью* этого круга; точки пересечения оси с поверхностью сферы называются *полюсами* круга. Каждый диаметр сферы служит одновременно осью для одного большого и для всех параллельных ему малых кру-

гов. Так, диаметр PP' — ось большого круга $AFBA$ и малых кругов $CEDC$ и $KMLK$, а точки P и P' — полюсы этих кругов.

Сферическим радиусом круга называется дуга большого круга от полюса данного круга до любой его точки. Сферические радиусы измеряются в градусной мере и могут иметь величину для малого круга от 0 до 90°; для большого круга — всегда 90°.

На рис. 4 для малого круга $CEDC$ сферический радиус $\smile PC = \smile PE = \smile PD = 50°$, для большого круга $AFBA$ имеем $\smile PA = \smile PF = \smile PB = 90°$.

§ 2. Сферический угол

Сферический угол образуется на поверхности сферы от пересечения двух дуг больших кругов. Эти дуги называются сторонами сферического угла, а точка их пересечения — вершиной.

На рис. 5 для сферического угла K_1PL_1 сторонами являются дуги большого круга PK_1 и PL_1, а вершиной — точка P.

Каждому сферическому углу внутри сферы соответствует двугранный угол, образованный плоскостями, проходящими через стороны этого сферического угла. Сферические углы выражаются в градусной мере и могут измеряться одним из следующих способов:

линейным углом между касательными, проведенными к его сторонам при вершине сферического угла $\angle KPL$;

дугой большого круга, заключенной между сторонами сферического угла, полюсом которой служит вершина этого угла, поскольку эта дуга измеряет центральный угол, равный углу между касательными:

$$\smile K_1L_1 = \angle K_1OL_1 = \angle KPL.$$

Чаще для измерения сферических углов применяют второй способ. Мерой сферического угла служит не любая дуга, пересекающая его стороны, а только дуга большого круга, отстоящая от вершины сферического угла на 90°. Так, на рис. 5 дуга CD не равна сферическому углу K_1PL_1. Величины сферических углов могут находиться в пределах от 0 до 180°.

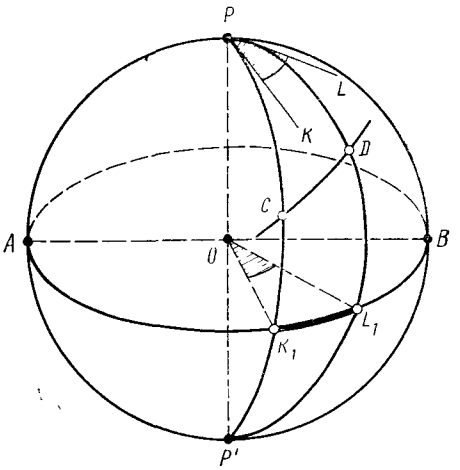


Рис. 5. Сферический угол

§ 3. Сферический треугольник

Сферический треугольник (рис. 6) образуется на поверхности сферы от пересечения трех дуг больших кругов, например сферический треугольник *ABM*.

Элементами сферического треугольника являются сферические углы и стороны, которые измеряются в градусной мере. Углы сферического треугольника принято обозначать прописными буквами латинского алфавита, а стороны — строчными соответственно наименованиям противолежащих вершин. Так, для сферического треугольника *ABM* (см. рис. 6) углы обозначены буквами *A*, *B* и *M*, стороны — *a*, *b*, *m*. Каждому сферическому углу при центре сферы *O* соответствует трехгранный угол, полученный пересечением плоскостей трех больших кругов, образовавших стороны сферического угла.

Углы сферического треугольника соответственно равны двугранным углам, образованным проходящими через его стороны плоскостями больших кругов. Так, $\angle A = \angle 1$, $\angle B = \angle 2$, $\angle M = \angle 3$.

Стороны сферического треугольника равны плоским углам между ребрами трехгранного угла: $a = \angle BOM$, $b = \angle AOM$, $m = \angle AOB$.

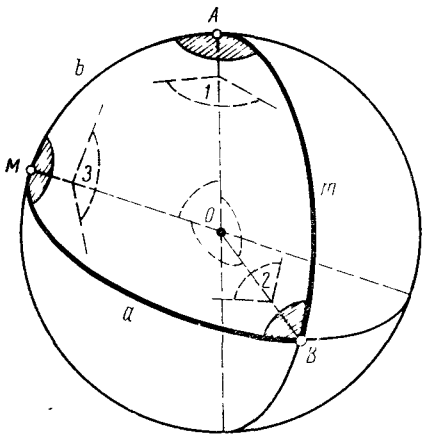


Рис. 6. Сферический треугольник

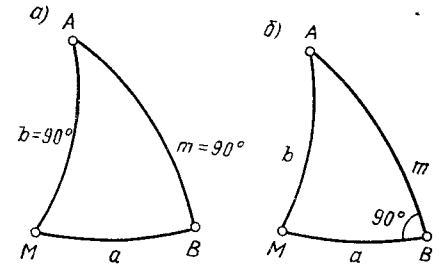


Рис. 7. Четвертной (*а*) и прямоугольный (*б*) сферические треугольники

Учитывая свойства двугранных и трехгранных углов, а также свойства сумм таких углов, входящих в трехгранный угол, можно сделать следующие выводы:

одна сторона или один угол сферического треугольника не могут превышать 180°;

сумма сторон сферического треугольника заключается в пределах от 0 до 360°;

сумма углов сферического треугольника лежит в пределах от 180 до 540°;

против равных сторон лежат равные углы и наоборот;

против большей стороны лежит больший угол.

Эти правила полезно помнить для контроля при решении сферических треугольников, т. е. при определении их элементов. Не следует делать ошибочного заключения о том, что любой угол сферического треугольника равен противолежащей стороне. Это справедливо только в том случае, если вершина этого угла является полюсом противолежащей стороны, т. е. если обе другие стороны равны 90° каждая.

На рис. 7, *а* в сферическом треугольнике $ABM \angle A = a$, так как точка A — полюс дуги BM.

В зависимости от величины сторон или углов сферические треугольники разделяются на *косоугольные, прямоугольные* и *четвертные*

Сферический треугольник (рис. 7, *б*), у которого один из углов равен 90°, называется прямоугольным. Бывают сферические треугольники с двумя и тремя прямыми углами.

Если в сферическом треугольнике одна из сторон равна 90°, его называют четвертным (см рис. 7, *а*) Могут быть равны по 90° и две и три стороны сферического треугольника.

Глава 2

Определение положения светил на небесной сфере

§ 4. Небесная сфера

В навигации для определения места по наблюдениям земных предметов необходимо знать их положение на карте, т. е. на поверхности земного шара. В мореходной астрономии также требуется знать положение ориентиров на небесном своде. При этом астрономические ориентиры — светила в отличие от береговых предметов непрерывно изменяют свое положение на небосводе.

Движение светил легче всего представить и изобразить на вспомогательной сферической поверхности, поэтому для облегчения решения практических задач и вывода теоретических положений в астрономии введено понятие *небесной сферы,* на которой как бы размещены все светила. Вспомогательная небесная сфера является чисто геометрическим условным понятием и не изображает кажущийся наблюдаемый зрительно небесный свод.

Центр небесной сферы принято располагать в определенных точках, например в точке, соответствующей глазу наблюдателя, или в центре Земли. При этом получаются различные изображения одной и той же вспомогательной небесной сферы.

Рассмотрим изображение сферы с центром в глазе наблюдателя. На рис. 8 показана Земля (нижняя сфера), причем $p_n p_s$ — земная ось, точки p_n и p_s — северный и южный географические полюсы, qq' — земной экватор. Наблюдатель находится в точке O на поверхности Земли, ее широта $\varphi = \smile qO$.

Принимаем Землю за шар, вращающийся с запада на восток (см. на рис. 8 стрелку около точки p_n). Отметив OC — отвесную (вертикальную) линию, получим плоскость истинного горизонта наблюдателя H, перпендикулярную отвесной линии. Пересечение этой плоскости с плоскостью географического меридиана, проходящего через точку O, даст полуденную линию NS. Это направление и перпендикулярная ему линия EW покажут направления главных

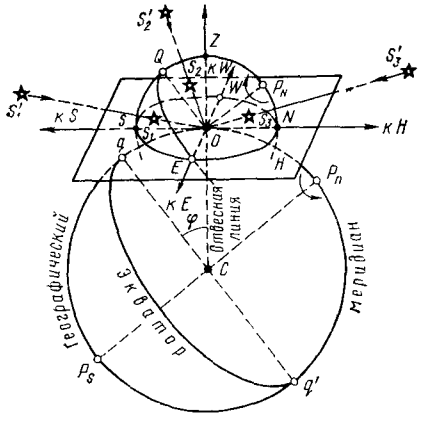


Рис. 8. Земля и небесная сфера

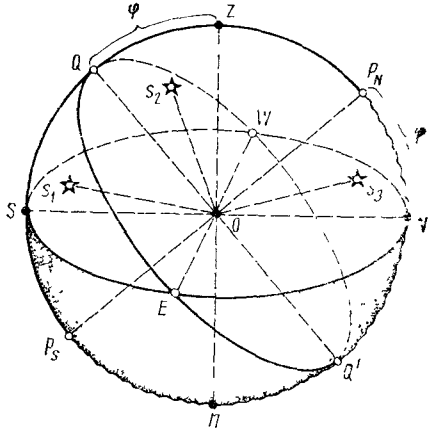


Рис 9. Небесная сфера

румбов горизонта. Прямые Os_1', Os_2', Os_3' — это направления из глаза наблюдателя на различные небесные светила.

Построим теперь вокруг точки O сферу произвольного радиуса и проведем через эту точку плоскости и линии, параллельные соответствующим плоскостям и линиям на Земле, т. е. оси Земли, земному экватору и географическому меридиану. Все полученные на сфере круги будут большими, так как проходят через центр сферы O. При этом отметим важную зависимость: $\angle QOZ = \angle qCO = \varphi$, как углы с соответственно параллельными сторонами. Линия P_NO также образует с плоскостью истинного горизонта угол φ, поскольку стороны углов NOP_N и QOZ взаимно перпендикулярны.

Наблюдатель с поверхности Земли может заметить ее вращение по обратному вращению небесной сферы (см. на рис. 8 стрелку около точки P_N), т. е. с востока на запад.

Поместим точку O отдельно от изображения Земли и перенесем в нее земные плоскости и линии соответственно параллельно действительным. В результате получим более простое условное изображение небесной сферы (рис. 9), которое и применяется для изучения движения светил и решения некоторых задач. Плоскости, линии и точки этой сферы имеют названия, связанные с земными наименованиями.

Диаметр ZOn — *отвесная линия,* расположенная над головой наблюдателя; точка Z — *зенит; n — надир.*

Большой круг NESWN, плоскость которого перпендикулярна отвесной линии, называется *истинным горизонтом.* Он делит сферу на две части: надгоризонтную, в которой расположен зенит, и подгоризонтную.

Большой круг P_NZP_S n P_N, плоскость которого параллельна географическому меридиану земного наблюдателя, называется *меридианом наблюдателя,* а линия P_NP_S, параллельная оси Земли,— *осью мира.*

Точки пересечения оси мира с небесной сферой дают *полюсы мира:* P_N — северный, P_S — южный. Расположенный в надгоризонтной части сферы полюс мира получил название *повышенного,* а в подгоризонтной — *пониженного.* Наименование повышенного полюса всегда одинаково с наименованием географической широты наблюдателя.

Меридиан наблюдателя делит сферу на восточную и западную половины. Пересекаясь, плоскости истинного горизонта и меридиана наблюдателя дают *полуденную линию* NS и точки горизонта N и S.

Ось мира (см. рис. 9) делит меридиан наблюдателя на две части: *полуденную* P_NZP_S, на которой находится зенит, и *полуночную* P_NnP_S с точкой надира. Эти названия связаны с прохождением Солнца через соответствующие части меридиана наблюдателя около полудня или полуночи.

Большой круг $QEQ'WQ$, плоскость которого перпендикулярна оси мира P_NP_S, называется *небесным экватором.* Сфера делится небесным экватором на северную и южную половины.

От пересечения плоскостей экватора и истинного горизонта получаются линия EW и точки E, W. Таким образом, с учетом найденных ранее точек N и S горизонт делится на четверти NE, SE, SW, NW.

Если провести через центр сферы линии Os_1, Os_2 и Os_3, соответствующие направлениям на светила Os_1', Os_2', Os_3' (см. рис. 8), получим так называемые видимые места светил s_1, s_2, s_3. В дальнейшем они будут именоваться просто светилами.

Введя все эти названия и обозначения, дадим общее определение: вспомогательная сфера произвольного радиуса, все линии и плоскости которой параллельны соответствующим плоскостям и линиям земного наблюдателя, называется *небесной сферой.*

Введение вспомогательной небесной сферы позволяет направления на светила заменить точками на сфере, плоскости — кругами, углы — дугами. Кроме того, появляется возможность не принимать во внимание разницу расстояний до небесных светил.

Положение точки на любой поверхности определяется пересечением двух линий. На сферической же поверхности положение точки показывает пересечение двух кругов.

В сферической астрономии нашли применение большие и малые круги, которые называют *вспомогательными,* или *координатными, кругами.* Положение первых двух координатных кругов связано с направлением плоскости истинного горизонта (рис. 10).

Большие круги, плоскости которых проходят через отвесную линию, а значит, и через точки Z и n, называются *вертикалами.* Плоскость любого вертикала перпендикулярна плоскости истинного горизонта. Принято обычно рассматривать лишь ту половину вертикала (от Z до n), на которой находится светило. Так, дуга ZBn есть вертикал светила B.

Вертикал, проходящий через точки E и W называется *первым вертикалом.*

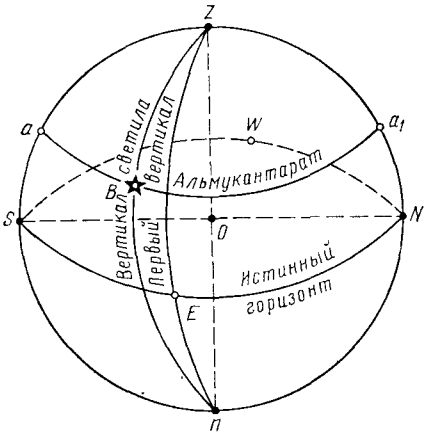


Рис. 10. Координатные круги, связанные с горизонтом

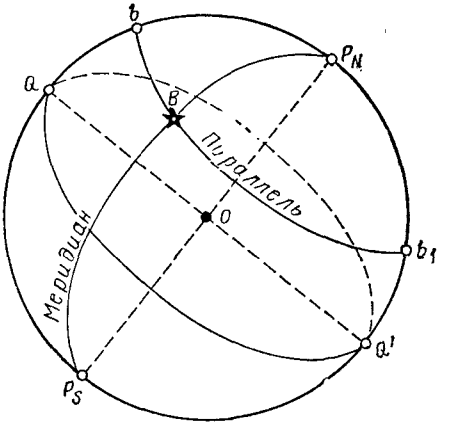


Рис. 11. Координатные круги, связанные с экватором

Малые круги, плоскости которых параллельны истинному горизонту, называются *альмукантаратами.* Круг aBa_1 — альмукантарат светила B (см. рис. 10).

Большие круги, плоскости которых проходят через ось мира, а значит, и через полюсы мира, называются *небесными меридианами,* или *кругами склонений* (рис. 11).

Плоскость всякого меридиана перпендикулярна плоскости небесного экватора. Как и для вертикала, обычно рассматривают ту половину небесного меридиана, на которой расположено светило. Так, меридиан, или круг склонений, светила B — это дуга P_NBP_S.

Малые круги, плоскости которых параллельны небесному экватору, называются *небесными параллелями.* Например, круг bBb_1 — параллель светила B.

Особое значение при рассмотрении небесных координат имеет меридиан наблюдателя: являясь одновременно и вертикалом и небесным меридианом, этот круг принят за начальный в двух системах координат.

§ 5. Горизонтные координаты светил

Как уже было сказано, положение точки на сфере определяется пересечением двух координатных кругов. Положение же координатного круга показывает соответствующий угол или дугу, отсчитываемые от основных, или начальных, плоскостей (кругов).

В горизонтной системе координат за основные круги приняты *истинный горизонт* и *меридиан наблюдателя,* а координаты, показывающие положение светил по отношению к начальным кругам, получили название азимут и высота (рис. 12).

Азимут светила (А) — это сферический угол при зените, заключенный между меридианом наблюдателя и вертикалом светила. Измеряется азимут соответствующей дугой истинного горизонта, начиная с меридиана наблюдателя и кончая вертикалом светила. Например, для звезды *С* азимут — это дуга *NK*.

Изображение азимутов в виде дуг более удобно. В мореходной астрономии применяют три способа измерения азимутов, зависящие от начала отсчета и направления измерения.

Полукруговой азимут ($А_п$) измеряется от полуночной части меридиана наблюдателя, т. е. от N или S по дуге истинного горизонта в сторону E или W до вертикала светила. Первая буква наименования полукругового азимута всегда одинакова с наименованием широты наблюдателя, вторая — зависит от того, на какой половине сферы находится светило. Величина полукругового азимута может изменяться в пределах от 0 до 180° и записывается так: $А_п$ = =N105°E, или $А_п$=105°NE. Полукруговой азимут применяется при различных способах решения сферических треугольников и в некоторых специальных таблицах.

Четвертной азимут ($А_ч$) измеряется по дуге горизонта от точек N или S в сторону E или W до вертикала светила. Его величина может заключаться в пределах от 0 до 90°. Этот счет согласуется с разбивкой картушки компаса по четвертям, что нашло отражение и в способе его записи. Так, у светила *С* будет $А_ч$=75°SE.

Четвертной азимут применяется при решении задач определения места и поправки компаса.

Круговой азимут ($А_{кр}$) измеряется по дуге истинного горизонта всегда от точки N в сторону E до вертикала светила. Величина его заключается в пределах от 0 до 360°, поэтому наименование писать нет необходимости. Например, для звезды *С* запишем: $А_{кр}$=105°. Круговой азимут совпадает со счетом истинных пеленгов в навигации и разбивкой картушки современных компасов. Он широко применяется в вопросах определения поправки компаса.

В практической астрономии возникает необходимость переводить азимут из одного счета в другой, особенно часто — из полукругового и четвертного в круговой.

Так, для звезды *С* получим: $А_п$= =N125°W; $А_ч$=55°SW; $А_{кр}$=235°. Аналогично получаем значения азимута, приведенные в табл. 1.

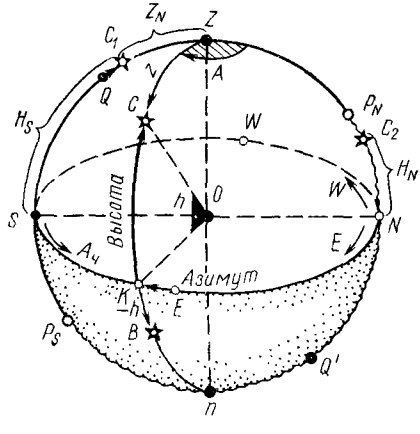


Рис. 12. Горизонтные координаты светил

Таблица 1

Наименование широты	$A_ч$	$A_п$	$A_{кр}$
S	57° NW	S 123° W	303°
N	28° SE	N 152° E	152°
S	46° SW	S 46° W	226°

Высота светила (h) — это угол при центре сферы между плоскостью истинного горизонта и направлением на светило. Высота измеряется соответствующей дугой вертикала светила от горизонта до места светила. Например, у звезды C $h=\angle KOC=\cup KC$.

Если светило находится над горизонтом, его высота считается положительной (знак «+» обычно не пишется), а под горизонтом — отрицательной. Отрицательную высоту называют *снижением*. Так, светило B имеет $-h=\cup KB$. Высота может иметь величину в пределах от 0 до ±90°.

Если светило располагается на меридиане наблюдателя, его высоту называют *меридиональной (H)* и приписывают ей наименование той точки горизонта, над которой находится светило, т. е. N или S. Так, для звезды C_1 $H=60°$S, для звезды C_2 будет $H=25°$N.

Иногда вместо высоты применяется дуга вертикала от зенита до места светила (в пределах от 0 до 180°), которая называется *зенитным расстоянием* и обозначается z. Например, у звезды C $z=\cup zC$.

Для светил, находящихся на меридиане наблюдателя, это координата называется *меридиональным зенитным расстоянием Z*; ее наименование принимают противоположным наименованию H. Высота и зенитное расстояние, в том числе и меридиональные, дополняют друг друга до 90°: $h=90°-z$ или $z=90°-h$; $H=90°-Z$ или $Z=90°-H$.

В этих формулах надо учитывать знаки координат. Так, для звезды C $h=50°$ или $z=90-50=40°$, для звезды B получим $h=-20°$, а $z=90-(-20)=110°$.

Аналогично, но с учетом наименований, для звезды C будем иметь $H=60°$S и $Z=30°$N. Горизонтные координаты легко находятся путем наблюдений при помощи секстана (высота) или компаса (азимут). Однако h и A изменяются с течением времени, а также при изменении положения наблюдателя на Земле. Следовательно, горизонтные координаты определяют положение светила только для данного места и момента.

§ 6. Экваториальные координаты светил

Первая экваториальная система координат. Основные, или начальные, круги в этой системе — *небесный экватор* и *меридиан наблюдателя*, а принятые сферические координаты — часовой угол и склонение (рис. 13).

Часовой угол светила (t) — это сферический угол при повышенном полюсе мира между полуденной частью меридиана наблюдателя и меридианом светила. Часовые углы измеряются по дуге небесного экватора — от точки Q, расположенной на полуденной части меридиана наблюдателя, в сторону точек W и E. Для звезды C, например, $t_W = \cup QWQ'D$, или $t_E = \cup QD$.

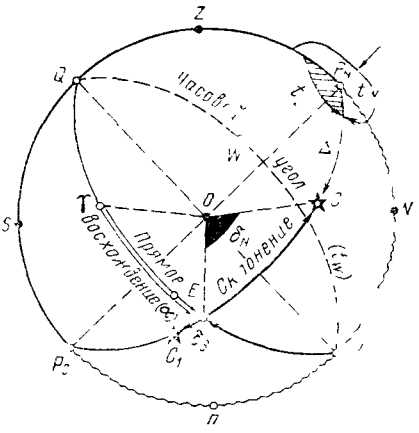


Рис 13. Экваториальные координаты светил

Часовой угол, который отсчитывается в сторону точки W, может иметь величину от 0 до 360° и называется *вестовым* или *обыкновенным*. Такой счет часовых углов нашел применение при составлении таблиц Морского астрономического ежегодника (МАЕ), поскольку он соответствует направлению суточного движения светил. Само название «часовой угол» выбрано не случайно: вестовый часовой угол изменяется в течение суток пропорционально времени (ходу часов). При решении сферических треугольников, углы которых не должны быть более 180°, оперируют с часовыми углами, не превышающими по величине 180° и имеющими наименования E или W, — их называют *практическими*. Поэтому обычно если W-й часовой угол превышает 180°, его переводят в остовый, который отсчитывается от точки Q в сторону E. В таких случаях находят дополнение вестового часового угла до 360°, т. е.

$$t_E = 360° - t_W. \qquad (1)$$

Наименование вестовых часовых углов в МАЕ не приводится, но во избежание путаницы при решении практических задач рекомендуется всегда записывать его. Так, для звезды C (см. рис. 13) $t = 260°\text{W}$ или $t = 100°\text{E}$.

В рабочих схемах решения часто наименование t пишут иначе: $t_W = 260°$ или $t_E = 100°$.

Для каждого конкретного наблюдателя на Земле часовой угол отсчитывают от меридиана, на котором находится наблюдатель Поэтому его называют местным $t_м$ в отличие от часового угла гринвичского наблюдателя $t_{гр}$.

Склонение светила (δ) — это угол при центре сферы между плоскостью небесного экватора и направлением на светило. Измеряется склонение соответствующей дугой меридиана светила от экватора до места светила (или его параллели). Например (см. рис. 13), светило C имеет $\delta = \angle DOC = \cup DC$.

Если светило находится в северной половине сферы, его склонению приписывают наименование N, если в южной,— S.

Величина склонения не может превышать 90°N или S. При решении задач мореходной астрономии склонению иногда придают знак «+» или «—». Склонение, *одноименное* с широтой, считается *положительным* (+), *разноименное* с широтой — *отрицательным* (—).

На рис. 13 для северной широты у светила C имеем: $\delta = 50°\text{N}$, или $\delta = +50°$, у светила C_1 будет $\delta = 20°\text{S}$ или $\delta = 20°$.

Вместо склонения иногда употребляется полярное расстояние Δ — дуга меридиана светила от повышенного полюса до места светила ($\Delta = \cup P_N C$ для светила C). Измеряется полярное расстояние в пределах от 0 до 180° и наименования не имеет.

Склонение и полярное расстояние дополняют друг друга до 90°;

$$\delta = 90° - \Delta \quad \text{или} \quad \Delta = 90 - \delta. \qquad (2)$$

Эти формулы алгебраические, т. е. требуют учета знаков склонения. Например, для звезды C_1

$$\Delta = 90 - (-\delta) = 90 + 20 = 110°.$$

В практической астрономии очень часто приходится оперировать с часовыми углами, имеющими первоначально или в процессе расчетов различные величины и наименования. Если в промежуточных расчетах t_W окажется больше 360°, отбрасываются 360° и остаток снова даст t_W. Например, $t = 420°\text{W}$, тогда $t = 420 - 360 = 60°\text{W}$.

Важно также свободно ориентироваться в наименованиях и знаках величины δ.

Для закрепления рассмотренных соотношений приведем несколько решенных примеров $t = 302°$ W или $t = 58°$ E, $t = 695°$ W или $t = 335°$ W, или $t = 25°$ E. Для φ_S имеем $\delta = 25°$ S, тогда иначе $\delta = +25°$ Для φ_N имеем $\delta = -34°$, тогда $\delta = 34°$ S.

Вторая экваториальная система координат. В этой системе основными кругами служат *небесный экватор* и *меридиан точки весеннего равноденствия* или *точки Овна* $\curlyvee$, положение которой связано с годовым движением Солнца. Место светила на сфере в этой системе показывают две координаты — прямое восхождение и склонение.

Прямое восхождение α — это сферический угол при полюсе мира между меридианом точки весеннего равноденствия и меридианом светила, который измеряется дугой, небесного экватора от точки Овна до меридиана светила в сторону, обратную счету вестовых часовых углов, т. е. против суточного вращения сферы. Величина α измеряется в пределах от 0 до 360° без наименования.

На рис. 13, где меридиан точки Овна не показан, чтобы не загромождать чертеж, для светил C и C_1 имеем $\alpha = \cup\curlyvee D = 50°$.

Другая координата этой системы — склонение δ — уже рассмотрена. Вторая экваториальная система координат удобна тем, что вследствие суточного движения, как мы увидим далее, ни склонение, ни прямое восхождение не меняют своих величин.

§ 7. Изображение небесной сферы и графическое решение задач на сфере

Известно, что с переменной широты места наблюдателя меняется общая картина неба. При этом могут возникнуть и некоторые особенности в движении светил по сфере. Для изучения указанных явлений в сферической астрономии удобно прибегать к изображению небесной сферы и координатных кругов светил. Такое построение позволяет осуществлять приближенный переход от координат одной системы к другой (точнее решение этой задачи производится методами сферической тригонометрии).

В мореходной астрономии применяются два основных изображения сферы: *с центром в глазе наблюдателя,* или *местное изображение,* и с *центром в центре Земли.*

Местное изображение сферы можно выполнять разными способами — в зависимости от того, какой круг располагается в плоскости рисунка и с какого направления мы видим сферу. При этом все рисунки сферы являются условными изображениями — пространственными или плоскими.

Часто применяют местное изображение сферы на плоскости меридиана наблюдателя (см. рис. 9—13). На этих рисунках дано пространственное изображение сферы, удобное для приближенного графического решения задач по нанесению светил на сферу и определению их координат.

Местное изображение сферы на плоскости небесного экватора широко используется при рассмотрении вопросов измерения времени и будет рассмотрено в гл. 6. Местное изображение сферы на плоскости истинного горизонта применяют редко, и в данной книге этот способ не рассматривается.

Пространственное изображение сферы с центром в центре Земли удобно для изучения связи небесных и географических координат и рассматривается при обосновании определения места по наблюдениям светил.

Познакомимся с порядком построения небесной сферы на плоскости меридиана наблюдателя и графического решения задач на сфере. Для этого обратимся сначала к рис. 8 и 9, которые позволяют связать между собой некоторые небесные и географические координаты.

Поскольку все линии и плоскости на рис. 9, изображающем небесную сферу, соответственно параллельны линиям и плоскостям на Земле (см. рис. 8), $\angle QOZ$ будет равен широте наблюдателя φ. Этот же угол можно рассматривать как склонение точки зенита ($\smile QZ$). Кроме того, $\angle QOZ = \angle NOP_N$ как углы с взаимно перпендикулярными сторонами. Дугу же NP_N можно рассматривать как высоту повышенного полюса P_N. Из всего этого вытекает зависимость

$$h_{P_N} = \delta_Z = \varphi. \qquad (3)$$

Высота повышенного полюса, или склонение точки зенита, равна широте места наблюдателя

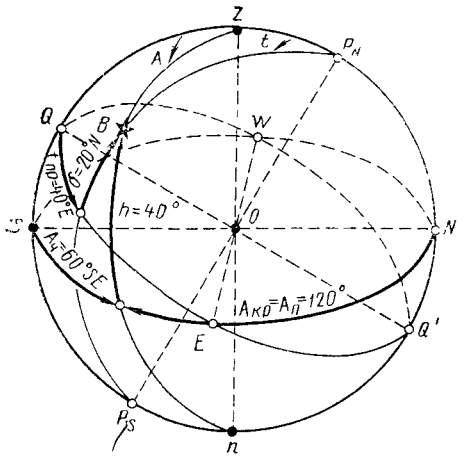


Рис. 14. Задача на построение сферы

При построении сферы на плоскости меридиана наблюдателя от руки соблюдаются следующие правила:

меридиан наблюдателя проводится циркулем, остальные кривые наносятся от руки в виде эллипсов;

линии, расположенные внутри сферы или на обратной ее стороне, изображаются пунктиром;

дуги, равные координатам, или их дополнениям, откладываются на глаз с точностью до 5° с учетом их относительной величины и перспективы чертежа;

последовательность нанесения линий такова: меридиан наблюдателя, отвесная линия Zn, полуденная линия NS, повышенный полюс и ось мира P_NP_S, небесный экватор с точками Q и Q', в результате чего образуются точки E и W горизонта;

если точку N поместить справа, перед плоскостью чертежа будет расположена восточная часть сферы, и наоборот, необходимое расположение определяется по наименованию четвертного азимута или практического часового угла;

после нанесения светила на сферу через него проводится нужный координатный круг и снимаются на глаз искомые значения координат.

Графическое решение задачи на сфере рассмотрено в примере 1.

Пример 1. Дано: $\varphi=60°$ N, горизонтные координаты $A=120°$ и $h=40°$. Построить сферу, нанести светило и определить его экваториальные координаты δ, $t_{пр}$, t_W.

Решение. 1. Строим небесную сферу (рис. 14). Повышенным полюсом будет P_N, так как широта нордовая. Точку N ставим справа, поскольку вторая буква четвертного азимута E ($A=120°=60°$ SE) должна находиться на ближней к нам половине горизонта. Откладываем от точки N вверх дугу, равную φ, т. е. 60°, и получаем повышенный полюс P_N.

2. Откладываем по горизонту дугу азимута 120° (можно отложить и 60° SE). При этом надо учитывать искажение дуг: расположенные ближе к точкам N и, особенно, S участки горизонта кажутся меньшими по величине. Через оконечность стрелки азимута проводим вертикал светила, по которому вверх откладываем дугу высоты 40°, и отмечаем полученное положение светила B.

3 Проводим через светило меридиан и на нем стрелкой указываем величину и наименование $\delta\approx20°$ N. От полученной точки Q до меридиана светила показываем практический часовой угол и, согласно заданию, переводим его в вестовый счет: $t\approx40°$ E или $t=320°$ W.

Пример 1, составлен для случая, когда даются две координаты одной и той же системы. При этом для определения положения светила достаточно было провести лишь один координатный круг. Ес-

ли же задаются координаты двух различных систем, то надо строить два координатных круга; место светила будет на их пересечении.

Задачи для самостоятельного решения

1. Дано: $\varphi = 30°$ N; $A = 320°$; $h = 20°$. Определить δ и t.
2. Дано: $\varphi = 60°$ S; $t = 75°$ E; $\delta = 20°$ N. Определить h и A.
3. Дано: $\varphi = 45°$ S; $A = 230°$; $t = 65°$ W. Определить h и δ.

§ 8. Параллактический треугольник светила

Построив для данной широты небесную сферу и проведя вертикал и меридиан светила C (рис. 15), получим сферический треугольник ZP_NC, вершинами которого являются повышенный полюс мира P_N, зенит наблюдателя t и место светила C. Этот треугольник называется *параллактическим,* или *полярным,* треугольником светила. Элементами параллактического треугольника являются:

угол при зените — азимут полукругового счета $A_п$;

угол при полюсе — часовой практический угол $t_{пр}$, отсчитываемый от меридиана данного наблюдателя, т. е. местный;

угол при светиле, который называется *параллактическим углом* (q) и в практике мореходной астрономии применяется редко;

сторона ZP_N — дополнение широты до 90°, т. е. 90°—φ;

сторона P_NC — дополнение склонения до 90°, или полярное расстояние Δ, т. е. 90°—δ;

сторона ZC — дополнение высоты до 90°, или зенитное расстояние z, т. е. 90°—h.

Параллактический треугольник связывает небесные координаты — горизонтные h и A и экваториальные δ и t — с географическими координатами наблюдателя (широта прямо входит в параллактический треугольник, а долгота получается косвенно из формулы $\lambda = t_м - t_{гр}$).

Решая параллактический треугольник по формулам сферической тригонометрии, в практической астрономии получают или раздельно координаты наблюдателя, или находят его обсервованное место на карте. Из полярного треугольника также вычисляют азимут для различных способов определения поправки компаса. Таким образом, все основные задачи мореходной астрономии можно решать с применением параллактического треугольника.

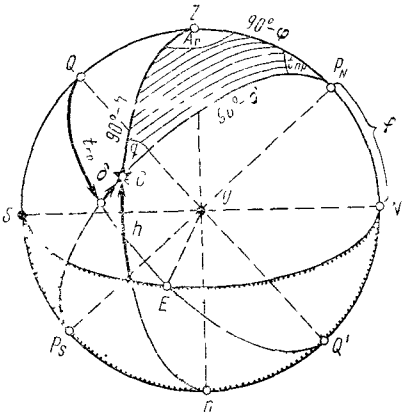


Рис 15 Параллактический треугольник светила

Глава 3

Видимое суточное движение светил

§ 9. Общая характеристика суточного движения сферы и сопровождающие его явления

Все звезды, не изменяя относительного взаимного расположения, непрерывно перемещаются по небесному своду в течение суток, занимая на один и тот же момент примерно те же места. Большинство звезд при этом перемещается с E-а на W, некоторые же (незаходящие) могут в определенный период двигаться с W-а на E.

На рис 16 показано суточное перемещение созвездия Большой Медведицы, которое в широтах Советского Союза не заходит Наблюдатель здесь видит небесный свод в направлении севера N На участке от положения *III* до положения *I* созвездие перемещается с E-а на W, а на участке *I—III* двигается с W-а на E

Физическая причина этого явления — вращение Земли вокруг своей оси. Однако в сферической астрономии небесные явления рассматриваются с видимой стороны так, как они представляются наблюдателю. В данном случае наблюдателю кажется, что небесная сфера со всеми находящимися на ней светилами вращается вокруг оси мира (рис. 17). Это движение называется *видимым суточным движением сферы*. Направлено суточное движение по часовой стрелке, если смотреть на сферу со стороны северного полюса мира P_N.

При суточном движении отвесная линия, горизонт и меридиан наблюдателя остаются в течение суток неподвижными, пока наблюдатель не меняет своего местоположения.

Вследствие суточного движения все светила, вращаясь вместе со сферой, двигаются параллельно экватору, т. е. по небесным параллелям, и пересекают в этом движении неподвижный горизонт, первый вертикал и меридиан наблюдателя.

Отметим различные положения, которые занимают светила в течение суток, и покажем возможные случаи расположения параллелей светил (см. рис. 17).

1. Рассмотрим светило D, имеющее северное склонение δ_D. Положения светила в точках, где параллель пересекается с горизонтом, называется *восходом* d и заходом d_3. Соответствующие моменты времени называют *моментами восхода* и *захода* светила.

Положения светил в точках пересечения меридиана наблюдателя называются *кульминациями — верхней* d_2, которая бывает на полуденной части, и *нижней* d_4 — на полуночной части меридиана наблюдателя. В верхней кульминации светило имеет наибольшую

высоту, в нижней — наименьшую. Это и есть меридиональные высоты H (см. § 5). Положение светила в точке, где его параллель пересекается с первым вертикалом, называется пересечением первого вертикала.

На рис. 17 светило D пересекает Е-ю половину первого вертикала в точке d_1, аналогичная точка будет и на W-й стороне сферы (на рис. 17 не показана).

Светило D часть своего пути $dd_1d_2d_3$ проходит выше горизонта и при этом видимо наблюдателю, а часть — ниже горизонта d_3d_4d и не видимо.

2. Рассмотрим движение светила B, имеющего северное склонение δ_B. Его параллель целиком расположена выше горизонта. Такие светила не имеют точек восхода и захода и называются *незаходящими*. Нижняя кульминация b_4 незаходящих светил происходит над горизонтом. На рис. 17 видно, что светило B при данной величине склонения δ не пересекает первый вертикал.

3. Рассмотрим параллель светила F, имеющего южное склонение δ_F. Его параллель не достигает горизонта даже в момент верхней кульминации f_2, следовательно, это светило *невосходящее* и не видимое для данного наблюдателя.

Различия в суточном движении светил связаны с численными соотношениями склонения светила δ и широты места наблюдателя φ.

Условие восхода и захода. На рис. 18 изображена сфера, спроектированная на плоскость меридиана наблюдателя; такое изображение получится, если посмотреть на предыдущий рис. 17 точно с на-

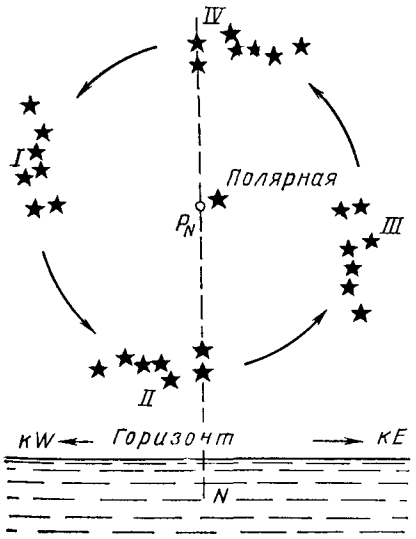


Рис 16. Суточное перемещение созвездия Большой Медведицы

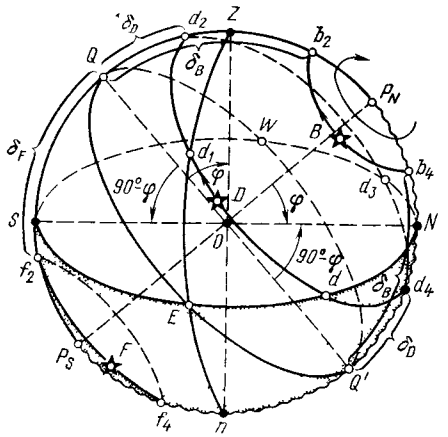


Рис 17. Видимое суточное движение светил

правления E. При этом истинный горизонт, экватор и параллели изобразятся прямыми линиями.

Параллель светила D будет располагаться частично выше горизонта, частично — ниже. Для этого светила получим условие пересечения горизонта: $\smile Q'd_4 < \smile Q'N$, т. е. $\delta_D < 90° - \varphi$. То же соотношение справедливо и для светила C, т. е. $\delta_C < 90° - \varphi$.

Следовательно, общим условием восхода и захода является неравенство

$$\delta < 90° - \varphi. \qquad (4)$$

Для светила B, имеющего северное склонение и незаходящего, имеем $\delta_B > 90° - \varphi$, а для невосходящего светила F, у которого южное склонение, получим $\delta_F > 90° - \varphi$.

Следовательно, при $\delta > 90° - \varphi$ и одноименном с широтой светило не заходит. Если же $\delta > 90°$ и разноименно с широтой, светило не восходит и невидимо в данной широте. Например, в широте Ленинграда ($\varphi = 60°\text{N}$) звезда Вега при $\delta = 38°\text{N}$ является незаходящей, так как $\delta_N < 90° - \varphi_N$, а звезда Канопус при $\delta = 53°\text{S}$ невидима, поскольку $\delta_S > 90° - \varphi_N$.

На рис. 18 заштрихованные участки показывают, где располагаются параллели подобных светил. В частности, светило G касается горизонта в точке S в момент своей верхней кульминации (точка g_2), так как у него $\delta_S = 90° - \varphi_N$.

Условие пересечения первого вертикала и прохождение светилами четвертей горизонта. Первый вертикал пересекают параллели только тех светил (см. рис. 18), у которых склонение меньше широты наблюдателя независимо от наименования. Так, светило D, имеющее северное склонение $\delta_D < \varphi$, пересекает первый вертикал. Светило B имеет $\delta_B > \varphi$ и не пересекает первый вертикал.

На практике встречается лишь необходимость рассмотрения условия пересечения надгоризонтной части первого вертикала (линия EZ на рис. 18). Это условие соблюдается, если $\delta < \varphi$ при δ и φ одноименных. Например, Солнце в северных широтах с 23 сентября по 12 марта не пересекает первый вертикал, так как в этот период имеет южное склонение.

Светила, удовлетворяющие условию пересечения надгоризонтной части первого вертикала, в течение суток бывают во всех четвертях горизонта, например светило D (см. рис. 17).

Светила, не пересекающие первый вертикал выше горизонта, могут располагаться лишь в двух четвертях горизонта, первая буква наименования которых одинакова с наименованием склонения. Так, светило B за сутки бывает лишь в NE и NW-й четвертях.

Условие прохождения через зенит. Через зенит проходят светила, имеющие склонение, равное широте и одноименное с ней, т. е. $\delta = \varphi$ и одноименно. Например (см. рис. 18), светило C в момент верхней кульминации c_2 проходит через зенит, так как у него $\delta_N = \varphi_N$.

Все разобранные условия являются независимыми. В частности, нельзя делать вывод, что все незаходящие светила одновременно должны рассматриваться как не пересекающие первый вертикал (на рис. 17 и 18 так получается для светила B). Поэтому, определяя возможность соблюдения каждого условия, надо рассматривать конкретные соотношения δ и φ для данного светила и данной широты.

Уяснение общих принципов суточного движения светил имеет большое значение. В этом помогают приближенные задачи на сфере, которая строится обычным путем на плоскости меридиана наблюдателя.

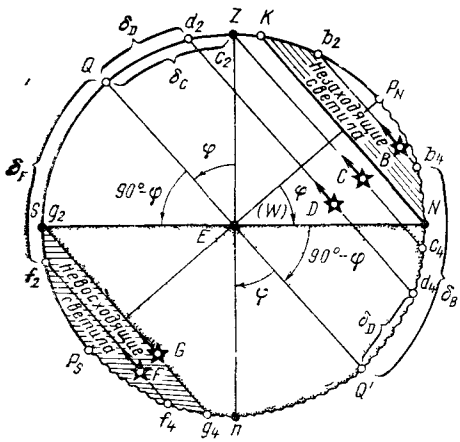


Рис 18 Различные явления в суточном движении

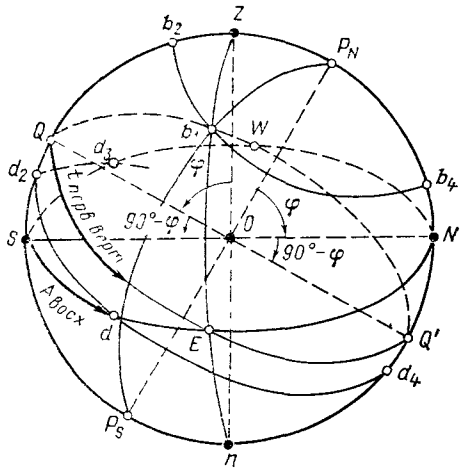


Рис 19 Задача на сфере с элементами суточного движения

Пример 2. Построить сферу для $\varphi=60°$ N, нанести параллели светил B и D и определить:

для светила B ($\delta=45°$ N) величины H в верхней и нижней кульминациях и t на E-м вертикале;

для светила D ($\delta=10°$ S) величину H в верхней кульминации и азимуты восхода и захода

Решение Строим сферу (см порядок построения в § 7) Точку N располагаем справа (рис. 19), чтобы E был обращен к нам Затем *наносим параллели обоих* светил, для чего откладываем $\cup Qd_2=10°$ и $\cup Qb_2=45°$. Замечаем попутно, что восход и заход будет только у светила D ($\delta<90°-\varphi$), светило B — незаходящее ($\delta_N>90°-\varphi_N$). Отмечаем точки восхода d и захода d_3, пересечение первого вертикала b_1, верхних b_2, d_2 и нижней кульминации b_4 Определяем для светила B:

$$H_в=\cup SQ+\cup Qb_2=(90°-\varphi)+\delta=30°+45°=75°\ \text{S};$$

$$H_н=\cup NP_N-\cup P_Nb_4=\varphi-\Delta=60°-45°=15°\ \text{N},$$

или

$$H_н=\cup Q'b_4-\cup Q'N=\delta-(90°-\varphi)=15°\ \text{N};$$

$$t_{\text{перв верт}}\approx 65°\ \text{E}=295°\ \text{W}$$

Для светила D:

$$H_в=\cup SQ=\cup Qd_2=(90°-\varphi)-\delta=20°\ \text{S};$$

$$A_{восх}\approx 70°\ \text{SE}=\text{N}\ 110°\ \text{E}=110°;\ A_{зах}=70°\ \text{SW}=\text{N}\ 110°\ \text{W}=250°.$$

§ 10. Характер изменения небесных координат вследствие суточного движения

Изменение экваториальных координат. Вращение Земли, которое является физической причиной видимого суточного движения светил, для целей мореходной астрономии можно считать равномерным. Поэтому и перемещение небесного меридиана любого светила за одинаковые промежутки времени одинаково. Положение меридиана определяется величиной часового угла, а направление

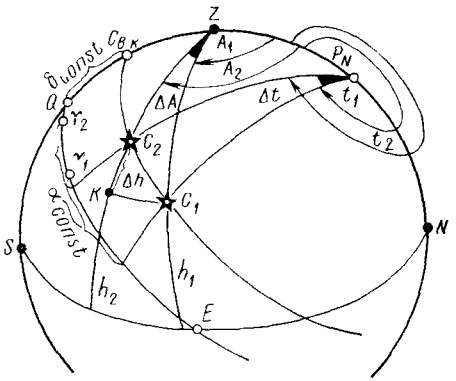


Рис 20 Изменение координат вследствие суточного движения

его движения совпадает с направлением счета W-х часовых углов. Значит, W-й часовой угол любого светила вследствие суточного движения непрерывно и равномерно увеличивается от 0 до 360°.

На рис. 20 изменение W-го часового угла светила C будет

$$\Delta t = t_2 - t_1.$$

Суточное движение происходит по параллелям, для которых угловое отстояние от экватора, т. е. δ, — величина постоянная. Поэтому склонение светил при их суточном движении не должно изменяться. Так, для всех положений светила C_1, C_2, C_3 склонение постоянно: δ_{const}.

Точка Υ, от которой откладывается прямое восхождение, как бы связана со сферой и движется в течение суток вместе с ней и с той же угловой скоростью. Следовательно, на величину прямого восхождения суточное движение не оказывает влияния. Так, для положений светила C_1 и C_2 величина α одинакова (α_{const}).

Изменение горизонтных координат. При рассмотрении этого вопроса будем принимать, что изменение часового угла Δt происходит пропорционально изменению времени ΔT, поскольку уже было сказано о равномерности изменения t в течение суток.

Изменение высоты. Светила C в суточном движении переместилось из точки C_1 в точку C_2, при этом его высота изменилась от h_1 до h_2. Если провести альмукантарат C_1K, то приращение высоты можно определить как $\Delta h = h_2 - h_1$.

Изменение высоты в течение суток неравномерно. Аналитическим путем были получены следующие выводы:

высота изменяется быстрее всего около 1 вертикала, т. е. когда азимут близок к 90° или 270°;

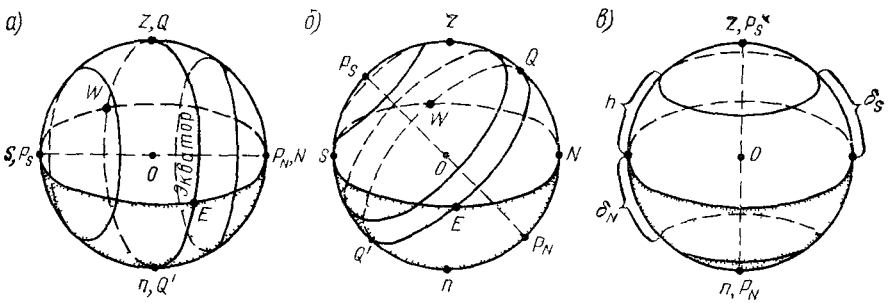


Рис 21 Особенности суточного движения на экваторе (*а*), в промежуточной широте (*б*) и на полюсе (*в*)

около кульминаций изменение высоты Δh наименьшее

Практически величину Δh можно определять по табл. 17 МТ—75.

Изменение азимута. Изменение азимута $\Delta A = A_2 - A_1$ в течение суток также неравномерно:

быстрее всего азимут изменяется вблизи кульминации;

наименьшая величина ΔA наблюдается при азимутах, близких к 90° и 270°, т. е. около 1 вертикала.

Для нахождения ΔA применяется табл. 18 МТ—75.

Особенности суточного движения в разных широтах. Положение суточной параллели меняется при перемене широты места наблюдателя На рис 21 видно, как при перемещении наблюдателя от экватора до южного полюса постепенно уменьшается наклон параллелей к горизонту

Если $\varphi = 0°$ (рис 21, *а*), параллели перпендикулярны горизонту и делятся им пополам Поэтому все светила восходят и заходят, так как $\delta < 90°$, но ни одно не пересекает первого вертикала, только светило, имеющее $\delta = 0°$, движется по первому вертикалу, который совпадает с экватором Высоты изменяются здесь очень быстро у горизонта, но азимуты вблизи восхода и захода почти не изменяются, так как светила поднимаются или опускаются практически вертикально Наоборот, около кульминаций изменение азимутов значительное, а высоты почти не меняются, поскольку светила движутся практически параллельно горизонту

В промежуточной широте (см рис 21, *б* для $\varphi = 30°$ S) параллели наклонены к горизонту на угол $90° - \varphi$ и наблюдаются все разобранные в предыдущем параграфе явления

Для наблюдателя на полюсе при $\varphi = 90°$ (рис 21, *в*) повышенный полюс совпадает с зенитом, горизонт — с экватором, параллели — с альмукантаратами Светила движутся фактически параллельно горизонту, поэтому высота h всегда равна склонению δ, светила, имеющие склонение разноименное с широтой, невидимы Нет восхода и захода светил Для наблюдателя на полюсе отсутствует меридиан наблюдателя, первый вертикал и точки N, E, S, W горизонта Все направления с южного полюса будут на N, а с северного — на S Изменение азимута в течение суток здесь равномерно и пропорционально времени, а высота не меняется

Глава 4

Видимое годовое движение Солнца

§ 11. Обоснование и характер годового движения Солнца

В XVI веке Николай Коперник выдвинул идею о том, что Земля и все планеты перемещаются в пространстве вокруг Солнца. Более точные законы такого движения разработал Иоганн Кеплер. Краткое изложение этих законов следующее (рис. 22).

1. Все планеты двигаются по орбитам, имеющим форму эллипса, в одном из фокусов которого находится Солнце. Ближайшая к Солнцу точка орбиты П′ называется *перигелий*, самая удаленная *А′* — *афелий.*

2. За равные промежутки времени прямая, соединяющая планету с Солнцем (ее называют радиус-вектор), описывает равные площади.

Следствие этого закона: планеты движутся неравномерно, на близких к Солнцу отрезках орбиты b_1b_2 движение происходит быстрее, чем на отдаленных участках b_3b_4.

3. Квадраты времен обращения планет вокруг Солнца относятся как кубы их средних расстояний от Солнца.

Третий закон показывает, что более близкие к Солнцу планеты движутся быстрее, чем более далекие.

По законам Кеплера происходит также движение искусственных небесных тел (спутников Земли или Солнца), перемещающихся в космосе под действием только сил инерции, т. е. с выключенными двигателями. С помощью этих законов хорошо объясняются особенности годового движения Солнца.

Построим небесную сферу большого радиуса, взяв за ее центр Солнце (рис. 23). Показаны четыре положения Земли *I, II, III, IV* и путь ее движения за год — эллипс, который называют *земной орбитой*. Согласно первому закону Кеплера, Солнце будет расположено в одном из фокусов этого эллипса.

Если наблюдатель будет последовательно из разных положений в течение года наблюдать движение Солнца по небесной сфере, то ему будет казаться, что Солнце перемещается по большому кругу, получившему название *эклиптики*. Следовательно, эклиптика образуется от пересечения плоскости земной орбиты с небесной сферой.

Так как ось Земли наклонена к плоскости ее орбиты на постоянный угол 66°33′, ось эклиптики образует с небесным экватором угол $\varepsilon = 23°27'$.

Видимый путь Солнца по эклиптике за год проходит через двенадцать созвездий Рыбы ♓, Овна ♈, Тельца ♉, Близнецов ♊, Рака ♋, Льва ♌, Девы ♍, Весов ♎, Скорпиона ♏, Стрельца ♐, Козерога ♑, Водолея ♒. В пределах этого пояса, названного еще в древности поясом Зодиака, движутся также Луна и большинство планет Солнечной системы.

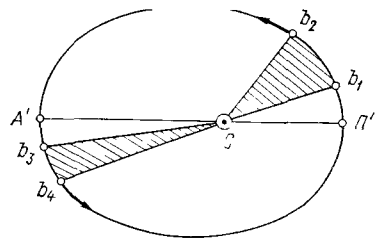


Рис. 22 Законы Кеплера

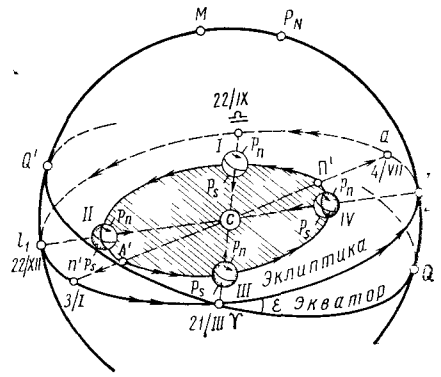


Рис 23 Объяснение годового движения Солнца

На основании всего этого можно сделать вывод, что кроме суточного движения Солнце имеет еще и собственное движение по сфере с годовым периодом, которое называют *видимым годовым движением Солнца.*

Чтобы получить видимый годовой путь Солнца (его астрономический знак ☉) на сфере, достаточно определить $\alpha_\odot$ и $\delta_\odot$ на каждый день. Рассмотрим движение Солнца по эклиптике на отдельном чертеже (рис. 24).

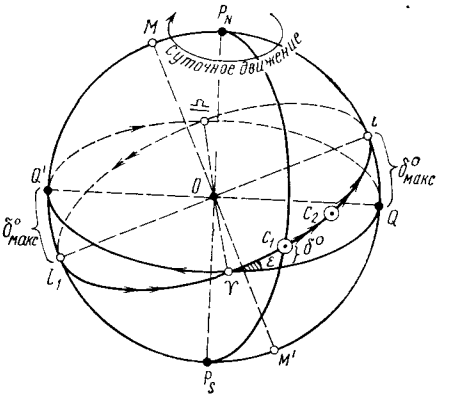


Рис 24. Эклиптика и точки на ней

Некоторые положения Солнца на эклиптике получили особые названия и обозначения: *точка весеннего равноденствия* — ♈ (знак Овна), *точка осеннего равноденствия* — ♎ (знак Весов), *точка летнего солнцестояния* — l или ♋ (знак Рака), *точка зимнего солнцестояния* — l_1 или ♑ (знак Козерога).

Направление годового движения Солнца (обозначено двойной стрелкой на рис. 24) противоположно суточному (обозначено одинарной стрелкой).

Диаметр MM' перпендикулярен плоскости эклиптики и называется *осью эклиптики*, а точки M и M' — *полюсами эклиптики* (M — северный, M' — южный).

Поскольку полный оборот по эклиптике Солнце совершает за один год, т. е. приблизительно за 365 суток, то за сутки оно проходит примерно 1°, причем величина эта непостоянна.

Эклиптика делится экватором пополам, поэтому Солнце полгода имеет северное склонение δ_N (участок ♈ l ♎) и полгода — южное δ_S (♎ l ♈).

В четырех своих особых положениях на эклиптике Солнце имеет значения склонения δ и прямого восхождения α, приведенные в табл. 2.

Характер изменения координат Солнца вследствие годового движения. Поскольку Земля перемещается вокруг Солнца неравномерно, кажущееся годовое движение Солнца по эклиптике происходит тоже с переменной скоростью.

Таблица 2

Дата	Точка эклиптики	$\delta_\odot$	$\alpha_\odot$
21 марта	Весеннего равноденствия	0°	0°
22 июня	Летнего солнцестояния	23,5 N	90
23 сентября	Осеннего равноденствия	0	180
22 декабря	Зимнего солнцестояния	23,5 S	270

Суточное изменение прямого восхождения Солнца оказывается в пределах от 54 до 66′ — осредненно 1°. Суточное изменение склонения колеблется от 0 до 24′, или приближенно: 0,4° — в первый месяц до и после равноденствий, 0,3°— во второй месяц до и после равноденствий и 0,1°— в первый месяц до и после солнцестояний.

Указанные величины позволяют приблизительно находить $\delta_\odot$ и $\alpha_\odot$ на нужную дату.

Пример 3. Определить приближенно $\delta_\odot$ и $\alpha_\odot$ на 5/XI

Решение Ближайшая дата 23/IX

23/IX $\delta_\odot$	0° $\alpha_\odot$	180°
До 23/X $\Delta_1\delta_\odot$	$0{,}4°\times 30 = 12$ $\Delta\alpha$	$1°\times 42 = 42°$
До 5/XI $\Delta_2\delta_\odot$	$0{,}3°\times 12 = 3{,}6°$	
5/XI $\delta_\odot$	15,6° S $\alpha_\odot$	222°

§ 12. Общие и частные явления, обусловленные годовым движением Солнца

Совместное суточное и годовое движение Солнца, которое мы наблюдаем в течение года, происходит следующим образом. Если сложить геометрически годовое (по эклиптике) и суточное (по параллелям вокруг оси мира) движения, то общее видимое движение Солнца изобразится спиралью (рис. 25). Измерения показали, что промежутки между витками этой спирали, т. е. суточные изменения склонения Солнца $\Delta\delta_\odot$, по мере удаления от экватора постепенно уменьшаются.

Крайнюю северную параллель, называемую *тропиком Рака* (круг aa_1), Солнце описывает 22 июня при $\delta = 23°27'$N, крайнюю южную параллель — *тропик Козерога* (круг bb_1)—22 декабря при $\delta = 23°27'$S.

В течение суток точки Υ и Ω, линия Ω и весь круг эклиптики вместе с Солнцем совершают один оборот оси мира $P_N P_S$. В течение года продолжительность пребывания Солнца над горизонтом и под горизонтом непрерывно изменяется, а 21 марта и 23 сентября, когда Солнце движется по экватору ($\delta = 0°$), день равен ночи. Так появились названия точек равнодействий.

Летом меридиональная высота Солнца $H_\odot$ значительно больше, чем зимой. Кроме того, летом при одноименных φ и $\delta_\odot$ бóльшая часть параллелей Солнца располагается над горизонтом, зимой при φ и $\delta_\odot$ разноименных — под горизонтом. Поэтому в общем продолжительность дня в летние месяцы превышает продолжительность ночи; зимой же длиннее ночь.

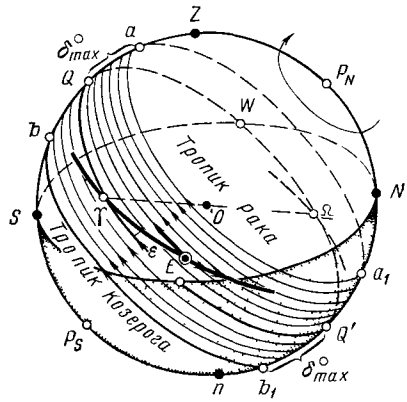


Рис 25 Совместное суточное и годовое движение Солнца

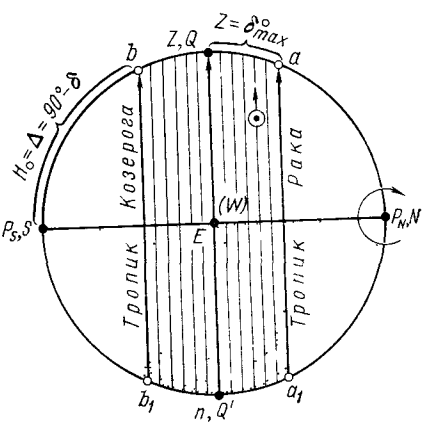


Рис 26 Особенности движения Солнца на экваторе

В летний период (параллель a_1a) угол падения лучей Солнца на поверхность Земли, часть которой изображена плоскостью истинного горизонта, велик. Поэтому Земля, а от нее и нижние слои атмосферы нагреваются интенсивно.

В зимний период солнечные лучи падают на Землю под малым углом (параллель b_1b) и слабо нагревают поверхность земного шара и окружающий ее воздух. Этим главным образом объясняется наблюдаемая в большинстве районов Земли смена времен года.

Особенности суточного движения Солнца в различных широтах. При суточном движении характер астрономических явлений, сопровождающих движение светил, зависит от соотношения между широтой места и склонения светила (см. § 9)

Так как склонение Солнца изменяется в пределах от 23,5° N до 23,5° S, то в разных широтах в течение года его суточный путь (приближенно параллель) располагается по разному В результате изменяется высота Солнца на тот же час каждых суток и связанный с нею угол падения солнечных лучей на поверхность Земли, а следовательно, и количество тепловой энергии, получаемой земной поверхностью и прилегающими слоями атмосферы По указанным причинам существующее понятие климатических поясов основано на особенностях годового движения Солнца в различных широтах

Тропический пояс охватывает районы, где Солнце может проходить через точку зенита, т е бывает $\delta_{\odot} = \varphi$ Поэтому географическими границами тропического пояса являются параллели 23°27′ N и S, которые называются *северным* и *южным тропиками*

Умеренный пояс включает районы на Земле в широтах от 23°27′ до 66033′ N и S, т е от тропиков до *полярных кругов* Здесь Солнце ежедневно восходит и заходит, но не проходит через зенит

Полярный пояс ($\varphi > 66°33'$) характерен тем, что здесь бывают периоды, когда Солнце не восходит или не заходит

Крайние параллели Солнца дают на сфере пояса, ограниченные предельными значениями $\delta_{\odot} = 23°27'$ N и S Это позволяет выяснить особенности движения Солнца в течение года для любой широты

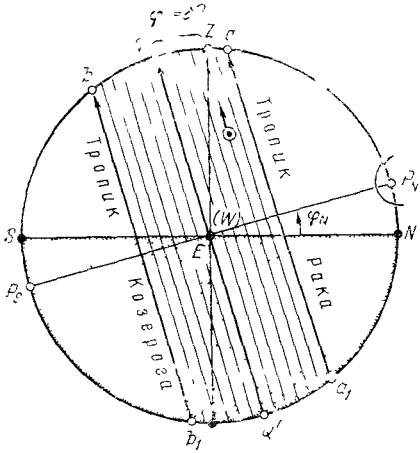


Рис. 27. Особенности движения Солнца в тропическом поясе

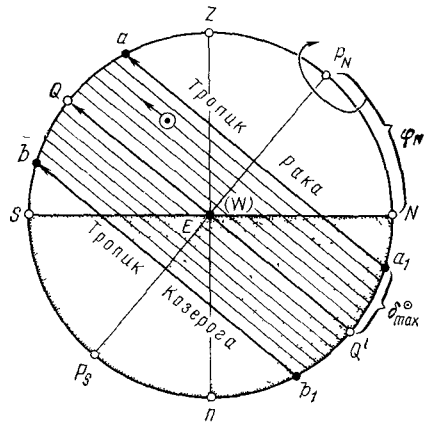


Рис. 28 Особенности движения Солнца в умеренном поясе

На *экваторе* (рис. 26) все параллели Солнца делятся горизонтом пополам, значит здесь день всегда равен ночи В дни равноденствий, когда $\delta_{\odot}=0°$, Солнце движется по экватору, совпадающему с первым вертикалом. В полдень Солнце проходит через зенит. В дни солнцестояний параллелями являются тропики ($\delta_{\odot}=23°27'$), при этом меридиональные высоты $H_{\odot}=66°33'$, т. е. наименьшие.

В *тропическом поясе* (рис. 27) Солнце может проходить в полдень через зенит, когда $\delta_{\odot}=\varphi$. Изменяется, но незначительно продолжительность дня в течение года. При $\delta_{\odot}<\varphi$ Солнце пересекает первый вертикал.

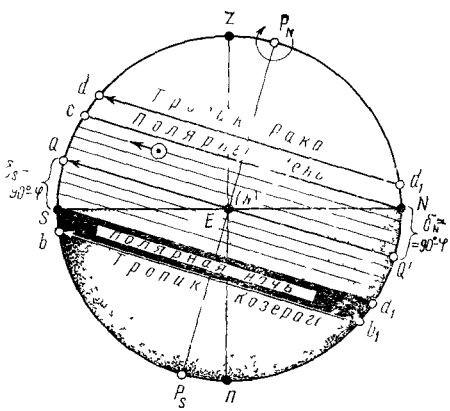


Рис 29. Особенности движения Солнца в полярном поясе

В *умеренном поясе* (рис. 28) Солнце всегда восходит и заходит, продолжительность дня и ночи изменяется значительно. Через зенит Солнце не проходит.

В *полярном поясе* (рис. 29) возможно наблюдать незаходящее Солнце, или полярный день (когда $\delta_{\odot}\geqslant 90°-\varphi$ и одноименно), и невосходящее, или полярная ночь ($\delta_{\odot}\geqslant 90°-\varphi$ и разноименно).

Для наблюдателей на полюсах полярный день и ночь длятся по полгода, между датами равноденствий.

Расположение параллелей Солнца в течение года, т. е. их угол с горизонтом, объясняют климатические особенности в тех или иных поясах. Так, угол падения лучей Солнца на поверхность Земли на экваторе гораздо больше, чем в умеренном поясе и, тем более, в полярном.

Собственное движение Луны и планет

§ 13. Обоснование и характер собственного движения Луны

Луна, подобно Солнцу, перемещается среди звезд. Кульминации Луны по отношению к звездам и Солнцу ежесуточно запаздывают. Изменяются также азимуты восхода и захода Луны и величины ее меридиональной высоты. Все это приводит к мысли, что Луна также имеет свое собственное движение, причина которого — фактическое движение ее по орбите вокруг Земли.

На рис. 30 показана действительная орбита Луны при ее вращении вокруг Земли (внутренний эллипс $л_1 а л_2 л_3 п л_1$). В точке перигея $п$ скорость движения Луны по второму закону Кеплера наибольшая, в момент прохождения апогея $а$ — наименьшая. Было замечено, что плоскость орбиты Луны изменяет свое положение, совершая сложные колебания.

Построив небесную сферу, принимая ее центр в центре Земли $З$ и продолжая плоскость действительной орбиты Луны до пересечения со сферой, получим *видимую орбиту Луны* $Л_1 А Л_2 Л_3 П Л$.

Для простоты рассмотрим собственное движение Луны по видимой орбите на небесной сфере, построенной из центра Земли, но без изображения действительной орбиты Луны и земного шара (на рис. 30 небесный экватор лишь намечен около точек Q и Q').

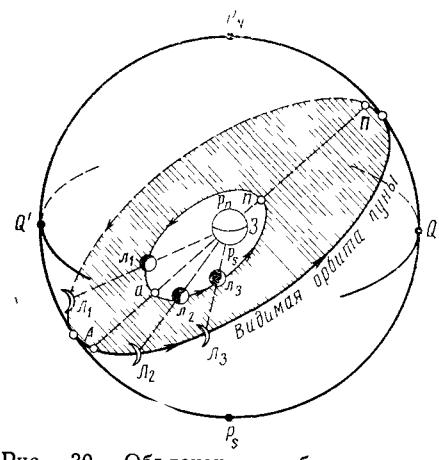


Рис. 30. Объяснение собственного движения Луны

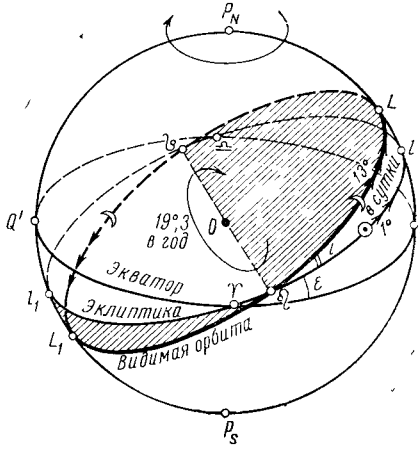


Рис. 31. Видимая орбита Луны

Нанеся на этот новый чертеж (рис. 31) экватор, эклиптику и видимую орбиту Луны, плоскость которой для наглядности заштрихована, получим две точки, названные *лунными узлами:*

☊ — *восходящий,* где Луна переходит через эклиптику, приближаясь к северному полюсу мира;

☋ — *нисходящий,* где Луна переходит эклиптику, двигаясь к южному полюсу мира.

Направление собственного движения Луны такое же, как у Солнца. Положение орбиты Луны в пространстве меняется, поэтому угол между лунной орбитой и эклиптикой также изменяется и в среднем равен 5°08′; линия узлов ☊☋ поворачивается в сторону суточного вращения сферы примерно на 19,3° в год, совершая полный оборот за 18,6 года.

За сутки Луна проходит в собственном движении по орбите по отношению к звездам 13,2°, а по отношению к Солнцу — 12,2°. Это приводит к тому, что восход, кульминация и заход Луны происходят позже по отношению к звездам на 53 мин, а по отношению к Солнцу — на 49 мин. Отсюда легко определить продолжительность полного оборота Луны по орбите. По отношению к звездам этот период равен $\frac{360°}{13{,}2°}$ = 27 сут 7 ч 32 мин (округленно 27,32д) и называется *звездным,* или *сидерическим, месяцем.* Аналогичный период по отношению к Солнцу равен $\frac{360°}{12{,}2°}$ = 29 сут 12 ч 44 мин (29,53д) — *лунный,* или *синодический, месяц.*

Наибольшее возможное значение склонения Луны бывает, когда восходящий узел ☊ совпадает с точкой весеннего равноденствия ♈, тогда $\delta_{max}^{☽} = \varepsilon + i = 28\ 35'\text{N}$ или S.

Сложный характер движения Луны по орбите и колебания численных величин, характеризующих это движение, объясняется в теоретической астрономии многими причинами, главные из которых: взаимодействие сил тяготения Луны, Земли и Солнца, различное расположение в мировом пространстве орбит Луны и Земли, неправильная форма земного и лунного тел.

§ 14. Фазы Луны. Возраст Луны

Луна светит отраженным светом Солнца и, занимая различные положения относительно Земли и Солнца, для земного наблюдателя имеет разный вид, или, как говорят, находится в различных *фазах.*

На рис. 32 по внешней окружности нанесены 8 последовательных положений Луны на орбите, а рядом, ближе к Земле,— вид Луны, как он представляется наблюдателю с поверхости Земли, располагающемуся в каждом случае в вертикале Луны.

Некоторые фазы Луны получили особые названия:

$Л_1$ — *новолуние,* земной наблюдатель Луны не видит, так как Солнце освещает обратную ее сторону;

$Л_3$ — *первая четверть*, Луна видна как полудиск, обращенный выпуклостью вправо для земного наблюдателя;

$Л_5$ — *полнолуние*, наблюдается весь лунный диск, освещаемый Солнцем;

$Л_7$ — *последняя четверть*, с Земли виден полудиск Луны, обращенный выпуклостью влево.

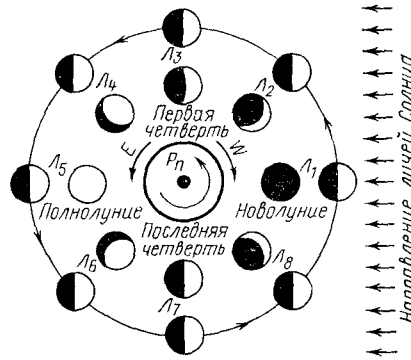


Рис. 32. Фазы Луны

Фазы новолуния $Л_1$ и полнолуния $Л_5$ называются также *сизигиями*, фазы первой $Л_3$ и последней $Л_7$ четвертей — *квадратурами*. Эти термины применяют в теории приливов: в период сизигий наиболее интенсивно выражены приливо-отливные явления, в период квадратур — наименее интенсивно.

Полная смена фаз Луны происходит за один синодический месяц (29,5 или примерно $30^д$), поэтому продолжительность одной четверти равна примерно 7,5 сут.

Промежуток времени от новолуния до данной фазы Луны называется *возрастом* Луны $В_☽$. В МАЕ возраст Луны дается с точностью до $0{,}1^д$. Там же указываются моменты и даты наступления четырех главных фаз Луны (см. § 32).

С точностью до 1—2 сут возраст Луны можно определять по формуле

$$В_☽ = Д + № + Л, \qquad (5)$$

где $Д$ — дата;
$№$ — номер месяца в году;
$Л$ — эмпирическое «лунное» число, которое на ближайшие годы будет иметь значения, приведенные в табл. 3.

Для целей мореходной астрономии достаточно запомнить число $Л$ на данный год или прибавить к значению $Л$ прошлого года 11 сут. ($30^д$ в таких расчетах отбрасываются).

Возраст Луны необходимо знать при решении некоторых задач по расчету приливо-отливных явлений.

Пример 4. Определить возраст, фазу и вид Луны на 15 июня 1986 г.
Решение.
$В_☽ = 15+6+16 = 37^д$ (отбрасываем $30^д$) $= 7$ сут.
Фаза Луны — первая четверть, вид Луны — ☽.

Таблица 3

Год	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
$Л$	24	5	16	27	8	19	0

Пример 5. Рассчитать даты сизигий в марте 1985 г.

Решение. Сизигии бывают, когда $B_{\text{☽}}=0$ или $15^{д}$. Определяем новолуние в данном месяце:

0 (или 30) $=Д+3+16$; $Д=30-8=22/\text{III}$. Вторая сизигия (полнолуние) была на 15 сут раньше, т. е. $22/\text{III}-15^{д}=7/\text{III}$.

Более точно подобные задачи можно решать по данным о возрасте Луны в МАЕ (см. § 32).

Совместная верхняя кульминация Солнца и Луны в полдень наблюдается тогда, когда они располагаются на одном меридиане, т. е. в новолуние $Л_1$ (см. рис. 32). Примерно через $7{,}5^{д}$ запаздывание Луны по отношению к Солнцу составит $0{,}8^{ч}\times 7{,}5^{ч}\approx 6^{ч}$ или 90° по сфере. Значит, в первой четверти Луна $Л_3$ кульминирует через $6^{ч}$ после Солнца (вечером) и наблюдать ее можно с полудня до полуночи. В полнолуние $Л_5$ верхняя кульминация Луны будет через $12^{ч}$ (180°) после кульминации Солнца, т. е. в полночь, и видна Луна с вечера до утра. В последней четверти $Л_7$ Луна кульминирует через $18^{ч}$ после Солнца, т. е. утром, а видна на сфере с полуночи до полудня.

Примерно в первой четверти Луну удобно наблюдать одновременно с Солнцем вечером, причем угол между ними близок к 90°. В последней четверти Луна и Солнце видны утром также с разностью азимутов, близкой к 90°. Эти периоды (в сумме 6—7 дней каждого месяца) удобны для решения задачи определения места по совместным наблюдениям Солнца и Луны.

§ 15. Собственное движение планет

Вокруг Солнца обращаются *планеты* (от греческого слова planetes — блуждающая звезда) — шарообразные небесные тела, светящиеся отраженным светом Солнца. Орбиты планет в соответствии с законами Кеплера представляют собой эллипсы с различной степенью сжатия и небольшими наклонами к плоскости земной орбиты. Поэтому на небесной сфере видимые пути движения планет, кроме Плутона, располагаются вблизи эклиптики, в поясе Зодиака.

Познакомимся с особенностями собственного движения планет на вспомогательной небесной сфере, которое соответствует их видимому перемещению на небесном своде.

Планеты, орбиты которых располагаются внутри земной, называются *нижними.* Сюда относятся Меркурий и Венера. Все остальные планеты называются *верхними:* Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун, Плутон.

Различные частные положения планет относительно Земли (астрономический знак ♁) и Солнца показаны на рис. 33.

Для нижних планет выделяют: *нижнее соединение* — положение планеты в точке C_1 между Землей и Солнцем; *верхнее соединение* — положение планеты в точке C_2 за Солнцем; *элонгация* — положения планеты в точках $Э_1$ и $Э_2$, в которых она имеет наибольшее угловое отстояние от Солнца.

Для верхних планет имеем: *верхнее соединение* — положение планеты в точке C_3 за Солнцем; *противостояние* — положение планеты в точке $П$, тогда Земля находится между планетой и Солнцем.

Таким образом, верхние планеты на сфере могут удаляться от Солнца на любой угол в пределах от 0 до 180°, нижние — только на максимальный угол, соответствующий элонгации; для Меркурия не более 29°, для Венеры 48°. Поэтому нижние планеты менее подходят для наблюдений, чем верхние. Венера видима лишь в течение нескольких часов после захода или перед восходом Солнца, Меркурий вообще почти всегда теряется в солнечных лучах.

Верхние планеты невидимы, когда находятся вблизи своих соединений (за Солнцем), а около противостояний их можно наблюдать всю ночь.

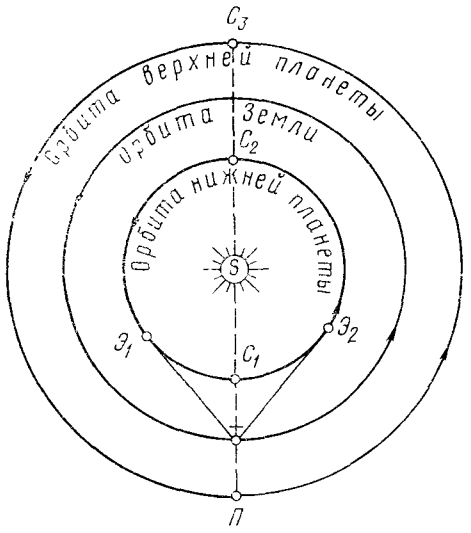


Рис. 33. Различные положения планет

Собственное движение планет на небесной сфере весьма сложно, что обусловлено различием в скорости движения их самих и Земли по своим орбитам, а также разницей в угле наклона и эксцентриситетах орбит.

Невооруженным глазом с Земли могут наблюдаться Венера (астрономический знак ♀), Юпитер (♃), Марс (♂) и Сатурн (♄). Их координаты t, δ и α приводятся в МАЕ. Эти планеты используются для решения задач судовождения и называются поэтому *навигационными*.

Самая яркая из навигационных планет — Венера — часто видна утром или вечером, остальные планеты могут быть видимы в разные часы ночи. Более слабые планеты Сатурн и Марс не видны только около своего верхнего соединения. Данные о видимости планет приводятся в МАЕ.

§ 16. Изменение координат звезд и его причины

Так как звезды не входят в солнечную систему и располагаются на огромных расстояниях от Земли, не должно было бы наблюдаться их заметного собственного движения по сфере. Однако точные измерения, сделанные в течение длительных промежутков времени, показали, что экваториальные координаты звезд α и δ все же медленно изменяются.

Одна из причин такого явления — особое движение полюсов мира вокруг полюсов эклиптики и соответствующее изменение поло-

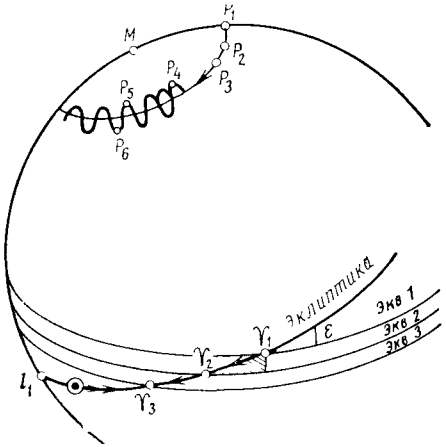


Рис. 34. Прецессия

жения небесного экватора, плоскость которого всегда остается перпендикулярной оси мира.

На рис. 34 показаны внешние проявления этого движения, получившего название *прецессии* (от латинского слова praecessio — предшествование). Направление прецессии противоположно видимому годовому движению Солнца.

Поскольку вследствие прецессии полюс мира занимает последовательно положения P_1, P_2, P_3 и т. д., небесный экватор соответственно опускается с одной стороны сферы и поднимается с другой. Точка Овна Υ — пересечение экватора с эклиптикой, поэтому она движется по эклиптике навстречу годовому движению Солнца, перемещаясь в положения $\Upsilon_1, \Upsilon_2, \Upsilon_3$, и проходя за год по 50,3″. Таким образом, полный оборот по сфере полюс мира и точка Овна совершат за $\frac{360^\circ}{50,3''} \approx 25\,800$ лет, т. е. прецессионное движение сравнительно медленное.

Изменение положения небесного экватора и точки Овна сказывается на величине координат звезд. Так, годовые увеличения или уменьшения склонения и прямого восхождения звезд достигают по этой причине 40—50″ (0,8′). Это учитывается при составлении таблиц координат звезд в МАЕ.

Замечено также, что полюсы мира совершают незначительные эллиптические колебательные движения с периодом 18,6 года и осями эллипса отклонений примерно 14 и 18″. Это явление названо *нутацией*. На рис. 34 нутационные колебания полюса мира показаны условно для положений полюсов P_4, P_5, P_6.

Физическая причина прецессии и нутации заключается в воздействии сил притяжения Солнца, Луны и планет на вращающуюся Землю. Земля в экваториальной области имеет как бы избыточную сверх правильной формы шара массу, которая под действием сил всемирного тяготения вызывает отклонение земной оси вращения, подобного оси гироскопа.

Помимо общего изменения координат звезд от прецессии, наблюдаются периодические смещения звезд вследствие движения Земли по своей орбите. Угловая величина этого смещения называется *аберрацией*. Координаты звезд δ и α поэтому будут изменяться в пределах около 1′ с годовым периодом, что учитывается в МАЕ. Аберрация служит также и одним из доказательств движения Земли вокруг Солнца.

Кроме того, очень точные измерения и расчеты показывают смещение звезд вследствие их движения в мировом пространстве. Однако изменение координат по этой причине столь незначительно, что в мореходной астрономии не учитывается.

Глава 6

Основы измерения времени

§ 17. Общие соображения о времени и способах его измерения

Диалектический материализм учит, что все в природе находится в непрерывном движении. Абсолютного покоя нет. Поэтому положение любой материальной точки и состояние каждого физического тела можно рассматривать лишь для определенного момента времени.

Материя существует в пространстве и во времени. В отличие от пространства, которое имеет три измерения, время изменяется только в одном направлении — от прошлого к будущему. Время выражает последовательную смену различных событий. В зависимости от хода времени изменяются все переменные величины, которые характеризуют тот или иной физический процесс, а также меняются положения любых материальных объектов, в том числе небесных. Все это вызывает необходимость установить способы измерения времени.

Для измерения любой физической величины прежде всего необходимо выбрать единицы измерения, удобные для практического применения и обязательно постоянные.

С древности в качестве основной единицы времени был принят период одного оборота Земли вокруг своей оси или отражающий его оборот небесной сферы, т. е. *сутки*. Этот период практически постоянен (незначительные изменения периода вращения Земли, открытые сравнительно недавно, в мореходной астрономии не учитываются).

Установив единицу измерения времени, надо выбрать начальный (нулевой) момент измерения и какую-либо точку на сфере, по движению которой и можно было бы производить отсчет временных промежутков. Для этого в астрономии используют суточное движение точки весеннего равноденствия или Солнца. По движению точки Овна измеряется *звездное время,* по движению Солнца — *солнечное.*

Для начала отсчета единицы времени — суток удобно выбрать момент пересечения точкой Овна или Солнцем плоскости меридиана наблюдателя, так как эта плоскость совпадает с географическим меридианом, положение которого на Земле определяется долготой наблюдателя. Поэтому время в каждой системе зависит и от того, какой меридиан выбран за начальный — гринвичский, местный или какой-либо другой.

§ 18. Звездное время. Выражение времени в часовых и градусных единицах

Один оборот Земли вокруг своей оси или один оборот небесной сферы вокруг оси мира можно отметить по законченному суточному движению какой-нибудь звезды. Более удобно в астрономии применять для этого точку весеннего равноденствия Υ, которая занимает на сфере вполне определенное положение и участвует в суточном движении, как и все светила.

Звездные сутки — это промежуток времени между двумя последовательными верхними кульминациями точки весеннего равноденствия на данном меридиане наблюдателя.

В момент начала звездных суток точка Овна проходит через полуденную точку экватора Q (рис. 35, *а*).

Звездные сутки делятся на более мелкие единицы: *звездные часы, минуты* и *секунды*.

Звездным временем (S) называют количество звездных единиц, прошедших от момента верхней кульминации точки весеннего равноденствия до данного момента.

Запись звездного времени производится так:

$$S = 7^{ч}38^{м}46^{с}.$$

Звездное время для измерения больших промежутков времени в повседневной жизни не применяется, поэтому не имеет календарной даты.

На рис. 35, *а* изображена небесная сфера на плоскости меридиана наблюдателя, на рис. 35, *б* — на плоскости небесного экватора. Второй чертеж получается, если посмотреть на рис. 35, *а* прямо от точки P_N по направлению, показанному стрелкой. При этом меридиан наблюдателя и все небесные меридианы изобразятся в виде прямых линий.

Вследствие равномерности вращения небесной сферы промежуток времени, прошедший с момента верхней кульминации точки

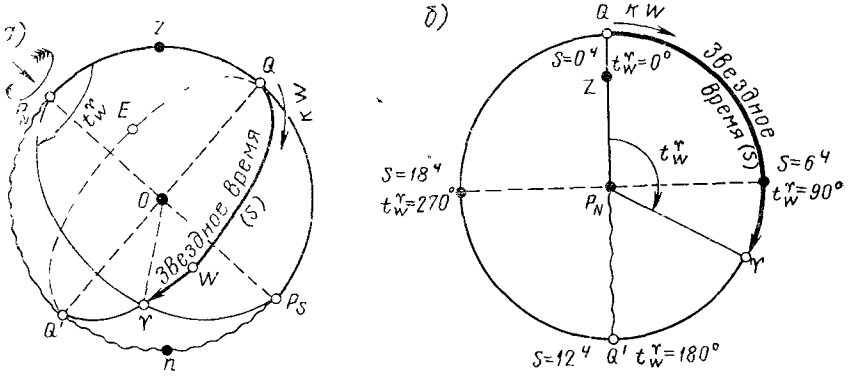


Рис. 35. Звездное время

Овна и выраженный величиной S, численно равен W-му часовому углу точки Овна в градусных единицах. Так, будет $S=0^{ч}$ при $t_W^{\curlyvee}=0°$; $S=6^{ч}$ при $t_W^{\curlyvee}=90°$; $S=12^{ч}$ при $t_W^{\curlyvee}=180°$; $t_W^{\curlyvee}=18^{ч}$ при $t_W^{\curlyvee}=270°$.

Следовательно, существует зависимость

$$S=t_W^{\curlyvee}. \qquad (6)$$

Отсюда появляется возможность выражения временных промежутков как в часах, так и в градусах. Для перехода от градусов к часам и обратно служат соотношения:

$24^{ч}=360°$; $1^{ч}=15°$; $1^{м}=15'$; $1^{с}=15''$ или $0{,}25'$;

$360°=24^{ч}$; $1°=4^{м}$; $1'=4^{с}$; $0{,}1'=0{,}4^{с}$.

Подобный переход от одной меры к другой необходим при решении астрономических задач. Поэтому в МАЕ и в МТ—75 имеются таблицы для облегчения этого перевода с точностью до десятых долей дуговой минуты (0,1′) или до одной временной секунды ($1^{с}$).

§ 19. Основная формула времени

Если рассмотреть взаимное положение на сфере светила C (рис. 36) и точки Овна $\curlyvee$ в некоторый момент, можно увидеть, что $\smile Q\curlyvee=\smile QD+\smile\curlyvee D$, т. е. получим соотношение между величинами S, t_W и α:

$$S=t_W+\alpha. \qquad (7)$$

В один и тот же момент звездное время S равно W-му *часовому углу t_W любого светила плюс его прямое восхождение* α.

Это выражение называется *основной формулой времени.* Оно связывает координаты светил со временем, позволяет переходить от звездного времени к солнечному и решать другие важные задачи. В мореходной астрономии эту формулу часто применяют для расчета часовых углов звезд:

$$t_W^{*}=S-\alpha^{*}. \qquad (8)$$

Чтобы упростить расчеты, заменим вычитание более удобным сложением, прибавив к правой части равенства 360°, что равнозначно 0°:

$$t_W^{*}=S+360°-\alpha^{*}.$$

Обозначив $360°-\alpha^{*}=\tau^{*}$, получим окончательно:

$$t_W^{*}=S+\tau^{*}. \qquad (9)$$

Величина τ^{*} называется *звездным дополнением.* Она приведена в МАЕ для 159 наиболее ярких звезд.

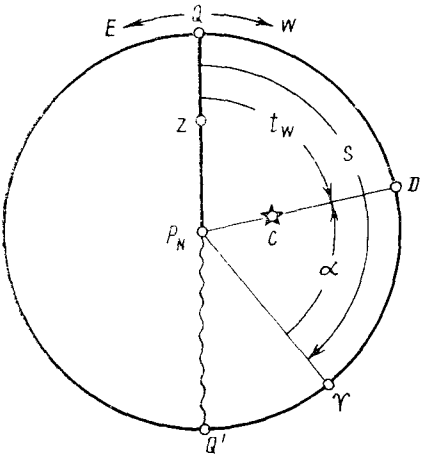


Рис. 36. Основная формула времени

При решении задач на основную формулу времени можно свободно прибавлять к любой части равенства или отнимать от нее 360° (24ч), поскольку это равнозначно 0° (0ч). В процессе решения подобных задач довольно часто приходится переходить от градусных единиц к часовым и обратно. Принято выражать α, S, t_W и τ^* в градусной мере, а α — иногда и в часовой.

Пример 5. Дано $t_W = 76°19,0'$; $\alpha = 4^ч13^м$ (см. рис. 36). Определить $S\left(t\curlyvee_W\right)$.

Решение.

$$\begin{array}{r} t_W = 76°19,0' \\ + \quad \alpha = 63\ 15,0 \\ \hline S = 139°34,0' \end{array}$$

Пример 6. Дано $S = 307°42,6'$; $\tau^* = 329°19,7'$. Определить $t^*_{пр}$.

Решение.

$$\begin{array}{r} S = 307°42,6' \\ + \quad \tau^* = 329\ 19,7 \\ \hline t^* = 637°02,3'\ (-360°) \\ t^* = 277°02,3'\ W \\ t^*_{пр} = 82°57,7'\ E. \end{array}$$

Задачи для самостоятельного решения:

1. Дано: $t = 125°07,8'$ W; $\tau^* = 136°18,9'$. Определить S.
2. Дано: $S = 294°32,6'$; $\tau^* = 117°42,8'$. Определить $t^*_{пр}$.

§ 20. Солнечное время. Среднее время

Неудобство звездного времени и солнечных (истинных) суток. Повседневная жизнь людей нашей планеты организована по Солнцу — в зависимости от светлого и темного периода суток. Уже по этой причине звездное время неудобно. Кроме того, вследствие годового движения Солнца, которое отстает ежесуточно от точки $\curlyvee$ на 1° или 4м, начало звездных суток в течение года приходится на различные моменты дня и ночи. Так, 21 марта начало звездных суток будет в середине дня, 22 июня — утром, 23 сентября — ночью, 22 декабря — вечером. Применять в повседневной жизни такую

систему измерения времени нельзя. Поэтому звездное время употребляется только в теоретических выводах и в расчетных задачах мореходной астрономии.

Более целесообразно принять за единицу времени промежуток между двумя последовательными кульминациями центра Солнца, который получил название *солнечных (истинных)* суток. Эти сутки длиннее звездных примерно на $4^м$. Однако, как было сказано в § 11, изменение прямого восхождения Солнца неодинаково в течение года, т. е. и продолжительность солнечных суток также не одинакова. Разность между самыми длинными и самыми короткими солнечными сутками достигает $51^с$ или почти $1^м$. Применять за единицу счета точного времени переменную величину нельзя, поэтому солнечные (истинные) сутки не используются и не существует системы измерения времени, основанной на движении истинного Солнца. Это обусловлено высокими требованиями к точности отсчетов времени при современном развитии науки, техники и экономики. Создать же приборы, которые бы изменяли свой ход в зависимости от изменения продолжительности солнечных суток, очень трудно.

Среднее Солнце. Среднее время. Истинное Солнце нельзя «заставить» двигаться по эклиптике с постоянной скоростью. Чтобы получить постоянную единицу времени, необходимо заменить Солнце точкой сферы, имеющей равномерное годовое движение. Для этого была установлена особая фиктивная точка небесной сферы — *среднее Солнце* ($\oplus$), которое заменяет истинное Солнце ($\odot$) при измерении времени.

Представим себе, что Солнце движется по эклиптике со скоростью, равной средней за год скорости истинного Солнца. Как показали расчеты, такая точка не будет далеко удаляться от истинного Солнца. Однако вследствие наклона эклиптики к экватору на угол ε суточное изменение $\Delta\alpha$ все равно будет неодинаковым, т. е. и тогда солнечные сутки окажутся непостоянными по величине. Поэтому установили, что собственное движение среднего Солнца (точка C_2 на рис. 37) происходит не по эклиптике, а по экватору в ту же сторону, что и движение истинного Солнца (точка C_1). Таким образом, среднее Солнце имеет следующие особенности:

участвует в суточном движении вместе с небесной сферой;

имеет собственное годовое движение по экватору, направленное против суточного;

суточное его перемещение по экватору постоянно и равно среднему за год перемещению проекции истинного Солнца на экватор; эта величина равна $3^м56{,}56^с$, т. е. около 1°;

меридианы среднего и истинного Солнца располагаются недалеко один от другого, поэтому кульминации $\oplus$ и $\odot$ практически мало отличаются по времени.

С учетом указанных особенностей можно дать определение исходной постоянной единицы этой системы.

Средние сутки — это промежуток времени между двумя последовательными нижними кульминациями среднего Солнца. Так как за начало средних суток принимается момент нижней кульминации

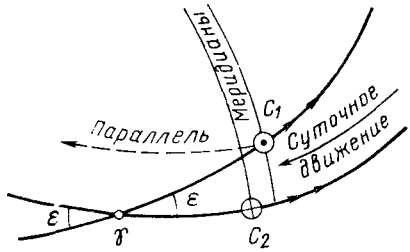


Рис. 37. Движение истинного и среднего Солнца

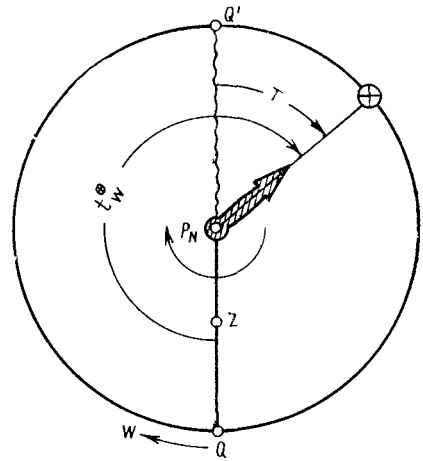


Рис. 38. Среднее время

среднего Солнца, смена даты происходит ночью, что более удобно в повседневной жизни.

Средние сутки делятся на 24 средних часа, 1 час — на 60 средних мин, 1 минута — на 60 средних секунд.

Средним, или *гражданским, временем* T называют количество средних часов, минут и секунд, прошедших от момента нижней кульминации среднего Солнца до данного момента.

Среднему времени обязательно приписывается календарная дата в отличие от звездного времени, которое даты не имеет. Во избежание грубых ошибок при решении задач надо твердо уяснить, что запись момента среднего времени без даты бессмысленна.

Образец записи среднего времени: 13/XII $T=3^{ч}42^{м}57^{с}$.

Из рис. 38 видно, что поскольку среднее время T отсчитывается от полуночной части меридиана наблюдателя[1], а часовой угол (вестовый) среднего Солнца $t_W^{\oplus}$ — от полуденной части меридиана наблюдателя, то

$$\left.\begin{aligned} T &= t_{\odot} \pm 12^{ч}; \\ t_{\oplus} &= T \pm 180^{\circ}. \end{aligned}\right\} \quad (10)$$

или

Знаки $\pm$ выбирают с таким расчетом, чтобы результат получить не более $24^{ч}(360^{\circ})$.

Среднее время в отличие от звездного выражается только в часовых единицах.

Среднее время является основным в повседневной жизни, науке и технике, а также широко применяется в мореходной астрономии. Все используемые на флоте инструменты для измерения времени показывают средние часы, минуты и секунды.

[1] Полуночная часть меридиана наблюдателя располагается на рис. 38 вверху — в отличие от предыдущих рисунков. Это согласуется с расположением деления $0^{ч}$ на циферблате часов.

Уравнение времени. Угол между меридианами среднего и истинного Солнца называют *уравнением времени*. Характер изменения уравнения времени в течение года довольно сложен. Четыре раза в год оно равно нулю. Его максимальные значения невелики: $+3{,}6°(+14{,}4^м)$ и $-4{,}1°(-16{,}4^м)$. Именно поэтому разница в моментах кульминаций среднего и истинного Солнца, как было сказано выше, незначительна. Зная уравнение времени, можно находить часовой угол истинного Солнца по моменту среднего времени. Подобный метод нахождения $t_\odot$ сейчас почти не применяется в задачах мореходной астрономии, но понятие уравнения времени полезно уяснить, так как оно показывает разницу между движением среднего и истинного Солнца. Кроме того, уравнение времени легло в основу составления некоторых таблиц МАЕ.

Измерение крупных промежутков времени. Для измерения больших промежутков времени применяют систему счета определенного количества средних суток, называемую *календарем*. Более мелкие временные периоды внутри календаря — это неделя, месяц и год. *Месяц* имеет в основе оборот Луны вокруг Земли, т. е. лунный месяц ($29{,}53^д$). Календарные месяцы имеют разное количество суток — от 28 до 31. Неделя — искусственное образование, связанное, вероятно, с продолжительностью одной лунной четверти ($7{,}5^д$). *Календарный, или гражданский, год* основан на продолжительности одного оборота Земли вокруг Солнца. Цикл гражданских годов следующий: три года простых, по $365^д$, и четвертый — високосный, содержащий $366^д$. Начало счета календарных годов называется *эрой*. Наша эра, применяемая в большинстве стран Европы и Америки, берет начало от мифической даты рождения Иисуса Христа.

§ 21. Время на различных меридианах. Местное время

Начало суток берется от моментов кульминации точки Овна или среднего Солнца, т. е. от пересечения ими меридиана наблюдателя. Однако плоскость небесного меридиана наблюдателя параллельна географическому меридиану на Земле или является его продолжением. Поэтому как звездные, так и средние сутки для наблюдателей, имеющих различные долготы, начинаются в разные моменты.

Это говорит о том, что на разных меридианах время в один и тот же момент разное и что между временами для наблюдателей, расположенных в различных долготах, существует определенная зависимость. Чтобы обнаружить ее, построим небесную сферу (рис. 39), на которую нанесем меридианы наблюдателей, имеющих восточную долготу ($P_NZ_1Q_1$), западную долготу ($P_NZ_2Q_2$) и меридиан гринвичского наблюдателя (P_NZQ), а также произвольные положения точки Овна Υ, среднего Солнца $\oplus$ и какого-либо светила C.

Время нулевого меридиана называется *гринвичским* звездным или средним временем ($S_{гр}$ или $T_{гр}$). Среднее гринвичское время иногда называют иначе — *всемирное*.

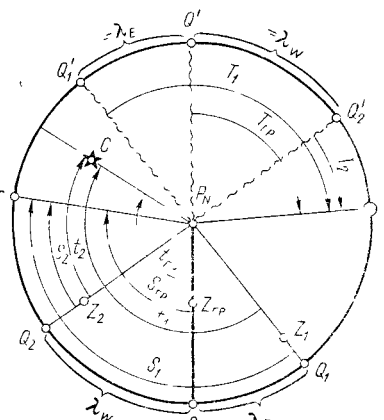


Рис. 39. Местное время

Отметив на рис. 39 дуги λ_E и λ_W, получим зависимость:
для звездных времен

$$S_1 = S_{гр} + \lambda_E \quad \text{и} \quad S_2 = S_{гр} - \lambda_W,$$

для средних времен

$$T_1 = T_{гр} + \lambda_E \quad \text{и} \quad T_2 = T_{гр} - \lambda_W.$$

Время, считаемое на данном географическом меридиане, называется *местным временем* и обозначается $S_м$ или $T_м$. Теперь полученные для частных положений наблюдателей равенства можно записать в виде общих формул:

$$\left.\begin{aligned} S_м &= S_{гр} \pm \lambda^E_W ; \\ T_м &= T_{гр} \pm \lambda^E_W . \end{aligned}\right\} \qquad (11)$$

Так как часовые углы измеряются от полуденной части меридиана данного наблюдателя, получим:
для наблюдателя к E-у от Гринвича

$$t_1 = t_{гр} + \lambda_E,$$

для наблюдателя к W-у от Гринвича

$$t_2 = t_{гр} - \lambda_W.$$

Обозначив $t_м$ — местный часовой угол, получим общую формулу

$$t_м = t_{гр} \pm \lambda^E_W . \qquad (12)$$

Часовые углы в этих выражениях W-е.
Из рис. 39 и полученных формул вытекает, что:
для всех земных наблюдателей, расположенных на одном меридиане, т. е. имеющих одинаковые долготы, местное время одной и той же системы одинаково;
время на данном меридиане отличается от гринвичского на величину долготы;
времена на различных меридианах отличаются на величину разности долгот между ними.
Чтобы не ошибаться в знаках при переводе времен с одного меридиана на другой, надо придерживаться правила: к *востоку времени больше.*
Все выведенные соотношения имеют большое значение и применяются в большинстве задач мореходной астрономии. Напомним, что, поскольку звездное время не имеет даты, при операциях с величинами $S_м$ и $S_{гр}$, а также $t_м$ и $t_{гр}$ можно свободно прибавлять или отнимать 360° (24ч). Однако решая задачи на $T_м$ и $T_{гр}$, иногда приходится изменять дату вперед, если T превысило 24ч, или назад, если пришлось занимать 24ч.
Для экономии времени и, главное, во избежание ошибок в расчетах следует приучить себя производить все вычисления по одним и тем же схемам.

Наиболее часто на практике решаются следующие типовые задачи.

1. Определение местного звездного времени $S_м$ по гринвичскому $S_{гр}$.

Пример 7. $S_{гр}=337°46{,}4'$; $\lambda=164°14{,}3'$ E. Найти $S_м$.

Решение.

	$S_{гр}$	$337°46{,}4'$
$+$	λ_E	$164\ 14{,}3$
	$S_м$	$502°00{,}7'\ (-360°)=142°00{,}7'$

2. Определение местных часовых углов светил.

Пример 8. $t^{\odot}_{гр}=236°42{,}5'$; $\lambda=156°44{,}8'$ E. Найти $t^{\odot}_{м}$.

Решение.

	$t^{\odot}_{гр}$	$236°42{,}5'$
$+$	λ_E	$156\ 44{,}8$
	$t^{\odot}_{м}$	$393°27{,}3'=33°27{,}3'$ W (360° отброшено)

Пример 9. $t^{*}_{гр}=28°24{,}4'$; $\lambda=88°36{,}2'$ W. Найти $t_м{}^*$.

Решение.

	$t^{*}_{гр}$	$28°24{,}4'\ (+360°)$
$-$	λ_W	$88\ 36{,}2$
	$t^{*}_{м}$	$299°48{,}2'$ W $=60°11{,}8'$ E

3. Определение гринвичского среднего времени $T_{гр}$ по местному $T_м$.

Пример 10. 15 марта $T_м=21^ч49^м17^с$; $\lambda=69°33{,}6'$ W. Найти $T_{гр}$.

Решение.

15/III	$T_м$	$21^ч49^м17^с$	$24^ч$ отброшено, дата изменилась
$+$	λ_W	$4\ 38\ 14$	вперед
16/III	$T_{гр}$	$2^ч27^м31^с$	

Пример 11. 18 октября $T_м=8^ч31^м13^с$; $\lambda=82°07{,}5'$ E. Найти $T_{гр}$.

Решение.

18/X	$T_м$	$8^ч31^м13^с$
$-$	λ_E	$5\ 28\ 30$
18/X	$T_{гр}$	$3^ч02^м43^с$

Хотя даты здесь не меняются, их надо записывать перед каждым моментом T для выработки привычки к этому.

4. Перевод времени с одного меридиана на другой. Эти задачи решаются приемом «через Гринвич». Зная время на одном меридиане, получают с помощью долготы данного пункта сначала время на Гринвиче, затем переводят его другой долготой в местное время второго пункта (меридиана). Практически такие задачи могут найти применение для среднего времени T.

Пример 12. 1 июля $T_м = 11^ч39^м36^с$ в $\lambda_1 = 177°56{,}7'$ E. Определить $T_м$ в $\lambda_2 = 53°01{,}7'$ E.

Решение.

1/VII	$T_м$	$11^ч39^м35^с$
	— λ_E	11 51 47
30/VI	$T_{гр}$	$23^ч47^м49^с$
	+ λ_E	3 32 07
1/VII	$T_м$	$3^ч19^м56^с$

Примечание. Здесь потребовалось перевести λ_1 и λ_2 из градусной меры в часовую. Это можно делать по таблице в конце МАЕ или освоить устный перевод на основе соотношений, данных в § 18.

При решении примеров на перевод времени надо приучиться прибавлять или отнимать 360° (24ч) в уме, так как в полных схемах астрономических задач для записи этих операций нет места (в примерах 7, 8, 10 пояснение такого расчета дано в учебных целях). Если дата при моментах $T_м$ меняется дважды, как в примере 12, все равно надо записывать измененную дату при $T_{гр}$, ибо этот момент часто служит основой для выборки других величин по дате из МАЕ.

Задачи для самостоятельного решения

1. $S_{гр} = 65°47{,}8'$; $\lambda = 78°58{,}6'$ W. Найти $S_м$.

2. $t_{гр}^{☽} = 137°36{,}6'$; $\lambda = 162°17{,}3'$ W. Найти $t_м^{☽}$.

3. 17 мая $T_м = 15^ч27^м38^с$; $\lambda = 124°26{,}7'$ E. Найти $T_{гр}$.

4. 28 февраля 1984 г. $T_м = 21^ч49^м38^с$ в $\lambda_1 = 157°45{,}2'$ W. Найти $T_м$ в $\lambda_2 = 33°49{,}0'$ E (февраль високосного года содержит 29 сут).

§ 22. Поясное время. Декретное и летнее время. Судовое время

Пользоваться в повседневной жизни средним местным временем очень неудобно, так как на любом движущемся к востоку объекте (судно, поезд, самолет) надо было бы непрерывно переводить стрелки часов вперед, а при движении к западу — назад. По этой причине еще в далеком прошлом делались попытки устанавливать для определенных районов или государств единый счет времени, принимая за основу местное время какого-либо меридиана. В частности, на всей территории Англии употреблялось время Гринвича, все часы во Франции показывали местное время Парижского меридиана и т. п.

Такой метод, однако, неудобен для государств, имеющих значительную протяженность территории по долготе. Поэтому с 1884 г. стала внедряться система счета времени по поясам. Для рассмот-

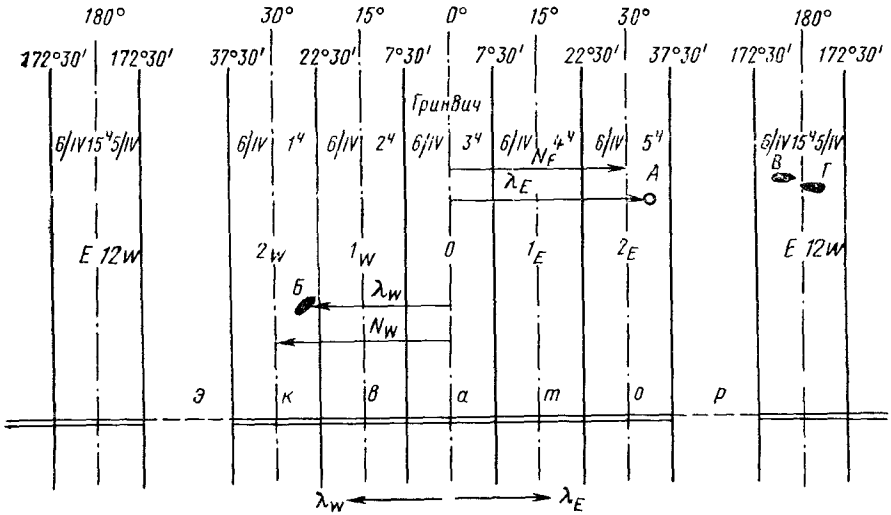


Рис. 40. Поясное время

рения ее сущности обратимся к рис. 40, изображающему земную поверхность в меркаторской проекции.

Вся Земля разделена на 24 часовых пояса, по 15° (1ч) долготы в каждом, причем 12 поясов имеют наименование E и 12 — W. Меридианы 0, 15, 30, 45 и далее через 15° (до 180°) являются центральными для каждого пояса, меридианы с долготами 7°30′, 22°30′ и далее, кратные 7°30′, — это границы поясов.

Местное среднее время центрального меридиана пояса принимается действующим на всей территории пояса и называется *поясным временем* $T_п$.

Пояс с центральным меридианом Гринвича считается начальным, или нулевым, и от него идет нумерация поясов к E или W до двенадцатого пояса включительно.

Для определения номера пояса, в котором находится данный пункт или судно, надо его долготу разделить на 15°. Частное от деления дает номер пояса, а если в остатке получается больше 7°30′, то рассчитанный таким путем номер пояса увеличивается на единицу. Так, если в пункте *A* (см. рис. 40) будет $\lambda = 34°26'$ E, получим $34°26' : 15° = 2$ (в остатке $4°26'$), т. е. этот пункт расположен во втором часовом поясе к E. В расчетах номер пояса принято обозначать арабскими цифрами: 2E и т. д.

Соответственно для судна *Б*, у которого $\lambda = 24°55{,}2'$W, получим $24°55{,}2' : 15° = 1$ (остаток $9°55{,}2'$). Значит, судно находится в поясе 2W, так как $9°55{,}2' > 7°30{,}0'$.

Свойства поясного времени:

поясное время в соседних поясах отличается ровно на 1ч;

разница поясного времени в любых двух часовых поясах равна разности их номеров;

поясное время любого пояса отличается от гринвичского, т. е. от времени нулевого пояса, на величину номера пояса:

$$T_{\text{п}} = T_{\text{гр}} \pm №^{E}_{W}. \qquad (13)$$

Применяя на практике эти свойства, надо, как и для местных времен, помнить правило: *к востоку времени больше.*

Местное время в пределах одного часового пояса теоретически не должно отличаться от поясного $T_{\text{п}}$ более чем на 30$^{\text{м}}$, что соответствует половине ширины пояса в 7°30′. Следовательно, поясное время практически мало расходится с местным временем различных природных явлений — кульминаций, наступления дня и ночи и т. п.

Однако фактические границы часовых поясов, особенно на суше, не всегда совпадают с меридианами, кратными по долготе 7°30′. Они устанавливаются правительствами стран и во многих случаях отклоняются от теоретических, проходя по государственным или административным границам, по рекам, побережьям и т. п.

Некоторые поясные времена имеют собственные названия. Так, большинство стран Западной Европы живут по времени первого восточного пояса, хотя и расположены полностью или частично в нулевом или втором поясах. Это время называется *среднеевропейским.*

Схема часовых поясов приводится на особых картах, выпускаемых в СССР и за рубежом.

В иностранных пособиях применяется термин — *стандартное время,* обозначающий конкретный вид времени на данной территории (местного, поясного или иного), принятый для использования. В этих случаях надо иметь какие-нибудь дополнительные сведения о том, на сколько данное стандартное время отличается от гринвичского.

С целью перенесения рабочего времени на более освещенные ранние часы суток и лучшего перераспределения электроэнергии между бытовыми и промышленными предприятиями в некоторых странах на летний период часы переводятся на 1$^{\text{ч}}$ вперед, иногда на 2$^{\text{ч}}$. Такое время называется *летним.*

В СССР с 16 июня 1930 г. поясное время увеличено на 1$^{\text{ч}}$ без изменения в течение всего года и называется *декретным временем* $T_{\text{д}}$, т. е.

$$T_{\text{д}} = T_{\text{п}} + 1^{\text{ч}}. \qquad (14)$$

Кроме того, с 1981 г. на период от 1 апреля до 1 октября все часы в нашей стране переводятся еще на 1$^{\text{ч}}$ вперед (летнее время). Следовательно, на территории СССР летнее время больше поясного на 2$^{\text{ч}}$.

Декретное время второго Е-пояса называется *московским* и принято при составлении расписаний всех видов транспорта, в радиовещании и т. п.

$$T_{\text{мсек}} = T_{\text{гр}} + 3^{\text{ч}} \quad \text{или} \quad T_{\text{гр}} + 4^{\text{ч}} \text{ (на период с 1/IV по 1/X).} \qquad (15)$$

С 1 апреля 1982 г. в ряде районов, граничащих со вторым Е-м поясом, в повседневной жизни используется московское время.

Судовым временем T_c называют время того часового пояса, по которому фактически поставлены судовые часы в данный момент.

Обычно часы на судне устанавливают по поясному или декретному времени. Однако надо учитывать, что T_c может не совпадать с рассчитанным по долготе $T_п$. Так бывает, если часы еще не переведены на время того пояса, в который перешло судно.

Как правило, судовое время T_c учитывается с точностью до $1^м$, но в некоторых случаях (быстрые маневры и смена ходов, аварийная ситуация и т. п.) записи T_c в вахтенном журнале должны делаться с большей точностью.

§ 23. Соотношение между средним гринвичским, поясным и местным временами

В практике мореходной астрономии очень распространены задачи на определение гринвичского среднего времени по поясному или обратно, а также на перевод местного времени в поясное или судовое и обратно. Такие расчеты делают приемом «через Гринвич», т. е. в каждом случае сначала определяют гринвичское время.

С учетом полученных выше выражений для местного, поясного и судового времени получаем общие формулы для решения перечисленных задач.

Формулы для перехода от местного времени к поясному:

$$\left.\begin{aligned} T_{гр} &= T_м \mp \lambda^{E}_{W}\,; \\ T_п &= T_{гр} \pm №^{E}_{W}\,; \end{aligned}\right\} \qquad (16)$$

формулы для перехода от судового времени к местному:

$$\left.\begin{aligned} T_{гр} &= T_c \mp №^{E}_{W}\,; \\ T_м &= T_{гр} \pm \lambda^{E}_{W}, \end{aligned}\right\} \qquad (17)$$

где № — номер пояса, по которому установлены судовые часы (для декретного времени при восточной долготе надо брать №+1 или летом для территории СССР №+2).

Во избежание ошибок при использовании этих формул надо твердо помнить, что местное время переводится в гринвичское долготой, а в поясное, декретное, летнее, судовое — номером пояса.

Пример 13. 14/VII $T_c = 21^ч42^м$; $\lambda = 67°12{,}5'$ W. Найти $T_{гр}$.

Решение.

14/VII	T_c	$21^ч12^м$
+	$№_W$	4
15/VII	$T_{гр}$	$1^ч42^м$

Пример 14. 16/IX $T_c = 4^ч47^м$; $\lambda = 129°18{,}5'$ E (воды СССР, время декретное, летнее). Найти $T_{гр}$.

Решение:

—	16/IX T_c	$4^ч47^м$
	$(№+2)_E$	11
	15/IX $T_{гр}$	$17^ч27^м$

Пример 15. 22/VI $T_м=2^ч42^м18^с$; $\lambda=82°39{,}7'$ W. Найти $T_п$.
Решение:

	22/VI $T_м$	$2^ч42^м18^с$
+	λ_W	5 30 39
	22/VI $T_{гр}$	$8^ч12^м57^с$
—	$№_W$	6
	22/VI $T_п$	$2^ч12^м57^с$

Пример 16. 1/XI $T_м=5^ч37^м$; $\lambda=107°51{,}4'$ E (воды СССР, время декретное). Найти T_c.
Решение:

	1/XI $T_м$	$5^ч37^м$	
—	λ_E	7 11	
	31/X $T_{гр}$	$22^ч26^м$	(здесь $\lambda=7^ч11^м26^с$ округлено до минут)
+	$(№+1)_E$	8	
	1/XI T_c	$6^ч26^м$	

Примечание. Решая подобные примеры, важно помнить о возможной перемене дат, как и произошло в примерах 13, 14, 16.

Задачи для самостоятельного решения

1. 30/V $T_c=4^ч39^м$; $\lambda=128°36{,}9'$ W. Найти $T_м$.
2. I/IX $T_м=8^ч36^м48^с$; $\lambda=168°36{,}3'$ E (воды СССР). Найти $T_п$.
3. 26/VII $T_м=11^ч57^м$; $\lambda=67°18{,}8'$ E. Найти T_c.

§ 24. Перевод судовых часов при движении судна. Демаркационная линия времени

Морские суда при плавании часто пересекают границы часовых поясов. Для того чтобы судовое время не отличалось от времени того пояса, в который перешло судно, надо переводить стрелки часов на $1^ч$ вперед при E-х курсах от 0 до 180° или назад при W-х курсах от 180 до 360°. Это делается по распоряжению капитана, о чем заблаговременно предупреждается по трансляции экипаж.

Перестановку часов удобнее делать в ночные вахты и обязательно сразу на $1^ч$. Если судну предстоит пересечь несколько гра-

ниц поясов, то перевод часов лучше делать поочередно на всех ночных вахтах (20.00—24.00, 0.00—04.00 и 04.00—08.00 и снова 20.00—24.00 и т. д.). При пересечении первых двух поясов, если предполагается обратное плавание судна, часы переводят на какой-либо определенной вахте — обычно на вахте третьего штурмана 20.00—24.00. Перевод часов по 20м за вахту, как это практиковалось ранее для выравнивания продолжительности вахт, нельзя рекомендовать. Если судно *Б* (см. рис. 40), двигаясь ИК= =50°, переходит меридиан 22°30′ в любой момент 6 апреля, на вахте третьего штурмана перевели часы на время пояса 1W, т. е. на 1 ч вперед. Это можно сделать в $T_c=22^ч$, когда стрелки часов переводятся на $T_c=23^ч$.

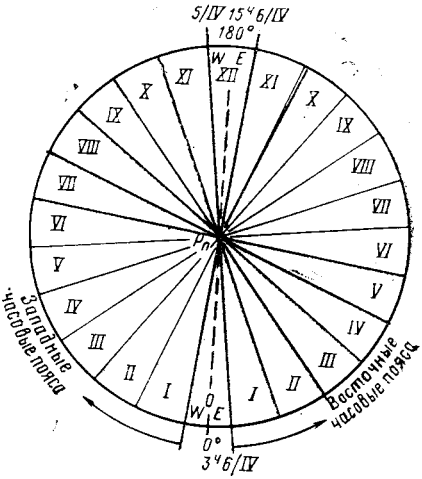


Рис. 41. Часовые пояса и демаркационная линия времени

Если судно попадает в другой пояс на короткое время или не предполагается заходов в порты, часы можно не переводить. При длительной стоянке в иностранном порту устанавливается время, принятое в данном пункте, а для советских портов — декретное.

Все случаи перевода судовых часов обязательно отмечают в вахтенном журнале с указанием времени перевода, отсчета лага и координат на момент перевода стрелок.

Пример подобной записи:

23.00 ол=48,6, $\varphi_c=36°48{,}7'$N, $\lambda_c=24°55{,}2'$W, перевели часы на 1ч назад, принимаем $T_c=22.00$ ($№=+2$).

На рис. 41 изображены теоретические границы всех часовых поясов, если смотреть на Землю от северного географического полюса (точка p_n). Половина часовых поясов имеет наименование восточное, половина — западное.

Пусть на меридиане Гринвича будет 3ч, тогда на меридиане 180° будет $T_п=15^ч$ 6 апреля, если считать этот меридиан восточным, или $T_п=15^ч$ 5 апреля, если рассматривать его как западный. Следовательно, при пересечении меридиана 180° возникает необходимость в смене дат. Так, на рис. 56 судно *В*, двигаясь ИК=95°, пересечет меридиан 180° через 1ч, т. е. в $T_c=16^ч00^м$ 6 апреля. Очевидно, следовало бы изменить дату назад и считать 5 апреля, так как судно перейдет в западное полушарие. Для удобства это делается с ближайшей полночи: на судне *В* надо считать с нуля часов снова 6 апреля.

Для судна *Г*, где сейчас в данный момент $T_c=15^ч$ 5 апреля, ближайшая полночь ($0^ч$) будет иметь дату 7 апреля, а не 6 апреля.

Таким образом, при пересечении меридиана 180° E-ми курсами с момента очередной полуночи дата повторяется, а при следовании W-ми курсами одна дата выбрасывается из календаря.

Линию, проходящую вдоль меридиана 180° с небольшими отклонениями в некоторых районах, в частности вокруг Чукотского полуострова, называют *демаркационной линией времени*, или *линией смены дат.*

В судовом журнале делается обязательная запись при пересечении демаркационной линии и смене даты с указанием φ_c, λ_c и ол.

Глава 7

Приборы для измерения времени

§ 25. Особенности устройства судовых измерителей времени

Для воспроизведения временных единиц и определения моментов времени употребляют специальные механизмы — ***часы.*** Равномерность движения стрелок часов обеспечивается регуляторами, в качестве которых применяют чаще всего пружинные маятники. Высокая точность хода часов обеспечивается постоянством периода колебаний маятника.

Сравнительно недавно в науке и технике стали использовать колебания кристаллов кварца (*кварцевые часы*) и молекулярные колебания газов (*атомные часы*), обеспечивающие очень высокую точность хода часов

На судах применяют следующие измерители времени: хронометр, палубные часы, судовые (морские) часы, секундомеры. Они регулируются так, чтобы показывать среднее время T. В обсерваторной и геодезической астрономии используют также приборы, показывающие звездное время S.

Морской хронометр. Для определения достаточно точных моментов среднего гринвичского времени $T_{гр}$ на судах морского флота используют хронометр. Помимо тщательности выделки, применения высококачественных материалов, хронометр для обеспечения точности хода имеет особое устройство Его двигатель сконструирован так, что обеспечивается постоянство вращающего момента по мере истощения энергии двигательной пружины. Регулятор хронометра устроен с учетом необходимости компенсации влияния изменения температуры на равномерность вращения механизма. Циферблат хронометра состоит из часовой, минутной, секундной стрелок и особой стрелки, показывающей, сколько времени после полного завода идет хронометр. Большинство морских хронометров обеспечивают пятидесятишестичасовой непрерывный ход, в некото-

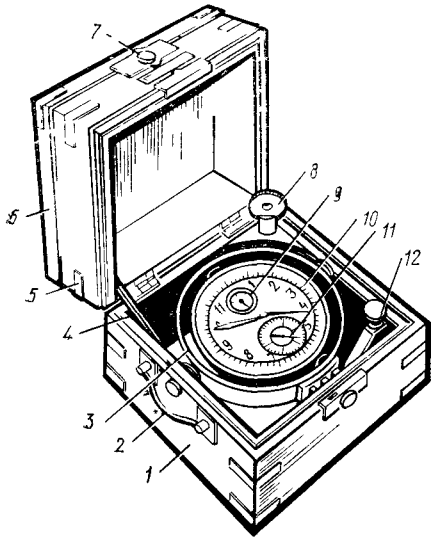


Рис. 42. Морской хронометр:
1 — ящик, *2* — откидная ручка, *3* — кольцо карданова подвеса, *4* — пластинка для удержания крышки, *5* — крышка, *6* — откидная верхняя крышка, *7* — кнопка для открывания хронометра, *8* — заводной ключ, *9* — стрелка завода, *10* — циферблат, *11* — секундная стрелка, *12* — стопор

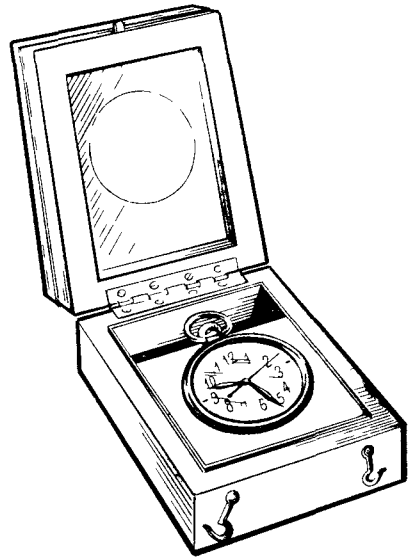


Рис. 43. Палубные часы

рых марках приборов ход более длительный. Циферблат хронометра имеет двенадцать часовых делений, которые вследствие этого могут иметь два значения, например 1 или 13ч; 2 или 14ч и т. п. Секундная стрелка двигается толчками по 0,5с с характерным звуком удара.

Основные детали внешнего устройства хронометра показаны на рис. 42.

Палубные часы (рис. 43). Палубные часы имеют пружинный маятник с температурной компенсацией и механизм повышенной точности. Заключены в двойной футляр. По циферблату двигаются часовая, минутная и центральная секундная стрелки, последняя движется толчками по 0,2с. Перевод стрелок осуществляется с помощью специальной кнопки. Заводная пружина обеспечивает ход палубных часов в течение 48 ч.

Палубные часы обычно устанавливают по гринвичскому времени и используют при астрономических наблюдениях на судне, а также для сличения хронометров и часов. В отличие от хронометра палубные часы можно выносить на открытый мостик.

Судовые или морские часы. Морские часы устанавливают в служебных и жилых помещениях и регулируют по судовому времени, а в радиорубке — по гринвичскому или по московскому времени.

Они предназначены для организации службы и повседневной жизни на судне.

Судовые часы имеют круглый циферблат, разбитый на 12, а иногда на 24 часовых деления, часовую, минутную и обычно центральную секундную стрелку.

Судовые часы заводят один раз в неделю, некоторые типы имеют и более длительный завод.

Так как эти часы не снабжены компенсирующими устройствами, их ход требует систематической корректировки с помощью особого регулятора, расположенного в верхней части циферблата или на оборотной стороне корпуса.

В последнее время некоторые суда снабжают электрическими судовыми часами, центральный прибор которых передает показания на счетчики, устанавливаемые в помещениях.

Секундомеры. Для измерения коротких промежутков времени при навигационных, астрономических и гидрометеорологических наблюдениях применяют различные типы секундомеров. Секундная стрелка их с помощью пусковой кнопки может освобождаться, стопориться и возвращаться в нулевое положение.

Секундная стрелка движется толчками по $0{,}2^{с}$, в некоторых секундомерах — по $0{,}1^{с}$. Минутная шкала разделена на 15 или более делений.

На судах также имеются секундомеры с двумя секундными стрелками, каждая из которых управляется отдельной кнопкой.

Надо учитывать, что показания секундомера довольно часто содержат ошибки в $1—2^{с}$, главным образом за счет неверного возврата к нулевому делению и задержки пуска. По этой причине рекомендуется по возможности производить отсчеты $T_{гр}$ при астрономических наблюдениях непосредственно по хронометру или палубным часам.

Понятие об электронной системе единого времени. Создание высокоточных электронных часов с кварцевым генератором опорной частоты (маятником) позволило разработать для нужд торгового флота достаточно надежную систему единого времени (СЕВ). Она включает в себя следующие приборы и узлы.

1. Первичные электронные часы (ПЭЧ), которые могут питаться от судовой электросети 220 В или от резервного источника питания 24—27 В. Конструкция ПЭЧ позволяет осуществлять сдвиг подвижной шкалы времени на целое число часов — для установки поясного (судового) времени.

2. Электронные часы — репитеры, или вторичные часы (ВЭЧ), имеющие световой индикатор для показа часов, минут и секунд или только часов и минут. Количество вторичных часов в системе практически неограниченно. Они могут устанавливаться в любом положении на переборках или встраиваться в штурманский пульт.

3. Панель управления первичных часов, где находятся все органы управления системой единого времени.

4. Устройство коррекции хода первичных часов, которое обеспечивает автоматический прием шестого сигнала точного времени, подаваемого широковещательными радиостанциями (например, станцией «Маяк»).

Система единого времени позволяет осуществить замену на судах механических хронометров и часов, обеспечить синхронность показаний всех судовых часов, повысить точность взятия моментов времени, а следовательно, и решения астрономических и навигационных задач. Кроме того, СЭВ целесообразно включать в комплексную систему автоматизированного управления судном.

§ 26. Поправка хронометра и часов

Конструктивные особенности и тщательность выделки не могут обеспечить абсолютную точность хода хронометра и тем более часов. Поэтому возникает необходимость вводить в показания хронометра поправку, которая каждый раз имеет новое значение.

Поправка хронометра $u_{хр}$ — это разность точного гринвичского времени $T_{гр}$ и одновременного показания хронометра $T_{хр}$:

$$u_{хр}=T_{гр}-T_{хр}. \qquad (18)$$

Знак $u_{хр}$ бывает положительным, если $T_{хр}<T_{гр}$, и отрицательным, если $T_{хр}>T_{гр}$.

Так как циферблат хронометра разбит на 12 часовых делений, величина $u_{хр}$ не может превышать $\pm 6^{ч}$.

Пример 17. 22/XI $T_{гр}=17^{ч}00^{м}00^{с}$; $T_{хр}=4^{ч}58^{м}19^{с}$. Найти $u_{хр}$.
Решение.

22/XI	$T_{гр}$	$17^{ч}00^{м}00^{с}$
—	$T_{хр}$	16 58 19 (побавлено $12^{ч}$)
	$u_{хр}$	$+1^{м}41^{с}$

Поскольку на практике $u_{хр}$ бывает всегда небольшой, обычно не принято записывать количество часов в ней (в примере 17 нет необходимости писать $u_{хр}=+0^{ч}01^{м}41^{с}$).

Зная поправку хронометра, можно определять нужный момент гринвичского времени:

$$T_{гр}=T_{хр}+u_{хр}. \qquad (19)$$

Вследствие двузначности часовых делений циферблата при определении $T_{гр}$ надо замечать хотя бы приближенно $T_{с}$, чтобы произвести дополнительный подсчет $T_{гр}$ и даты на Гринвиче по формуле

$$T_{гр}=T_{с}\mp №^{E}_{W}.$$

Этот вспомогательный подсчет на практике часто делают в уме, но во избежание ошибок рекомендуется записывать его рядом с основным расчетом.

Пример 18. 23/XII $T_{с}=6^{ч}24^{м}$; $\lambda=128°35{,}7'$ E; $T_{хр}=9^{ч}20^{м}18^{с}$; $u_{хр}=+3^{м}57^{с}$. Определить $T_{гр}$.
Решение.

23/XII	$T_{с}$	$6^{ч}24^{м}$	$T_{хр}$	$9^{ч}20^{м}18^{с}$ $(+12^{ч})$
—	$№_{E}$	9	$u_{хр}$	+ 3 57
22/XII	$T_{гр}$	$21^{ч}24^{м}$	$T_{гр}$	$21^{ч}24^{м}15^{с}$

Расчет гринвичского времени по моменту хронометра и его поправке должен быть твердо освоен, так как с него начинается ре-

шение большинства астрономических задач, и грубый промах здесь приводит к последующему неверному решению всей задачи.

Все изложенное о поправке хронометра относится также и к палубным часам или обыкновенным — разница лишь в степени точности. Поправка часов $u_ч$ по их показанию $T_ч$ будет

$$u_ч = T_{гр} - T_ч. \tag{20}$$

Соответственно

$$T_{гр} = T_ч + u_ч. \tag{21}$$

Показания любых часов дают точное время только после учета их поправки.

Задачи для самостоятельного решения

1. Дано: 11/VI $T_{гр} = 0^ч00^м00^с$; $T_{хр} = 11^ч57^м42^с$. Найти $u_{хр}$.
2. Дано: 30/IV $T_с = 21^ч24^м$; $\lambda = 108°58{,}5'W$; $T_{хр} = 4^ч30^м15^с$; $u_{хр} = -5^м21^с$. Найти $T_{гр}$.
3. Дано: 22/VII $T_с = 14^ч06^м$; $\lambda = 118°46{,}2'E$ (время декретное, летнее); $T_{хр} = 4^ч02^м22^с$, $u_{хр} = +3^м26^с$. Найти $T_{гр}$.

§ 27. Ход хронометра и часов. Суточный ход

Поправка хронометра не может оставаться постоянной. Величина изменения поправки хронометра за какой-либо промежуток времени называется *ходом хронометра.*

Изменение поправки хронометра за одни сутки называется *суточным ходом* ω и определяется по формуле

$$\omega = \frac{u_2 - u_1}{\Delta T}, \tag{22}$$

где u_1 — предыдущая поправка;
u_2 — последующая поправка;
ΔT — промежуток времени в сутках с десятыми долями, который можно определять по табл. 43,А МТ-75.

Если хронометр отстает, его суточный ход положителен, если спешит, суточный ход отрицателен.

Суточный ход следует рассчитывать каждые сутки из соседних ежесуточных поправок. Однако для расчета $u_{хр}$ вперед лучше определять ω из поправок, разделенных промежутками времени в 7—12 сут, чтобы уменьшить путем осреднения действие случайных ошибок взятия $u_{хр}$. Вычислять ω в этом случае следует с точностью до $0{,}01^с$ и затем округлять до $0{,}1^с$.

В лаборатории завода хронометр подвергают исследованию с целью определить влияние изменений температуры на величину ω. Результаты исследований приводятся в аттестате, прилагаемом к каждому хронометру, и выражаются в виде температурных поправок или особой формулы. Однако на практике учет этих поправок в обычных условиях не производят. Надежнее и проще определить $u_{хр}$ как можно ближе к моменту наблюдений. Как правило, доста-

точно ограничиться однократным определением ω за сутки с записью его значения в «Журнал поправок хронометра».

Качество работы хронометра определяют постоянством суточного хода. Абсолютная величина ω при разных температурах не должна превышать $4^с$, а изменение хода за сутки (вариации), т. е. $\Delta\omega=\omega_2-\omega_1$ не должно в среднем быть больше $0{,}5^с$.

За работой каждого хронометра, особенно полученного из ремонта или нового, необходимо строго следить, сравнивая его показания (из журнала поправок) с приведенными выше нормами. Следует иметь в виду, что после остановки хронометра его суточный ход может изменяться и в течение одной-двух недель возможны его колебания.

Пример 19. 22/IV в $T_{гр}=17^ч00^м$; $u_{хр}=+2^м48^с$; 24/IV в $T_{гр}=4^ч57^м$, $u_{хр}=+2^м52^с$. Определить ω.

Решение.

$$\Delta T=1{,}5^д;\quad \omega=\frac{+2^м52^с-2^м48^с}{1{,}5^д}=\frac{4^с}{1{,}5^д}=+2{,}66^с\approx+2{,}7^с.$$

Хронометр отстает.

Пример 20. 27/IX в $T_{гр}=8^ч00^м$, $u_{хр}=+0^м14^с$; 7/X в $T_{гр}=11^ч59^м$, $u_{хр}=-0^м07^с$. Определить ω.

Решение.

$$\Delta T=10{,}17^д;\quad \omega=\frac{-0^м07^с-0^м14^с}{10{,}17^д}=\frac{-21^с}{10{,}2^д}=-2{,}1^с.$$

Хронометр спешит.

§ 28. Способы определения поправки хронометра

Поправку хронометра надо периодически определять по радиосигналам точного времени, а для момента наблюдений — рассчитывать по известному значению его суточного хода.

Системы подачи сигналов точного времени. С 1 января 1972 г. радиосигналы времени передаются всеми специальными советскими радиостанциями и многими иностранными в системе *всемирного координированного времени* (обозначается $T_к$), которое периодически согласовывается с так называемым *международным атомным временем*[1] путем корректировки (сдвига) ровно на $1^с$ вперед или назад. Корректировка шкалы $T_к$ производится два раза в год.

Координированное время может отличаться от гринвичского:

$$\Delta T_к=T_{гр}-T_к, \qquad (23)$$

где $\Delta T_к$ — поправка координированного времени, не превышающая практически $0{,}9^с$.

Ввиду малости этой величины ею во многих случаях можно пренебречь, т. е. принимать $T_к$ равным $T_{гр}$. Однако при необходимости

[1] Международное атомное время отсчитывается с помощью особых часов, роль маятника в которых выполняют колебания молекул газообразного цезия. Показания атомных часов не связаны с какими-либо временными процессами в солнечной системе и характерны чрезвычайно высокой точностью, близкой к абсолютной.

получить более точные отсчеты времени поправка $\Delta T_к$ определяется и учитывается. Особенности и порядок ее нахождения даны в «Правилах штурманской службы» № 29 (ПШС — № 29), изданных Главным управлением навигации и океанографии МО Союза ССР в 1975 г.

Сигналы точного координированного времени подаются советскими станциями — длинноволновой РБУ и коротковолновыми РВМ и РАТ, а также многими иностранными. Все данные о программах этих передач публикуются в брошюре «Эталонные сигналы частоты и времени» (издательство «Стандарты», Москва) и в английском пособии «The Admiralty List of Radio signals, vol. V». Эти радиосигналы состоят из секундных сигналов (точек) и удлиненного сигнала (тире) в начале минуты. Такие сигналы называются сигналами «типа A_1». В СССР применяются несколько программ, отличающихся последовательностью и продолжительностью подачи сигналов. По ним можно определить и поправку $\Delta T_к$.

Вещательные сигналы для проверки времени передаются всеми нашими и большинством зарубежных станций в виде шести звуковых точек. У многих иностранных станций последний сигнал подается в виде удлиненного звука (тире). Точность этой системы сигналов времени обычно достаточна для целей судовождения (до 0,5^с). В случае необходимости можно учитывать поправку $\Delta T_к$ и в этом случае.

Определение $u_{хр}$ по радиосигналам времени. Радиосигналы точного времени удобнее принимать в штурманской рубке — через репродуктор, транзисторный приемник или радиопеленгатор, применяя для этого секундомеры или непосредственно на хронометр.

Чтобы произвести *прием вещательных сигналов времени*, надо взять два секундомера, первый запустить с сигналом 59^{м}55^с, второй — в 0^{м}00^с. Затем следует записать два отсчета хронометра, намеченные на 0,5—1^м вперед, и в эти моменты остановить секундомеры. Добавив ко времени $T_{гр}$ подачи сигналов показания секундомеров, получим моменты $T_{гр}$, соответствующие $T_{хр}$. Если сигналы принимаются непосредственно на хронометр, моменты $T_{хр}$ получаются сразу. После этого выводятся две поправки и рассчитывается средняя из них.

Пример 21. 15/IX в $T_с = 0^ч$ приняты на секундомеры сигналы станции «Маяк»: $T_{гр} = 3^ч59^м55^с$ и $T_{гр} = 4^ч00^м00^с$. Определить $u_{хр}$.

Решение.

+	$T_{гр}$	$3^ч59^м55,0^с$	$4^ч00^м00,0^с$
	Сек	2 03,5	2 28,7
—	$T_{гр}$	$4^ч01^м58,5^с$	$4^ч02^м28,7^с$
	$T_{хр}$	4 01 30	4 02 00
	$u_{хр}$	$+ 0^м28,5^с$	$+ 0^м28,7^с$

Средняя $u_{хр} = 0^м28,6^с$ или округленно $u_{хр} = +0^м29^с$.

Прием сигналов точного времени производят пуском секундомера в $T_к$ и остановкой его в начальный момент $T_{хр}$ по схеме примера 21. Рекомендуется брать три сигнала и выводить среднюю поправку. Если нужна максимальная точность, то к полученной $u_{хр}$ прибавляется величина $\Delta T_к$.

Пример 22. По принятым радиосигналам точного времени станции РБУ найти $u_{хр}$ двумя способами — с максимальной точностью и упрощенно, без учета $\Delta T_к$. Прием сигналов прямо на хронометр.

Решение с максимальной точностью ($\Delta T_к = +0{,}36^с$).

$T_к$	$T_{хр}$	$T_к - T_{хр}$
$11^ч00^м01^с$	$10^ч58^м43^с$	$+1^м17{,}0^с$
11 01 00	10 59 42,5	$+1^м17{,}5^с$
11 02 03	11 00 45,5	$+1^м17{,}5^с$
	Средняя	$+1^м17{,}3^с + 0{,}36^с =$
Упрощено $u_{хр} = +1^м17{,}3^с$.		$= +1^м17{,}66^с \approx +1^м17{,}7^с$

Расчет $u_{хр}$ по суточному ходу и принятой ранее $u'_{хр}$. По радиосигналам поправку хронометра определяют один-два раза в сутки. Для получения $u_{хр}$ на любой момент суток, а также в том случае, когда в этот день по радио определить поправку не удалось, надо применять формулу, полученную из выражения для суточного хода:

$$u''_{хр} = u'_{хр} + \omega \Delta T, \qquad (24)$$

где $u''_{хр}$ — определяемая поправка;
$u'_{хр}$ — последняя известная поправка хронометра;
ΔT — промежуток времени между моментом приема $u'_{хр}$ и данным моментом в сутках с десятыми и сотыми долями (для перевода часов и минут в доли суток можно применять табл. 43,А в МТ—75).

Точность найденной таким путем поправки хронометра зависит от качества хронометра, т. е. от постоянства ω и от величины промежутка ΔT. Если $u_{хр}$ не определялась 3 сут и более, то указанный подсчет можно делать, определив ω за длительный интервал по записям в журнале поправок (10 сут. у более), а величина $u''_{хр}$ может быть получена с ошибкой порядка $1—2^с$.

Пример 23. 7/IX $T_{гр} = 12^ч00^м$; $u_{хр} = -3^м47^с$; $\omega = +1{,}5^с$. 9/IX $T_{гр} = 7^ч26^м$. Найти $u_{хр}$.

Решение. $\Delta T = 1{,}89^д$; $u_{хр} = -3^м47^с + (+1{,}5^с)$. $1{,}89^д = -3^м47^с + 0^м02{,}8^с = -3^м44{,}2^с \approx -3^м44^с$.

§ 29. Работа с хронометром, часами, секундомером

Уход за хронометром и правила обращения с ним. Хронометр постоянно хранят в специальном отделении штурманского стола и вынимают оттуда только для ремонта или хранения на берегу, на-

пример при длительном отстое судна, а также если производятся работы по размагничиванию корпуса судна.

Ящик с хронометром следует надежно закреплять и по возможности накрывать чехлом. Для снятия показаний открывают только верхнюю крышку и отсчет берут через стекло, чтобы на хронометр не влияло изменение температуры. Когда хронометр на судне, стопор карданова подвеса должен быть постоянно отдан.

Надо оберегать хронометр от резких ударов и сотрясений, значительных перепадов температуры и влажности, от проникновения внутрь механизма грязи и пыли.

Заводить хронометр следует ежесуточно, желательно в одно и то же время (обычно это делает третий помощник капитана утром). Для того чтобы завести хронометр, надо аккуратно повернуть корпус вверх дном или на 90°, поставив предварительно стопор на внешнее кольцо, отодвинуть заслонку и, вставив заводной ключ, медленно поворачивать его против часовой стрелки. При ежесуточном заводе достаточно сделать семь — восемь полуоборотов. Чтобы не сорвать цепь с барабана, последний оборот следует делать очень осторожно, доводя стрелку завода до отметки $8^{ч}$.

Для пуска остановившегося хронометра надо предварительно завести его и не слишком резко повернуть ящик с механизмом вокруг вертикальной оси на 40—45°. При таком пуске хронометра в произвольный момент поправка хронометра может получить большие значения, что неудобно. Поэтому перед пуском желательно установить стрелки как можно ближе к точному моменту $T_{гр}$ заранее выбранному для пуска. Для этого, закрепив стопором оба кольца карданова подвеса, следует отвинтить крышку циферблата со стеклом, надеть заводной ключ на головку стрелок и осторожно перевести их (только вправо) до нужного отсчета. При этом согласовывается положение минутной стрелки с показанием секундной, не касаясь последней. Завинтив на место стекло, пускают заведенный хронометр толчком, как указано выше, по возможности ближе к избранному моменту $T_{гр}$. Стрелки переводят также, если поправка хронометра приобрела относительно большую величину. Однако переводом стрелок не надо злоупотреблять.

Транспортировка хронометра. Транспортировку хронометра на небольшие расстояния производят на руках при закрепленном стопоре на обоих кольцах карданова подвеса.

При перевозках без сопровождения или пересылках регулятор хронометра закрепляют пробковыми клинышками. Поэтому, получив хронометр, доставленный из другого пункта, надо корпус его вынуть из ящика и отвинтить крышку Затем, удерживая механизм за края циферблата, перевернуть корпус и снять его с механизма. Установив механизм на корпус циферблатом вниз, удалить пинцетом из-под баррета пробковые клинышки и собрать хронометр в обратном порядке. При этом нельзя касаться других деталей внутреннего устройства.

Неисправности хронометра. Свидетельством неполадок хронометра служат значительные колебания ω полная или временная

остановка стрелок, заметная на слух нечеткость в работе механизма. Производить какие-либо ремонтные работы самостоятельно запрещается.

Неисправности в хронометре устраняют только квалифицированные специалисты навигационных камер.

При обнаружении в хронометре в рейсе неисправностей прибор трогать вообще нельзя. В этом случае пользуются вторым хронометром или палубными часами, поправку которых нужно определять по радио несколько раз в сутки.

Срок непрерывного пользования хронометром — три года. По истечении этого срока хронометр надлежит сдать в навигационную камеру для чистки, проверки или ремонта. Перед сдачей в мастерскую рекомендуется дать возможность заводной пружине хронометра полностью израсходовать запас энергии, затем осторожно заклинить балансир двумя пробковыми клинышками, прочно застопорить карданов подвес.

Срок службы хронометра — не менее 25 лет.

Обращение с палубными часами. Для перевода стрелок палубных часов надо нажать на небольшой прилив (подавку) и вращением заводной головки установить стрелки в нужное положение. При этом минутная стрелка должна быть согласована с показаниями секундной стрелки. Затем, не вращая заводной головки, отпустить подавку.

Перевод стрелок во избежание ошибок в показании секундной стрелки следует проводить плавно и только в направлении движения стрелок.

Палубные часы не следует подвергать резким изменениям температуры и толчкам. Часы должны храниться в футляре с закрытой крышкой во избежание попадания пыли и вынимаются из футляра только на время их завода или перевода стрелок.

Нельзя хранить часы в помещении с химическими веществами, которые могут вызвать их коррозию, а также близко от механизмов, способных намагнитить детали часов.

Перевозка палубных часов может осуществляться любым видом транспорта, но пересылка их багажом или почтовыми посылками не разрешается.

В период наблюдений палубные часы не должны выниматься из футляра, а также подвергаться сильному нагреву солнечными лучами или охлаждению при низких температурах (часы работают нормально при температуре окружающей среды от 4 до 36°).

Срок непрерывного пользования палубными часами — три года, после чего их надлежит сдать в мастерскую для чистки и проверки. Полный срок службы палубных часов — не менее 20 лет.

Взятие отсчетов по хронометру, часам и секундомеру. Необходимость во взятии отсчетов по хронометру возникает главным образом при измерении секстаном высот светил. Для повышения точности рекомендуется измерять не одну, а три — пять высот каждого светила. Поэтому при наблюдениях звезд и планет приходится замечать 12—15 моментов по хронометру.

Наиболее удобный и точный метод таких наблюдений с помощником, который замечает моменты по хронометру в рубке, а работающий с секстаном через открытое окно или дверь рубки подает за несколько секунд до взятия высоты команду «товсь» и в момент касания светила линии горизонта — команду «ноль». Помощник после первой команды концентрирует внимание на секундной стрелке хронометра, мысленно входя в ритм ее ударов, а в момент подачи команды «ноль» замечает показания сначала секундной стрелки, затем минутной и часовой. После этого наблюдатель диктует отсчеты секстана помощнику, который записывает их против моментов $T_{хр}$.

Еще удобнее производить эту операцию с палубными часами, для которых известна поправка. При таком варианте помощник находится рядом с основным наблюдателем и по команде «ноль» фиксирует время по палубным часам, освещая их при необходимости ручным фонарем.

Полезно подготовить в качестве помощника одного из вахтенных матросов, предварительно проведя с ним хорошую тренировку. Рекомендуется завести особую записную книжку, в которой производить запись наблюдений по такой форме:

Отсчеты секстана	Моменты хронометра (часов)
ос=	$T_{хр/ч/}$= . . . . .
. . . . .	. . . . .
. . . . .	. . . . .
$ос_{ср}$=	ср $T_{хр/ч/}$= . . . . .

На практике довольно часто подобные измерения производит один человек (штурман), замечая момент с помощью секундомера. Так, при наблюдениях Солнца в момент касания светилом линии горизонта наблюдатель нажимает пусковую кнопку секундомера, затем быстро идет в рубку и замечает по хронометру какое-нибудь целое, краткое $10^{с}$, показание, и когда секундная стрелка хронометра достигнет этого деления, останавливает секундомер. Далее расчет производят по форме:

— $T_{хр}$ Сек	$10^{ч}25^{м}50^{с}$ 1 15
$T_{хр}$	$10^{ч}24^{м}35^{с}$

После этого наблюдатель записывает рядом ос и возвращается на мостик.

Иногда взятие момента с помощью секундомера выполняют в обратном порядке: нажимают пусковую кнопку в рубке на каком-либо показании хронометра, а останавливают секундомер в момент измерения высоты. Расчет тогда будет такой:

$T_{хр}$	$10^{ч}31^{м}00^{с}$ (в рубке)
Сек	0 54
$T_{хр}$	$10^{ч}31^{м}54^{с}$ (в момент касания светила горизонта)

Однако оба эти приема увеличивают время наблюдений, которое при измерении высот звезд в низких широтах и так ограничено вследствие малой продолжительности сумерек. Следовательно, как основной прием взятия отсчетов хронометра или часов при измерении высот звезд следует рассматривать работу двух наблюдателей (с помощником).

Можно также рекомендовать, если наблюдатель один, такой прием. В момент касания светилом горизонта наблюдатель командует себе «ноль» и начинает счет «и — раз, и — два...». Переведя взгляд на циферблат палубных часов или секундомера, наблюдатель замечает их показание впереди и ведет счет секунд до этого момента. Отняв от замеченного момента количество сосчитанных секунд, получают $T_ч$ в момент измерения высоты. Этот способ требует хорошей тренированности.

Работа с судовыми часами и проверка секундомеров. Судовые часы должны идти по $T_с$ с точностью до $\pm 1^{м}$. Часы в штурманской рубке и в машинном отделении сверяются вахтенным штурманом и механиком по переговорному устройству в начале каждой вахты с точностью до $\pm 15^{с}$. То же делают перед проходом узкостей и выполнением маневров по швартовке и постановке на якорь.

Если надо перевести судовые часы при смене поясов, сначала эту операцию выполняет штурман в рубке, а затем по его указанию — механик в машине. После этого переводят часы в других помещениях, для чего записывают момент по часам в рубке и пускают секундомер. Прибавляя к замеченному моменту показания секундомера, устанавливают стрелки всех часов. Для этого можно привлечь вахтенного матроса, предварительно проинструктировав и проверив его умение выполнять эту операцию.

Переводить стрелки судовых часов следует в сторону увеличения цифровых делений медленным и плавным вращением минутной стрелки пальцем или деревянной палочкой (карандашом). Допускается небольшой (на 3—5 мин) перевод минутной стрелки и в обратную сторону. При этом надо помнить о необходимости согласования минутной и секундной стрелок.

Срок непрерывного пользования судовыми часами — пять лет, после чего надлежит сдать их в мастерскую для проверки. Срок полной службы судовых часов — не менее 15 лет.

Для регулировки хода судовых часов надо знать, что поворот рычажка в сторону знака «П» (прибавить) означает ускорение хода, а в сторону «У» (убавить) — замедление.

Все судовые секундомеры периодически выверяют, для чего контролируют правильность установки секундной стрелки при ее возвращении на нулевое деление, а также точность хода секундо-

мера путем сравнения с ходом секундной стрелки хронометра за 30—60 с. Через три года секундомер сдается для проверки в навигационную камеру.

Организация службы времени на морских судах. Обычно обязанности по уходу за приборами определения времени, расчету их поправок на морском флоте возлагают на третьего штурмана. Ориентировочный порядок необходимых операций и работ по организации службы времени таков.

1. Сразу по приеме утренней вахты или перед этим, около 08.00 по судовому времени, завести все хронометры и палубные часы.

2. В течение вахты, желательно в один и тот же момент $T_{гр}$ определить по радиосигналам времени поправку хронометра, рассчитать суточный ход и произвести записи в «Журнале поправок

Таблица 4

Дата на 1984 г.	Наименование радиостанции	Гринвичское время	Хронометр № 6185			Примечания
			Момент по хрон.	Поправка хрон.	Суточн. ход	
1/IV	РБУ	11—00—01	10—58—43			В. Попов
	$T_к$+0,36^с	01—00	59—42,5	+1^{м}18^с		Ср. $u_{хр}$
		02—03	11—00—45,5			
2/IV	«Маяк»	11—00—00	10—58—46	+1^{м}14^с	—4,0^с	В. Попов
3/IV	«Маяк»	11—00—00	10—58—49,5	+1^{м}10,5^с	—3,5^с	В. Попов
4/IV	«Маяк»	11—00—00	10—58—53	+1^{м}07^с	—3,5^с	В. Попов
5/IV	«Маяк»	11—00—00	10—58—56	+1^{м}04^с	—3,0^с	В. Попов
6/IV	«Маяк»	11—00—00	10—58—59,5	+1^{м}00,5^с	—3,5^с	В. Попов
7/IV	РБУ	11—32—02	11—31—05			В. Попов
	$T_к$+0,36^с	33—01	32—05	+0^{м}56,7^с	—3,8^с	Ср $u_{хр}$
8/IV	«Маяк»	34—02 11—00—00	33—06 10—59—07	+0^{м}53^с	—3,8^с	ΔT=5^д В. Попов

хронометра» по образцу табл. 4. В графе «Примечание» ставится подпись штурмана и даются необходимые уточнения расчетов.

3. В течение вахты, лучше в ее начале, сверить судовые часы в штурманской рубке и машинном отделении, а один раз в сутки — в остальных помещениях. Часы в рубке и машине сверяют также перед выходом в рейс, швартовкой и другими маневрами.

4. При необходимости обеспечить перевод судовых часов при смене поясов. Если перевод произведен на чужих вахтах, утром проверить правильность установки стрелок всех судовых часов.

5. Каждый понедельник утром заводить все судовые часы (при недельном их заводе) и по мере необходимости производить регулировку их.

6. Периодически выверять ход секундомеров.

7. Обеспечивать при надобности сдачу в ремонт и получение всех приборов для определения времени.

8. Каждые сутки составлять так называемый штурманский бюллетень, т. е. выписывать на отдельном листе бумаги, который вывешивают над штурманским столом для сведения судоводителей, значения поправки хронометра, его суточного хода, высоты глаза наблюдателя (мостика), T_c восхода, верхней кульминации и захода Солнца и, если надо, другие сведения.

Глава 8

Морской астрономический ежегодник

§ 30. Построение и содержание МАЕ

Астрономический ежегодник — это сборник таблиц предварительно вычисленных и изданных координат небесных светил, а также некоторых других астрономических данных. В СССР выпускают *основные* (для целей обсерваторной и геодезической астрономии), *морские* и *авиационные ежегодники.* Кроме того, для любителей астрономии издают *астрономические календари.*

Морские астрономические ежегодники в нашей стране выходят с 1930 г. В зарубежных странах сборники астрономических величин издаются для нужд мореплавания под различными названиями. Наиболее известные пособия этого типа: англо-американский «Nautical almanac», «Ephemerides Nautigues» — во Франции, а также ряд частных изданий, например «Brown's nautical almanac».

Содержание всех МАЕ примерно одинаково. Главным образом они предназначены для нахождения гринвичских часовых углов и склонений светил. В некоторых иностранных ежегодниках помещают также навигационные и математические таблицы, которые у нас приводятся в мореходных таблицах.

В Советском Союзе метод построения и содержание МАЕ несколько раз менялись. В настоящее время МАЕ состоит из следующих частей.

Содержание дает указания о расположении материала.

Пояснение к пользованию дает краткое изложение устройства всех таблиц, правил работы с ними и типовые решенные примеры по схемам.

Ежедневные таблицы составляют основную часть МАЕ. В них на каждую дату года через $1^ч$ гринвичского времени $T_{гр}$ даны гринвичские часовые углы (вестовые) точки Овна, гринвичские часовые углы и склонения Солнца, навигационных планет, Луны, а также приведены моменты местного времени для восхода, захода Луны, Солнца, начала и конца сумерек и некоторые другие величины.

Все эти сведения приводятся для трех последовательных дат на одном развороте МАЕ, т. е. на двух страницах — левой и правой.

Видимые места звезд представляют собой список координат τ^* и δ 159 наиболее ярких звезд.

Основные интерполяционные таблицы предназначены для нахождения поправок часовых углов и склонений на промежуточные моменты $T_{гр}$, помещены в конце МАЕ и отпечатаны на цветной бумаге.

Дополнительные таблицы помещены в конце МАЕ. Часть из них относится к Полярной звезде, а другие даны как приложения и содержат поправки для интерполирования восхода и захода Солнца и Луны, сумерек и кульминаций планет, а также таблицу для перевода дуговой меры во временную и обратно и поправки к наблюденной высоте за фазу Венеры.

Кроме того, в начале МАЕ указаны некоторые сведения о явлениях в солнечной системе и о видимости планет по месяцам.

Таким образом, МАЕ позволяет решать обширный круг задач мореходной астрономии, однако главное его назначение — это нахождение часовых углов и склонений, которые определяются с точностью до $\pm 0{,}1'$. Начальными аргументами для входа в МАЕ в большинстве случаев являются год, дата и момент времени $T_{гр}$, который должен быть известен с точностью до $1^с$.

Основные принципы составления таблиц МАЕ и правила работы с ними приведены ниже.

§ 31. Определение часовых углов и склонений светил

Определение часовых углов точки Овна (звездного времени). Напишем основную формулу времени для среднего Солнца и меридиана Гринвича:

$$t^{\curlyvee}_{гр} = t^{\oplus}_{гр} + \alpha_{\oplus} \qquad (25)$$

Было получено также, что

$$t^{\oplus}_{гр} = T_{гр} \pm 12^ч.$$

Отсюда находим

$$t_{гр}^{\curlyvee} = T_{гр} \pm 12^{ч} + \alpha_{\oplus}. \qquad (26)$$

На основании этой формулы в МАЕ вычислены на целые части $T_{гр}$ значения $t_{гр}^{\curlyvee}$, которые в формулах и расчетных схемах далее обозначаются символом $t_{г}^{\curlyvee}$ (часовой угол «табличный»). В основных интерполяционных таблицах даны приращения $\Delta t^{\curlyvee}$ за минуты и секунды $T_{гр}$.

Получив при решении практической задачи момент $T_{гр}$ в часах, минутах и секундах, выбирают значение $t_{г}^{\curlyvee}$ на ближайшее меньшее количество часов из ежедневных таблиц. Затем по основным интерполяционным таблицам (в колонке «Точка Овна $\curlyvee$») находят поправку $\Delta t^{\curlyvee}$ на фактическое количество минут (напечатано жирным шрифтом сверху) и секунд (жирным шрифтом слева). Эта поправка учитывает пропорциональное изменение $t_{гр}^{\curlyvee}$ за промежуток $\Delta T_{гр}$. Далее получают

$$t_{гр}^{\curlyvee} = t_{г}^{\curlyvee} + \Delta t^{\curlyvee}. \qquad (27)$$

Чаще всего требуется находить местный часовой угол точки Овна, который и определяют по формуле

$$t_{м}^{\curlyvee} = t_{гр}^{\curlyvee} + \lambda_{W}^{E}.$$

Полученная величина $t_{м}^{\curlyvee}$ ($S_{м}$) — звездное время, и ее нельзя переводить, как часовые углы светил, в практический счет, а также не следует приписывать ей наименование.

Вычисления в этой и всех других задачах по МАЕ следует выполнять по определенным, твердо установленным схемам.

Пример 24. 26 марта 1981 г., находясь в $\lambda_{с} = 163°05{,}0'$ W, получили $T_{с} = 6^{ч}37^{м}$; $T_{хр} = 5^{ч}34^{м}10^{с}$; $u_{хр} = +2^{м}04^{с}$. Определить $t_{м}^{\curlyvee}$.

Решение.

26/III	$T_{с}$	$6^{ч}37^{м}$	$T_{хр}$	$5^{ч}34^{м}10^{с}$
	№W	11	$u_{хр}$	+ 2 04
26/III	$T_{гр}$	$17^{ч}37$	$T_{гр}$	$17^{ч}36^{м}14^{с}$
			$t_{т}^{\curlyvee}$	79°03,0′
			$\Delta t^{\curlyvee}$	9 05,0
			$t_{гр}^{\curlyvee}$	88°08,0′ (+360°)
			λ_{W}	163 05,0
			$t_{м}^{\curlyvee}$	285°,03,0′

Из ежедневных таблиц:
на $T_{гр} = 17^{ч}$

Из интерполяционных таблиц:
на $\Delta T = 36^{м}14^{с}$

Обычно расчет $t_м^{\Upsilon}$ является частью более сложных задач мореходной астрономии, в которых применяют упрощенную схему решения (см. пример 25). При необходимости 360° прибавляют или отнимают в уме.

Определение часовых углов и склонений звезд. Определив $t_м^{\Upsilon}$, как показано выше, можно получить по основной формуле времени для местного меридиана

$$t_м^{*} = t_м^{\Upsilon} - \lambda_{*}$$

или, вводя величину звездного дополнения (см. §19) $\tau^{*} = 360 - \alpha^{*}$,

$$t_м^{*} = t_м^{\Upsilon} + \tau^{*}. \qquad (28)$$

Величины τ даются на левой странице таблицы «Видимые места звезд» на соответствующий год, аргументами для входа в которую служат порядковый номер или названия звезд (по их месту в созвездии) и месяц года.

Количество градусов τ^{*} напечатано один раз на весь год, а минуты с десятыми долями — на первое число каждого месяца. Поэтому надо производить интерполяцию в уме между колонками соседних месяцев.

Так как обычно месячное изменение τ^{*} незначительно, эта операция не представляет труда.

Подобным же образом устроена и используется таблица для нахождения δ звезд (правая страница таблицы «Видимые места»), где звезды обозначены номерами и собственными именами или только порядковыми номерами.

Для облегчения выбора координат звезд в МАЕ имеется также вкладной лист, на котором для 50 наиболее ярких звезд приведены значения τ^{*} и δ через 10 сут, что позволяет находить эти величины без интерполяции. Перед порядковыми номерами в таблице «Видимые места» даны значения α_{*}, на правой странице — так называемые звездные величины, показывающие яркость звезд (см. § 33).

В большинстве задач мореходной астрономии требуется определять местные часовые углы звезд и других светил в практическом счете, т. е. не превышающие по величине 180°E или W.

Пример 25. 26 марта 1981 г. $T_с = 5^{ч}40^{м}$ в $\lambda_с = 95°39{,}3'$ E получили $T_{хр} = 11^{ч}40^{м}04^{с}$; $u_{хр} = +0^{м}15^{с}$.

Определить $t_м$ и δ звезды Капелла.

Решение.

26/III	T_c	$5^ч40^м$	$T_{хр}$	$11^ч40^м04^с$
—	$№_E$	6	$u_{хр}$	+ 0 15
25/III	$T_{гр}$	$23^ч40^м$	$T_{гр}$	$23^ч40^м19^с$
			$t\curlyvee_т$	168°18,6′
			$\Delta t\curlyvee$	10 06,4
			$t\curlyvee_{гр}$ + λ_E	178°25,0′ 95 39,3
			$t\curlyvee_м$ + τ^*	274°04,3′ 281 11,0
			$t^*_м$	195°15,3′ W (360° отброшено)
			$t^*_{пр}$	164 44,7 E
			δ_*	45°58,8′ N

Узнаем по списку звезд или по таблице «Видимые места звезд», что Капелла — это α Возничего, порядковый номер 28. Из той же таблицы выписываем τ^* и δ_* на ближайшую дату — 1 апреля.

Определение часовых углов и склонений Солнца, планет и Луны. По основной формуле времени для любого светила имеем

$$S_{гр}=t_{гр}+\alpha;$$

для среднего Солнца по той же формуле

$$S_{гр}=t^{\oplus}_{гр}+\alpha_{\oplus}=T_{гр}\pm 12^ч+\alpha_{\oplus}\,.$$

Приравнивая правые части этих равенств, получим

$$t_{гр}+\alpha=T_{гр}\pm 12^ч+\alpha_{\oplus}\,, \qquad (29)$$

или, выделяя искомое,

$$t_{гр}=T_{гр}\pm 12^ч+\alpha_{\oplus}-\alpha.$$

В МАЕ на основании этой формулы рассчитана величина $t\curlyvee_т$ — табличное значение часового угла, которая выбирается на целое меньшее количество часов $T_{гр}$. Кроме того, в интерполяционных таблицах даны поправки $\Delta_1 t$ и $\Delta_2 t$.

Основная поправка $\Delta_1 t$ учитывает изменение t Солнца, планет и Луны вследствие суточного вращения сферы и равномерной составляющей собственного движения. Однако эти светила имеют еще и неравномерную составляющую собственного движения, которая также влияет на изменение часовых углов. Это влияние учи-

тывают с помощью величины квазиразности[1] Δ, приводимой под колонкой часовых углов Солнца и планет в ежедневных таблицах один раз на трое суток, а для Луны — на каждый час. Выписав значение квазиразности Δ, входят с ним в основную интерполяционную таблицу и находят $\Delta_2 t$, которая дается в соответствующей колонке «Попр.» на фактическое количество минут без учета секунд. Знак этой поправки всегда положителен, а ее величина для Солнца и планет сравнительно мала. Все выбранные величины складывают и получают гринвичский часовой угол светила (W):

$$t_{гр} = t_{\text{ч}} + \Delta_1 t + \Delta_2 t, \qquad (30)$$

который далее обычно переводят в местный,

$$t_{м} = t_{гр} \pm \lambda^{E}_{W}.$$

Для нахождения склонения из ежедневных таблиц выписывают также на ближайший меньший час табличное значение $\delta_т$, а внизу колонки склонений Солнца или планет — величину и знак часового изменения склонений Δ (для Луны эта величина дается на каждый час между строчками). Затем из основных интерполяционных таблиц по Δ и количеству минут сверх меньшего часа выбирают поправку склонения Δδ (из колонки «Попр.»). Далее рассчитывают:

$$\delta = \delta_г + \Delta\delta. \qquad (31)$$

Все вычисления обязательно производят по схемам, показанным в примерах.

Пример 26. 20 мая 1981 г $T_с = 19^ч13^м$ в $\lambda_с = 25°18{,}6'$ E получили $T_{хр} = 5^ч11^м10^с$ и $u_{хр} = +2^м12^с$ Определить $t_м$ и δ Солнца.

Решение

20/V $T_с$	$19^ч13^м$
$-\lambda_E$	2
20/V $T_{гр}$	$17^ч13^м$
$\delta^{\odot}_{г}$	20°03,6′ N
$\Delta\delta$	+ 0,1 (0,5)
$\delta_{\odot}$	20°03,7′ N

(+ 0,5′ — часовое изменение δ)

$T_{хр}$	$5^ч11^м10^с$
$u_{хр}$	+ 2 12
$T_{гр}$	$17^ч13^м22^с$
$t^{\odot}_{г}$	75°53,1′
$\Delta_1 t$	3 20,3
$\Delta_2 t$	+ 0,2 (1,0 — квазиразность)
$t^{\odot}_{гр}$	79°13,6′
λ_E	25 18,6
$t^{\odot}_{м}$	104°32,2′ W

[1] Квазиразность — это разность между действительным изменением часового угла за $1^ч$ и наименьшим возможным, т. е. постоянным изменением за $1^ч$ (см. МАЕ, с. 6).

Пример 27. 31 августа 1981 г. $T_c = 6^ч25^м$ в $\lambda_c = 90°23{,}5'$ E (СССР, время летнее), получили $T_{хр} = 10^ч30^м14^с$ и $u_{хр} = -5^м10^с$. Найти $t_м$ и δ Марса ($\sigma^{\prime}$).

Решение.

31/VIII T_c	$6^ч25^м$	$T_{хр}$	$10^ч30^м14^с$
$(№ + 2)_E$	8	$u_{хр}$	$-\ 5\ 10$
30/VIII $T_{гр}$	$22^ч25^м$	$T_{гр}$	$22^ч25^м04^с$
$\delta_г^{\sigma^{\prime}}$	21°21,2′ N	$t_г^{\sigma^{\prime}}$	188°03,1′
$\Delta\delta$	$-0{,}1\ (0{,}3')$	$\Delta_1 t$	6 15,6
		$\Delta_2 t$	$+\ 0{,}8\ (1{,}8)$
$\delta_{\sigma^{\prime}}$	21°21,1′ N	$t_{гр}^{\sigma^{\prime}}$	194°19,5′
		$+\ \lambda_E$	90 23,5
		$t_м^{\sigma^{\prime}}$	284°43,0′ W
		$t_{пр}^{\sigma^{\prime}}$	75°17,0′ E

Пример 28. 9 июня 1981 г. в $T_c = 19^ч22^м$ и $\lambda_c = 14°05{,}6'$ E получили $T_{хр} = 6^ч23^м41^с$; $u_{хр} = -1^м30^с$. Определить $t_м$ и δ Луны.

Решение.

9/VI T_c	$19^ч22^м$	$T_{хр}$	$6^ч23^м41^с$
$-\ №_E$	1	$u_{хр}$	$-\ 1\ 30$
9/VI $T_{гр}$	$18^ч22^м$	$T_{гр}$	$18^ч22^м11^с$
$\delta_г^{\mathrm{D}}$	6°49,1′ N	$t_г^{\mathrm{D}}$	353°56,2′
$\Delta\delta$	$-4{,}0(10{,}6)'$	$\Delta_1 t$	5 17,6
		$\Delta_2 t$	$+\ 5{,}3\ (14{,}2)$
δ_{D}	6°45,1′ N	$t_{гр}^{\mathrm{D}}$	359°19,1′
		$+\ \lambda_E$	14 05,6
		$t_м^{\mathrm{D}}$	373°24,7′ W
		$t_{пр}^{\mathrm{D}}$	13°24,7′ W

§ 32. Определение судового времени кульминации светил, восхода и захода Солнца и Луны, начала и конца сумерек и другие задачи

Определение времени кульминации Солнца, Луны и планет. В ежедневных таблицах МАЕ, в нижнем углу правой страницы, приведены с точностью до $1^м$ моменты местного времени верхних и нижних кульминаций Солнца и Луны. Время верхних кульмина-

ций навигационных планет для средней даты трехсуточного интервала дается под колонкой их часовых углов, ниже горизонтальной черты. Все эти моменты в МАЕ обозначены символом $T_к$.

Так как светила имеют собственное движение, время кульминации за каждые сутки изменяется. В наибольшей степени это характер для Луны; кульминация которой за сутки запаздывает от 41 до 65^м. Для планет изменение $T_к$ не превышает 2^м, а для Солнца — вовсе незначительно (не более 1^м).

В результате суточного движения кульминация светил по местному времени $T_м$ для данного наблюдателя, расположенного к Е-у от нулевого меридиана, т. е. в λ_E, наступает раньше, чем на Гринвиче ($T_к$), а для наблюдателя в λ_W — позже.

Поправку ΔT_λ для перехода от местного времени кульминации на Гринвиче $T_к$ к времени кульминации на данном меридиане $T_м$ можно было бы вычислять по формуле

$$\Delta T_\lambda = \frac{\Delta}{360^\circ}\lambda, \qquad (32)$$

где Δ — разность между моментами кульминаций на предыдущую (при λ_E) или последующую (при λ_W) и данную дату.

Для лучшего уяснения сущности этого вопроса надо вспомнить, что суточное движение объясняется действительным вращением Земли с W на E. При полном обороте Земли на 360° от Гринвича момент кульминации светила изменится на величину Δ. При повороте Земли на 1° изменение будет равно $\frac{\Delta}{360^\circ}$, а при повороте на количество градусов λ будет $\frac{\Delta}{360^\circ}\lambda$. При этом, так как в восточных долготах все явления наступают раньше, разность надо определять от предыдущей даты при λ_E и от последующей при λ_W.

Практически вместо расчетов ΔT_λ по формуле удобнее применять приложение 1, Б, помещенное в конце МАЕ. Для Солнца поправку ΔT_λ не учитывают по ее малости, т. е. местное время кульминации Солнца на любом меридиане можно принимать одинаковым и равным $T_к$, указанному в МАЕ для Гринвича.

Найденное после учета ΔT_λ время будет местным временем кульминации $T_м$ на данном меридиане, и его обычным порядком переводят «через Гринвич» в $T_с$. Во избежание путаницы полезно иметь в виду, что полученное на этом этапе расчета $T_{гр}$ показывает, какое время на Гринвиче, когда на нашем меридиане $T_м$.

Поскольку лунные сутки длиннее средних суток и равны примерно 24^{ч}50^м, в некоторые даты кульминации Луны на меридиане Гринвича не бывает, и в ежедневных таблицах тогда стоит прочерк. В таких случаях за исходный момент $T_к$ берут время на последующую дату при λ_E или на предыдущую дату — при λ_W. Тогда для отыскания разности моментов кульминации Δ надо при восточных долготах от $T_к$ предыдущей даты отнять выписанный момент $T_к$ последующей даты, а результат интерполирования из приложения 1, Б МАЕ прибавить с его знаком к выписанному моменту

$T_к$ последующей даты. Соответственно для западных долгот действия будут обратные, т. е. Δ определяется также через сутки — от последующего момента $T_к$ отнимают выписанный предыдущий момент.

В практике мореходной астрономии обычно определяют $T_с$ верхней и реже — нижней кульминации Солнца. Время кульминации Луны иногда нужно знать для расчета приливо-отливных явлений в навигации и лоции. Время кульминации планет вообще не определяется, хотя моменты их кульминаций $T_к$ даются в МАЕ.

Моменты нижних кульминаций Солнца и Луны обозначены в МАЕ индексом «н» и все расчеты для них аналогичны вышеизложенным.

Пример 29. 11 сентября 1981 г. в $\lambda_с = 146°17{,}2'$ W. Определить $T_с$ верхней кульминации Луны.

Решение.

На Гринвиче

11/IX	$T_к$	$22^ч12^м$
	ΔT_λ	+ 22
11/IX	$T_м$	$22^ч34^м$
	+ λ_W	9 45
12/IX	$T_{гр}$	$8^ч19^м$
	— №$_W$	10
11/IX	$T_с$	$22^ч19^м$

($\Delta = +52^м$ — разность между 12/IX и 11/IX) (по прил. 1, Б с $\lambda = 150°$ и $\Delta = +52^м$) (перевод округлен до $1^м$)

Пример 30. 26 ноября 1981 г. в $\lambda_с = 80°18{,}8'$ E. Определить $T_с$ нижней кульминации Луны.

Решение. На 26/XI вместо нижней кульминации Луны в МАЕ прочерк. Поэтому выбираем исходный момент $T_к$ на последующую дату 27/IX, так как λ_E. Разность Δ определяем между 25/XI и 27/XI, т. е. через сутки.

27/XI	$T_к$	$00^ч08^м$
	— ΔT_λ	— 10 — ($\Delta = -45^м$ — разность между 25/XI и 27/XI)
26/XI	$T_м$	$23^ч58$
	— λ_E	5 21
26/XI	$T_{гр}$	$18^ч37^м$
	+ №$_E$	5
26/XI	$T_с$	$23^ч37^м$

Если бы в этом примере время было декретное, то, добавив $1^ч$, получили бы кульминацию на $T_с = 0^ч37^м$ следующих суток, т. е. 27/XI. Это означало бы, что в данные сутки 26/XI по декретному времени нижней кульминации Луны в данном месте не было бы.

Пример 31. 29 июня 1981 г. в $\lambda_c = 50°41{,}0'$ W. Определить T_c = верхней и нижней кульминаций Солнца.

Решение.

Верхняя кульминация

29/VI	$T_{к(м)}$	$12^ч03^м$
	+ λ_W	3 23
29/VI	$T_{гр}$	$15^ч26^м$
	— №$_W$	3
26/VI	T_c	$12^ч26^м$

Нижняя кульминация

29/VI	$T_{к(м)}$	$00^ч03^м$
	+ λ_W	3 23
29/VI	$T_{гр}$	$3^ч26^м$
	— №$_W$	3
29/VI	T_c	$0^ч26^м$

Примечание. Для Солнца поправку ΔT_λ нет смысла даже и отмечать в схемах, поскольку $T_к \approx T_м$ (можно писать сразу $T_м$).

Определение времени видимого восхода и захода Солнца. *Видимым восходом или заходом Солнца* называется момент пересечения верхним краем диска Солнца линии видимого горизонта. При этом центр Солнца за счет рефракции (преломления лучей света в атмосфере) и с учетом величины углового полудиаметра располагается ниже плоскости истинного горизонта примерно на 1°.

Знать время восхода и захода Солнца судоводителю необходимо во многих случаях: в момент захода включают, а в момент восхода выключают, согласно МППСС, навигационные огни, зажигают или тушат огни маяков, в момент захода спускают Государственный флаг. Кроме того, по восходу или заходу Солнца одним из астрономических способов довольно просто определить поправку компаса.

По МАЕ время восхода и захода Солнца можно определить с точностью до $\pm 1^м$.

В ежедневных таблицах МАЕ приведены моменты $T_м$ восхода и захода Солнца на меридиане Гринвича для табличных широт ($\varphi_т$) от 60S до 74°N через интервалы широт $\Delta\varphi_т$ в 10,5 и 2°. Рядом с каждым моментом $T_м$ приведены их суточные изменения, напечатанные более мелкими цифрами. Для интерполирования моментов восхода и захода за широту и долготу служит приложение 1 (части А и Б), помещенное в конце МАЕ.

Для определения T_c восхода или захода Солнца по МАЕ надо сначала из ежедневных таблиц выбрать табличное время $T_т$ на широту, ближайшую и меньшую по отношению к φ_c судна. Этот момент выбирают непосредственно из ежедневных таблиц, если заданная дата совпадает со средней датой трехсуточного интервала. Если же заданная дата будет на $1^д$ меньше или больше приведенной в МАЕ, то надо придать к моменту $T_т$ средней даты суточное изменение с его знаком. При этом суточное изменение берется слева для предыдущей даты и справа — для последующей (по отношению к средней дате).

Выписав в схему $T_т$, в уме вычисляют и записывают с полученным знаком разность моментов Δ_1 — между следующей строкой

(для большей по величине $\varphi_т$) и выбранной исходной табличной широтой. После этого надо выписать суточное изменение Δ_2, которое берется слева, если долгота восточная, и справа, если долгота западная.

Для нахождения поправок обращаются к приложению 1. По табличному интервалу широт 2,5 или 10° (его нужно заметить в ежедневной таблице), разности $\varphi_с - \varphi_т$ и выписанной разности моментов Δ_1 из таблицы «А. Интерполирование по широте» выбирают и выписывают в схему величину поправки ΔT_φ, знак которой одинаков со знаком Δ_1.

Затем из таблицы «Б. Поправка за долготу» по аргументам Δ_2 и $\lambda_с$ находят значение ΔT_λ и выписывают со знаком, который был у Δ_2.

Суммируя все найденные величины, получают

$$T_м = T_т + \Delta T_\varphi + \Delta T_\lambda, \tag{33}$$

и, наконец, «через Гринвич» переводят $T_м$ в $T_с$:

$$T_{гр} = T_м \mp \lambda^{E}_{W}, \quad T_с = T_{гр} \pm №^{E}_{W}.$$

В высоких широтах Солнце может не заходить, т. е. наблюдается *полярный день*, отмеченный в МАЕ знаком □. Соответственно *полярная ночь*, когда Солнце не восходит, обозначается символом.

Для широт, превышающих 74°N или 60°S, по МАЕ момент восхода и захода Солнца определить нельзя. Для этих районов выпускаются особые таблицы. Приближенно эту задачу можно решить, нанеся предварительно Солнце на звездный глобус (см. § 34).

Задача определения $T_с$ восхода и захода Солнца решается штурманом каждые сутки даже в условиях прибрежного плавания.

Пример 32. 31 июля 1981 г. $\varphi_с = 63°09{,}5'$ N и $\lambda_с = 168°33{,}0'$ W. Определить $T_с$ восхода Солнца.

Решение. Отыскав в ежедневных таблицах нужный разворот, убеждаемся, что дата 31/VII является средней в трехсуточном интервале и выборку можно производить прямо на нее.

31/VII	$T_с$	$3^ч23^м$ (для $\varphi_т = 62°$)
	ΔT_φ	$-$ 11 ($-19^м$, $\varphi_с - \varphi_т = 1°09{,}5'$, интервал $\Delta\varphi_т = 2°$)
	ΔT_λ	$+$ 1 ($+2^м$, выбрали справа, так как λ_W)
31/VII	$T_м$	$3^ч13^м$
	λ_W	11 14
31/VII	$T_{гр}$	$14^ч27^м$
	$№_W$	11
31/VII	$T_с$	$3^ч27^м$

Пример 33. 11 ноября 1981 г. $\varphi_c = 43°35{,}0'$ S; $\lambda_c = 129°12{,}0'$ E. Определить T_c восхода и захода Солнца.

Решение. Дата 11/XI является последующей по отношению к приведенной на развороте ежедневных таблиц даты 10/XI. Поэтому к моментам восхода и захода на 10/XI и на $\varphi_т = 40°$ S придаем суточное изменение, взятое справа, а результат выписываем в схему как $T_т$ для заданной даты 11/XI.

		Восход	Заход	
11/XI	$T_т$	$4^ч38^м$	$18^ч50^м$	
	ΔT_φ	$-\ 8\ (-12^м)$	$+\ 9\ (+13^м)$	
	ΔT_λ	$0\ (+1^м)$	$0\ (-1^м$,	выбрано слева, так как λ_E)
11/XI	$T_м$	$4^ч30^м$	$18^ч59^м$	
	λ_E	8 37	8 37	
10/XI	$T_{гр}$	$19^ч53^м$	$10^ч22^м$	11/XI
	№$_E$	9	9	
11/XI	$T_с$	$4^ч53^м$	$19^ч22^м$	

Определение судового времени восхода и захода Луны. Знание моментов восхода и захода Луны судоводителю может понадобиться для определения светлого периода ночи, что особенно важно в трудных условиях маневрирования — в узкостях, в не оборудованных навигационным ограждением районах. Особое значение эта задача имеет в военном деле для расчета освещенности при выходе в атаку или для скрытого прохода района.

Моменты восхода и захода Луны на меридиане Гринвича приведены в ежедневных таблицах МАЕ. В отличие от аналогичных таблиц для Солнца моменты $T_м$ для Луны приведены для всех дат трехсуточного интервала разворота. Общий порядок решения этой задачи для Луны и схема решения такие же, как и для Солнца. Однако знак суточного изменения Δ_2 в таблицах не приведен, он определяется в зависимости от возрастания или убывания моментов к предыдущим или последующим суткам. Иными словами, если суточное изменение по условиям задачи (в зависимости от наименования долготы) берется, к примеру, слева, то надо отметить, увеличивается или уменьшается момент $T_м$ по направлению налево.

Для некоторых дат в таблицах вместо момента $T_м$ стоит прочерк. В таких случаях надо выбирать время восхода или захода на последующие сутки при E-х долготах или на предыдущие сутки при W-х. Если же и там стоит прочерк, задача не решается, т. е. Луна при этих условиях не восходит или не заходит. Эти правила действуют так же, когда в таблицах стоит символ □ — Луна постоянно над горизонтом или ■ — Луна невидима.

Определение времени начала и конца сумерек. После захода или перед восходом Солнце освещает из-за горизонта атмосферу и поэтому в течение какого-то времени не бывает полной темноты. Этот период называют *сумерками.*

Пример 34. 23 марта 1981 г. в $\varphi_c = 52°47{,}0'$ N; $\lambda_c = 140°32{,}0'$ W. Определить T_c восхода Луны.

Решение.

Восход Луны

23/III	$T_т$	$21^ч19^м$
	ΔT_φ	$+\ 2\ (+4^м)$
	ΔT_λ	$+25\ (+65^м$, выбрано справа, так как λ_W, знак взяли „+“, поскольку моменты вправо увеличиваются)
23/III	$T_м$	$21^ч46^м$
	$-\ \lambda_W$	9 22
24/III	$T_{гр}$	$7^ч08^м$
	$-\ №_W$	9
23/III	T_c	$22^ч08^м$

Пример 35. 11 мая 1981 г. $\varphi_c = 37°29{,}0'$ S; $\lambda_c = 52°28{,}5'$ E. Определить T_c захода Луны

Решение. На 11 мая в МАЕ вместо захода Луны стоят прочерки. Выбираем $T_т$ на последующие сутки 12/V, так как λ_E.

Заход Луны

12/V	$T_т$	$0^ч39^м$
	ΔT_φ	$-\ 10\ (-14^м)$
	ΔT_λ	$-\ 8\ (-58^м$, выбрано слева, так как λ_E знак—“—“, поскольку моменты влево уменьшаются)
12/V	$T_м$	$0^ч21^м$
	$-\ \lambda_E$	3 30
11/V	$T_{гр}$	$20^ч51^м$
	$-\ №_E$	3
11/V	T_c	$23^ч51^м$

Очевидно, что продолжительность сумерек зависит от того, как долго Солнце имеет определенное небольшое снижение под горизонтом. В мореходной астрономии принято разделять сумерки на два периода.

Гражданские сумерки — промежуток времени от видимого захода верхнего края Солнца до снижения его центра под горизонт на 6° (утром — от снижения Солнца на 6° до восхода). В этот период еще можно наблюдать и пеленговать береговые предметы. К концу гражданских сумерек (вечером) появляются, а к началу их (утром) исчезают самые яркие планеты и звезды. На практике необходимость в расчете гражданских сумерек может возникнуть, если судно находится в районе с неосвещаемым навигационным ограждением (створы, вехи, знаки).

Навигационные сумерки — промежуток времени от момента снижения центра Солнца под горизонт на 6° до момента, соответствующего снижению центра Солнца на 12° (утром — от снижения на 12° до снижения на 6°). Другими словами, вечером навигационные сумерки начинаются с концом гражданских, а утром — наоборот. В течение этого периода видна линия горизонта и могут наблюдаться главные звезды.

Навигационные сумерки рекомендуется рассчитывать для планирования и организации измерений высот звезд.

Расчет моментов начала и конца сумерек производится в принципе так же, как и расчет времени восхода или захода Солнца, однако поправка за долготу ΔT_φ не определяется и в таблицах для сумерек не даны значения суточных изменений Δ_2. Нет необходимости также учитывать разницу в моментах за счет несовпадения заданной даты со средней датой трехсуточного интервала. Иначе говоря, задача решается в любом случае для указанной в МАЕ средней даты трехсуточного интервала.

Если гражданские сумерки продолжаются всю ночь, т. е. Солнце не опускается ниже 6° под горизонт, то наблюдаются *белые ночи*, отмеченные в МАЕ знаком «///». Если же Солнце не восходит, находясь также не ниже 6° под горизонтом, наблюдаются *сумеречные дни*, обозначенные тем же знаком «///».

Надо помнить, что начало и конец сумерек в МАЕ рассчитаны для хорошей погоды, на практике же дождь, туман, дымка и другие атмосферные факторы могут ухудшить видимость и значительно изменить моменты начала и конца сумерек.

Пример 36. 30 мая 1981 г. $\varphi_c = 15°05{,}0'$ N; $\lambda_c = 133°24{,}0'$ E. Определить T_c начала утренних гражданских и конца вечерних навигационных сумерек.

Решение. В МАЕ моменты сумерек даны на 29/V, что справедливо с допустимой для этой задачи точностью и на 30/V.

Начало гражданских сумерек			**Конец навигационных сумерек**		
30/V	$T_т$	$5^ч15^м$	30/V	$T_г$	$19^ч07^м$
	ΔT_φ	$-\ 10\ (-19^м)$		ΔT_φ	$+\ 10\ (+20^м)$
30/V	$T_м$	$5^ч05^м$	30/V	$T_м$	$19^ч17^м$
—	λ_E	8 54	—	λ_E	8 54
29/V	$T_{гр}$	$20^ч11^м$	30/V	$T_{гр}$	$10^ч23^м$
	№E	9		№E	9
30/V	$T_с$	$5^ч11^м$	30/V	$T_с$	$19^ч23^м$

Некоторые дополнительные задачи, решаемые по МАЕ. На практике возникает необходимость решать некоторые более простые задачи, связанные с Луной, Солнцем и планетами (см. ниже).

Нахождение прямого восхождения планет, Луны и Солнца. Подобные задачи приходится решать для нанесения этих светил на звездный глобус, причем α достаточно знать с точностью до 0,5°.

Прямые восхождения планет даны в конце колонок координат ежедневных таблиц, рядом с моментами кульминаций $T_к$, и выбираются оттуда без интерполяции. Для Солнца и Луны эти величины находят по формуле

$$\alpha = t^{\curlyvee}_{гр} - t^{\odot,\,\mathfrak{D}}_{гр} . \qquad (34)$$

При этом для Солнца можно брать разность на $T_{гр} = 12^ч$, т. е. на середину суток, а для Луны нужно определять $T_{гр} = T_с \mp №^{E}_{W}$ и выбирать $t^{\curlyvee}_{гр}$ и $t^{\mathfrak{D}}_{гр}$ на ближайший час.

Пример 37. 1 сентября 1981 г. Найти α Марса, Луны (на $T_{гр} = 3^ч$) и Солнца.

Решение. Для Марса $\alpha = 122{,}3°$.

На $T_{гр} = 3^ч$			На $T_{гр} = 12^ч$		
	$t^{\curlyvee}_{гр}$	25°11,5′		$t^{\curlyvee}_{гр}$	160°33,7′
—	$t^{\mathfrak{D}}_{гр}$	195 37,4	—	$t^{\odot}_{гр}$	0 00,5
	$\alpha_{\mathfrak{D}}$	189°34,1′ ≈ 189,5°		$\alpha_{\odot}$	160°33,2′ ≈ 160,5°

Нахождение полудиаметров и параллаксов светил. В ежедневных таблицах в нижнем углу правой страницы разворота приводятся видимые угловые полудиаметры (R) Солнца и Луны на $T_{гр} = 0^ч$. Величины $R_{\odot}$ выбираются без интерполирования, а $R_{\mathfrak{D}}$ можно проинтерполировать на фактическое время $T_{гр}$, так как за сутки эта величина изменяется до 0,2′.

В МАЕ приводятся также значения горизонтального (наибольшего) параллакса светил p_0, т. е. величины угла, под которым виден радиус с Земли со светил солнечной системы.

Для планет эти значения даны внизу колонки координат, рядом с α, а для Луны на $T_{гр} = 0^ч$ — рядом с величинами $R_{\mathfrak{D}}$. На практике требуется определять при исправлении высот (см. главу 11) только $p_0^{\mathfrak{D}}$ и наиболее близких планет — Венеры и Марса, причем параллакс Луны вследствие быстрого его изменения интерполируется по фактическому $T_{гр}$.

Пример 38. 14 марта 1981 г. $T_с = 5^ч50^м$, $\lambda_с = 94°28{,}5′$ W. Определить $R_{\odot}$, $R_{\mathfrak{D}}$, $p_0^{♀}$ (Венеры).

Решение. $R_{\odot} = 16{,}1′$, $p^{0♀} = 0{,}1′$.

14/III	$T_с$	$5^ч50^м$
	— $№_W$	6
14/III	$T_{гр}$	$11^ч50^м \approx 12^ч$

	$T_{гр}$	$R_{\mathfrak{D}}$	$p_0^{\mathfrak{D}}$
14/III	$0^ч$	15,8′	58,0′
15/III	$0^ч$	15,6′	57,4′
14/III	$12^ч$	15,7′	57,7′

Определение возраста Луны и фаз Луны. В нижнем правом углу каждого разворота ежедневных таблиц МАЕ приведены сведения о возрасте Луны на $0^{ч}$ гринвичского времени с точностью до $0{,}1^{д}$, а также показан внешний вид (фаза) Луны для каждого трехсуточного цикла. Эти сведения можно выбрать также из таблицы «Фазы Луны» на с. 23 МАЕ.

Знание возраста Луны позволяет определять даты сизигий и квадратур в том или ином месяце года, что помогает при навигационных расчетах приливо-отливных явлений. Зная же фазу Луны, можно определить, в какие периоды месяца удобно проводить совместные наблюдения Луны и Солнца для определения места; это лучше всего делать около квадратур (см. § 14). Кроме того, знание фазы Луны дает информацию об освещенности ночи, что важно при плавании в сложных условиях (узкостях, не оборудованных маяками или огнями районах и в военном деле).

Пример 39. Определить даты сизигий и квадратур в марте 1981 г. и удобные периоды для совместных наблюдений Луны и Солнца в этом месяце.

Решение.

I сизигия (новолуние) — 5—7/III.

II сизигия (полнолуние) — 19—21/III.

I квадратура (1-я четверть) — 12—14/III.

II квадратура (последняя четверть) — 27—29/III.

Совместные наблюдения Луны и Солнца удобно производить в вечерние часы 12—14 марта и в утренние часы 27—29 марта (см. § 14).

Глава 9

Звездные наблюдения и подготовка к ним

§ 33. Звездное небо

Классификация звезд. Для удобства ориентировки на небе еще в древности видимые звезды были разделены на группы — *созвездия.* Наименования созвездий взяты такие, как они сложились исторически, — главным образом из греко-римской мифологии, например, Орион, Пегас, или по названию животных и различных предметов — Малая и Большая Медведица, Кит, Орел, Северная Корона, Компас и т. п.

В общей и звездной астрономии применяют латинские обозначения созвездий, а в мореходной — русские. Более яркие звезды обозначаются, кроме того, буквами греческого алфавита, а некоторые имеют и собственные имена. Так, в созвездии Близнецов наиболее яркие звезды: α — Кастор и β — Поллукс.

Надо учитывать, что входящие в созвездия светила объединены искусственно, так как они проектируются на небесную сферу.

В действительности же расстояния между ними различные и почти всегда очень большие.

Список звезд в МАЕ включает 159 звезд, входящих в 48 созвездий, которые называются *навигационными.*

Для характеристики видимой яркости или блеска звезд введена *звездная величина.* Наиболее слабые из видимых невооруженным глазом звезд имеют шестую величину, а самые яркие — нулевую или отрицательную. Звезда первой величины примерно в 100 раз ярче, чем звезда шестой величины. Например, звезда Полярная (α Малой Медведицы) имеет величину 2,1; Вега (α Лиры) — величину 0,1, а самая яркая звезда на небе Сириус (α Большого Пса) отрицательную величину 1,6. Для сравнения можно указать, что планета Венера в среднем имеет величину минус 3,8, Луна в полнолуние — минус 12,6, Солнце — минус 26,8.

В МАЕ в отдельном вкладыше приведена карта звездного неба, состоящая из трех частей: для звезд, имеющих δ от 30 до 90° от 30 до 90°S и от 0 до 30°N и S. Первые два участка составлены в стереографической проекции, и на них прямые восхождения α отмечены по окружности, а третий участок звезд экваториального пояса — в равнопромежуточной проекции, где величины α отложены по горизонтальной рамке. На обороте этой карты приведены русские и латинские наименования главных созвездий и названия 49 самых ярких звезд с латинскими наименованиями созвездий для удобства пользования некоторыми образцами звездных глобусов.

В таблицах МАЕ «Видимые места звезд» даны точные значения τ^* и δ навигационных звезд, средние годовые значения α и в последней колонке — звездные величины, причем все звезды расположены по мере возрастания их прямых восхождений и соответственно этому приведены порядковые номера.

Для определения места астрономическими методами в каждом данном районе и в каждый данный момент достаточно знать названия и расположение 10—15 звезд, находящихся в разных частях небесной сферы. Однако вследствие суточного движения, изменения широты судна и несоответствия среднего и звездного времени картина звездного неба меняется. Поэтому штурману очень полезно уметь ориентироваться на звездном небе и быстро определять наименования звезд. Всего достаточно знать около 40—50 звезд.

Звездное небо северных широт (рис. 44). Для отыскания созвездий и ярких звезд на схеме указаны номерами направления от исходных звезд, по которым и надо осваивать схему.

За основу при изучении северного звездного неба надо взять созвездие *Большой Медведицы* (Ursa Major), которое напоминает по очертаниям ковш с ручкой.

1. На продолжении линии, соединяющей звезды β и α Большой Медведицы, отложив примерно пять расстояний между этими звездами, найдем отдельно расположенную не очень яркую звезду — *Полярную*, или α Малой Медведицы (Ursa Minor), Полярная расположена примерно в 1° от точки P_N.

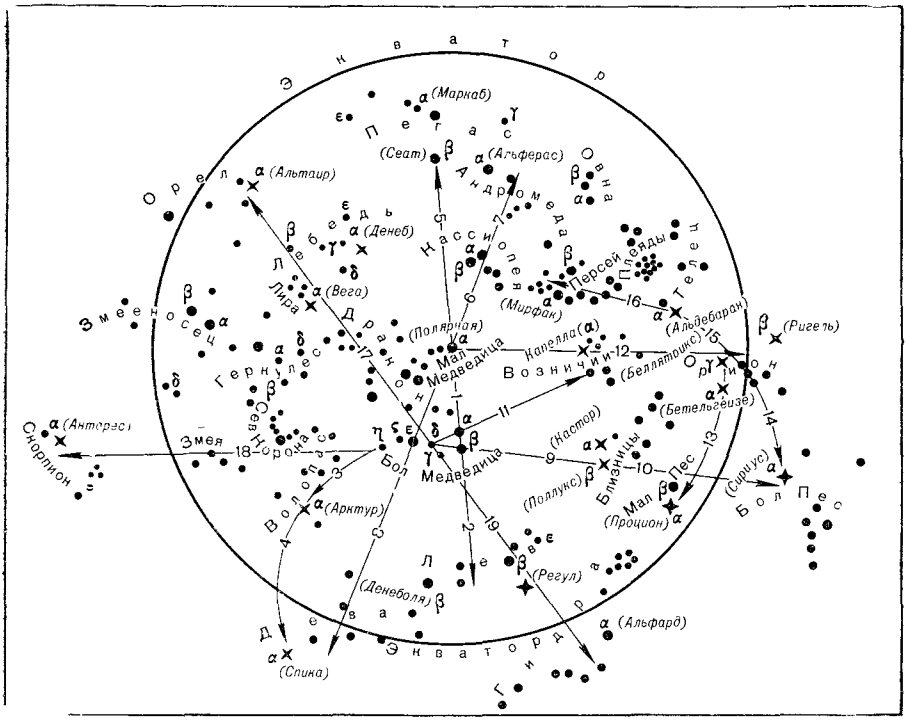


Рис. 44. Звездное небо северных широт (схема)

2. Отложив расстояние от α до β Большой Медведицы шесть раз, найдем созвездие *Льва* (Leo), яркие звезды которого имеют форму серпа. В этом созвездии α — *Регул* и β — *Денеболя*.

3. На продолжении дуги, образующей ручку ковша Большой Медведицы, в сторону звезды η обнаружим яркую звезду α *Волопаса* (Bootes), имеющую собственное имя *Арктур*. Рядом с созвездием Волопаса расположено созвездие *Северной Короны* (Corona Borealis), имеющее характерную форму подковы, в середине которой находится самая яркая звезда α — *Альфакка*.

4. Продолжив по дуге направление *3* от η Большой Медведицы за Арктур примерно на такое же расстояние, обнаружим яркую звезду *Спика*, или α *Девы* (Virgo).

5. На продолжении направления *1* от β — α Большой Медведицы за Полярную встретим созвездие *Пегаса* (Pegasus), имеющее вид большого квадрата, в вершинах которого расположены яркие звезды α — *Маркаб* и β — *Сеат*.

6. От яркой звезды ε Большой Медведицы (третья от конца ее ручки) через Полярную — созвездие *Кассиопеи* (Cassiopeia), которое имеет характерную форму растянутой буквы W. Его α — *Шедар*, β — *Кафф*.

7. На продолжении направления *6* за Кассиопею расположено созвездие *Андромеды* (Andromeda), звезда α которого *Альферас* находится в углу квадрата Пегаса, но не принадлежит ему.

8. От Полярной через ε Большой Медведицы (обратно направлению *6*) — район созвездия Девы, которое можно обнаружить и по направлению *4*.

9. По диагонали ковша Большой Медведицы δ—β примерно в четырех-пяти расстояниях между этими звездами расположено созвездие *Близнецов* (Gemini), яркие звезды которого α — *Кастор* и β — *Поллукс*.

10. Продолжая направление *9* за Поллукс еще на четыре расстояния между δ и β Большой Медведицы, обнаружим созвездие *Большого Пса* (Canis Major) с самой яркой звездой всего неба α — Сириус. Примерно на середине расстояния между Поллуксом и Сириусом находится созвездие *Малого Пса* (Canis Minor) с яркой звездой α — *Процион*.

11. Примерно в пяти—шести расстояниях между δ и α Большой Медведицы расположено созвездие *Возничего* (Auriga), α которого — очень яркая звезда *Капелла*. Ее можно опознать также по приметному вытянутому треугольнику слабых звезд поблизости.

12. На продолжении линии Полярная — Капелла находится созвездие *Орион* (Orion), хорошо видимое осенью и зимой. Его яркие звезды: α — *Бетельгейзе*, β — *Ригель*, γ — *Беллятрикс*. Это созвездие имеет форму большой трапеции, а три небольших звезды посередине называют *Поясом Ориона*, или *Три Волхва*.

13. На продолжении линии γ—α Ориона в четырех расстояниях между ними также можно найти уже упомянутый Процион.

14. Продолжение пояса Ориона покажет другим путем Сириус и созвездие Большого Пса.

15. На продолжении пояса Ориона в сторону, обратную Сириусу, на таком же расстоянии найдем красноватую звезду α *Тельца* (Taurus) — *Альдебаран*.

16. На середине расстояния между Альдебараном и Кассиопеей находится созвездие *Персея* (Perseus), его α — *Мирфак*. Созвездие Тельца и Персея также можно обнаружить по хорошо приметному звездному скоплению *Плеяды*, расположенному между ними в виде густой россыпи мелких звезд (народное название — Стожары).

17. От γ через δ Большой Медведицы в пятнадцати—шестнадцати расстояниях между ними расположено в районе Млечного Пути созвездие *Орла* (Aguila), α которого — *Альтаир*. Недалеко от этой линии, ближе к Альтаиру — яркая звезда Вега — α созвездия *Лиры* (Lyra), а по другую сторону на Млечном Пути — созвездие *Лебедя* (Cygnus) в виде летящей птицы. Звезда *Денеб* — α Лебедя. Альтаир, Вега и Денеб образуют так называемый *Треугольник больших звезд*, хорошо приметный по его расположению на Млечном Пути.

18. В направлении от η Большой Медведицы через созвездие Волопаса, мимо Северной Короны найдем созвездие *Скорпиона* (Scorpius), α которого — красноватая звезда *Антарес*.

19. По линии δ—γ Большой Медведицы, через Регул, находится растянутое длинной лентой созвездие *Гидры* (Hydra). Его единственная яркая звезда — *Альфард*.

На схеме показаны и некоторые другие созвездия, не имеющие ярких звезд, но могущие помочь в ориентировке на небе: *Геркулес* (Hercules) — между созвездиями Северной Короны и Лиры; *Овна* (Aries) со звездой α (*Хамаль*) — вблизи Андромеды; *Змея* (Serpens) — около Северной Короны по направлению к Антаресу; *Змееносец* (Ophiuchus) — между созвездиями Скорпиона и Орла; *Дракон* (Draco) — в виде длинной ленты, начинающейся между Большой и Малой Медведицами и кончающейся недалеко от Веги.

Звездное небо южных широт (рис. 45). Опознать звезды южного полушария лучше всего, беря за основу уже упомянутое созвездие Ориона и созвездие *Южного Креста* (Crus), имеющее хорошо приметную форму неправильного креста из четырех звезд, α и β которого вполне пригодны для наблюдений. Можно выделить следующие направления для изучения южного неба.

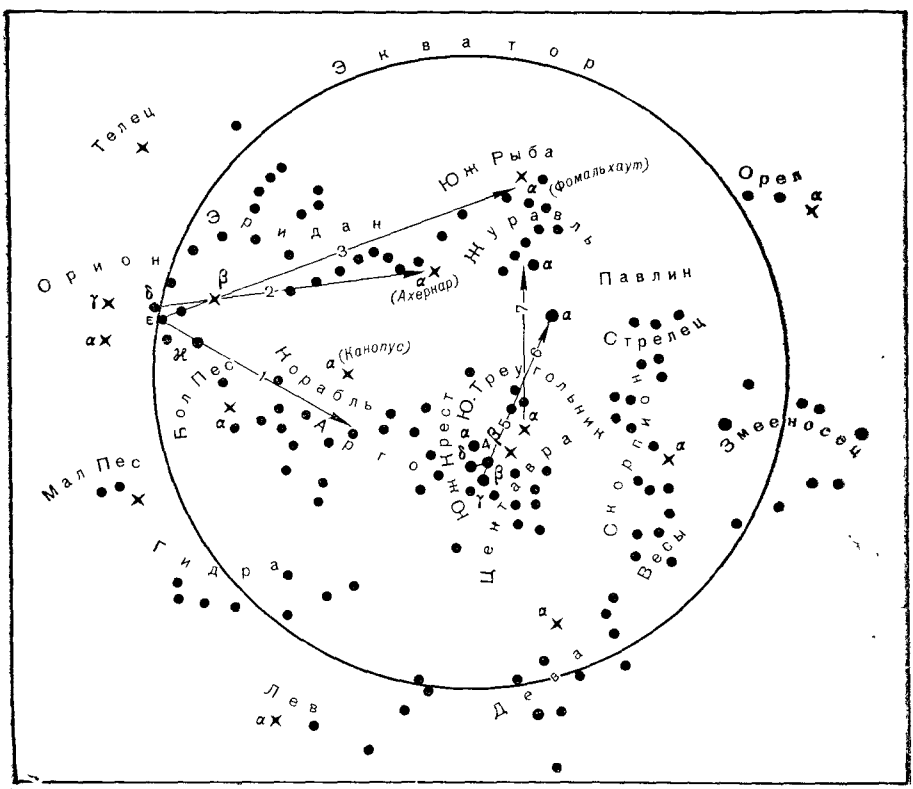


Рис. 45. Звездное небо южных широт (схема)

1. По направлению звезд ε — κ Ориона в пяти—шести расстояниях между ними находится созвездие *Арго* (Argo). Его α — звезда *Канопус*, вторая по яркости на всем небе после Сириуса. На подробных картах созвездие Арго разбито на четыре отдельных созвездия: *Киль, Корма, Компас, Парус*, причем Канопус принят как α Киля.

2. По направлению δ—β Ориона примерно в пяти расстояниях между ними находится яркая звезда *Ахернар* — α созвездия Эридана (Eridanus).

3. По направлению ε—β Ориона в шести-семи расстояниях между ними располагается яркая звезда *Фольальхаут* — α Южной Рыбы (Piscis Austrinus).

4. По направлению δ—β Южного Креста в двух расстояниях между ними расположены две яркие звезды β и α *Центавра* (Centaurus), не имеющие по МАЕ собственных названий.

5. По линии γ—β Южного Креста в пяти расстояниях между ними находится пригодная для наблюдений звезда α *Южного Треугольника* (Triangulum Australe).

6. На продолжении направления *5* за Южный Треугольник еще на пять расстояний между γ и β Южного Креста расположена звезда α *Павлина* (Pavo).

7. В направлении от α Центавра к Фомальхауту недалеко от последнего находятся две звезды средней яркости — α и β *Журавля* (Crus).

На рис. 45 показаны еще некоторые созвездия южного неба, редко используемые для наблюдений, а также несколько уже разобранных созвездий северного полушария.

§ 34. Звездный глобус и работа с ним

Устройство звездного глобуса и подготовка его к наблюдениям. Звездный глобус представляет собой модель небесной сферы и предназначен для приближенного решения некоторых задач мореходной астрономии, связанных с наблюдениями звезд и планет.

Общий вид и основные части отечественного глобуса марки «ЗГ» показаны на рис. 46.

Пустотелая сфера глобуса изготовлена из пластмассы. На нее наклеена карта звездного неба для наблюдателя, смотрящего на сферу снаружи. Поэтому изображения созвездий обратны действительным.

Сфера глобуса может вращаться вокруг двух точек, изображающих полюсы мира, причем полюс P_N определяется по расположенной рядом с ним Полярной звезде (Polaris).

Тонкими линиями от полюсов через 15° (1ч) нанесены небесные меридианы. Посередине глобуса проходит показанный двойной линией небесный экватор с делениями — градусными (арабские цифры) и часовыми (римские цифры). Эти деления служат для установки местного звездного времени S_M или прямого восхожде-

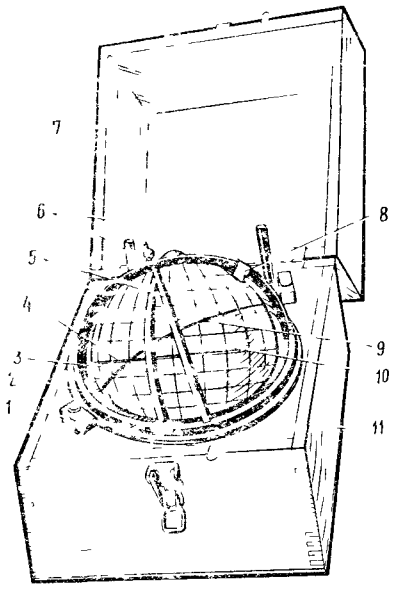


Рис. 46. Звездный глобус:

1 — зажим, *2* — горизонтальное кольцо; *3* — кольцо меридиана наблюдателя, *4* — изображение экватора; *5* — крестовина вертикалов, *6* — мягкие карандаши, *7* — крышка; *8* — индекс указатель, *9* — изображение эклиптики, *10* — сфера глобуса; *11* — ящик-футляр

ния α. Начало счета делений экватора — точка Овна, обозначенная цифрами 360° (XXIV).

Под углом 23°27′ к небесному экватору расположена эклиптика, нанесенная также двойной линией и имеющая градусные деления.

Меридианы точек экватора 360—180° (так называемый колюр равноденствий) и 270—90° (колюр солнцестояний) обозначены двойственными линиями и имеют градусные деления.

Параллельно экватору через 10° нанесены небесные параллели.

Вокруг полюсов мира сферу глобуса охватывает металлическое кольцо, изображающее меридиан наблюдателя с градусными делениями 0—90°, нанесенными от экватора к полюсам мира.

Меридиан наблюдателя вставляется в другое кольцо, имеющее вырезы, обозначенные буквами *N* и *S*, которое располагается на горизонтальной поверхности ящика и изображает истинный горизонт, разделенный в четвертном счете.

Сверху на кольцо горизонта надевается съемная металлическая крестовина вертикалов, расположенных под углом 90°, с градусными делениями от 0 до 90°, нанесенными от горизонта вверх. Точка пересечения вертикалов дает зенит наблюдателя, отмеченный сверху небольшим шариком. Для установки величины *h* на вертикалы надевается зажимной индекс

На поверхность глобуса нанесены положения около 170 наиболее ярких звезд для определенной эпохи; в течение 20—30 лет изменением координат вследствие прецессии можно пренебречь. Недалеко от точки P_N помещена табличка условных знаков, показывающих яркость звезд.

На глобусах «ЗГ» старых выпусков созвездия обозначены латинскими наименованиями, а звезды на них — буквами греческого алфавита α, β, γ и т. д. На новых моделях «ЗГ» созвездия обозначены русскими наименованиями. Для перевода латинских наименований в русские применяют таблицу МАЕ (вкладыш).

Так как планеты Луна и Солнце вследствие собственного движения изменяют свои координаты, на глобусе они не обозначены и должны наноситься мягким карандашом, имеющимся в комплекте.

Сфера глобуса удерживается в неподвижном положении трением о деревянную подушку с пружиной внутри ящика.

Положение небесной сферы со всеми светилами на ней зависит от широты места наблюдателя и момента времени. Поэтому глобус перед решением задач надо установить по широте φ_c и звездному местному времени $S_м(t_м^\curlyvee)$, а иногда — только по широте.

Установка глобуса по широте. Поворотом кольца меридиана наблюдателя устанавливают повышенный полюс над одноименной точкой горизонта на величину угла $h=\varphi$. Так как деления меридиана наблюдателя глобуса «ЗГ» нанесены от экватора, отсчет на дуге у линии горизонта должен равняться 90°—φ. Чтобы избежать ошибок при установке, надо поставить полюс на высоту, равную φ_c, ведя счет градусов от полюса, а затем проверить отсчет у горизонта, который должен равняться 90°—φ_c.

Установка глобуса по звёздному местному времени. Рассчитывают $T_{гр}=T_c \mp №_W^E$ и по МАЕ находят на этот момент $t_{гр}^\curlyvee(S_{гр})$, после чего определяют $t_м^\curlyvee=t_{гр}^\curlyvee \pm \lambda_W^E$ и округляют до 0,5°. Затем поворачивают сферу глобуса так, чтобы под серединой кольца меридиана наблюдателя на полуденной его части был отсчет шкалы экватора, равный найденному значению $t_м^\curlyvee$. Так как кольцо имеет толщину примерно в 2°, то к оцифрованному его срезу следует подводить отсчет экватора на 1° меньше рассчитанного $t_м^\curlyvee$. После установки $t_м^\curlyvee$ надо проверить, не сдвинулся ли меридиан наблюдателя и не изменилась ли установка φ.

Пример 40. Установить звездный глобус по широте и звездному времени на 15 марта 1981 г. в $T_c=5^ч20^м$; $\varphi_c=29°10{,}0'$ N; $\lambda_c=63°14{,}5'$ W.

Решение.

15/III	T_c	$5^ч20^м$
	+ $№_W$	4
15/III	$T_{гр}$	$9^ч20^м$
	$t_т^\curlyvee$	307°52,7′
	$\Delta t^\curlyvee$	5 00,8
	$t_{гр}^\curlyvee$	312°53,5′
	— λ_W	63 14,5
	$t_м^\curlyvee$	249°39,0′≈249,5°

Поднимаем северный полюс мира P_N на 29° над точкой N, проверяя затем у горизонта точный отсчет 90°—φ=61°. После этого подводим к оцифрованному срезу меридиана наблюдателя отсчет на шкале экватора 249,5°—1°=248,5°.

Нанесение на глобус планет и Луны. Поскольку навигационные планеты ввиду их собственного движения на глобусе не обозначены, приходится наносить их перед предполагаемыми наблюдениями на поверхность глобуса. Венеру рекомендуется наносить один раз в неделю, Марс — раз в две недели, Юпитер, Сатурн — один раз в месяц.

Порядок нанесения планет таков:

1. Выбирают из МАЕ значения α и δ планеты.
2. Поворачивают сферу глобуса, подводя к оцифрованному краю меридиана наблюдателя отсчет экватора, равный α планеты.
3. Откладывают по дуге меридиана наблюдателя величину δ в сторону северного или южного полюсов мира в зависимости от наименований склонения.
4. Отмечают положение планеты точкой специальным восковым или обычным мягким карандашом и ставят рядом астрономический знак данного светила.
5. Контроль: нанесенные планеты должны располагаться недалеко от эклиптики.

Для нанесения Луны надо предварительно рассчитать ее прямое восхождение, так как оно в МАЕ не приводится. Порядок работы здесь таков:

1. Выбирают из МАЕ на ближайший целый час наблюдений $T_{гр}$ величины $t^{\curlyvee}_{м}$ и $t^{☽}_{гр}$.
2. Рассчитывают $\alpha^{☽} = t^{\curlyvee}_{гр} - t^{☽}_{гр}$.
3. Наносят Луну на поверхность глобуса так же, как и планеты.

Задача нанесения Луны на практике применяется сравнительно редко.

Пример 41. 31 августа 1981 г. в $T_с = 18^ч45^м$; $\lambda_с = 13°07{,}0'$ E. Нанести на звездный глобус Юпитер и Луну.

Решение.

31/VIII	$T_с$	$18^ч45^м$
	№E	1
	$T_{гр}$	$17^ч45^м \approx 18^ч$
	$t^{\curlyvee}_{гр}$	249°49,4′
—	$t^{☽}_{гр}$	64 38,2
	$\alpha_{☽}$	185°11,2′ ≈ 185°
	$\delta_{☽}$	2°45,1′ ≈ 2,8° N

Юпитер ($♃$): $\alpha_{♃} = 190{,}8° \approx 191°$; $\delta_{♃} = 3°33{,}5' \approx 3{,}5°$ S.

Юпитер и Луна расположены вблизи эклиптики в районе созвездия Девы.

Определение названия неопознанной звезды или планеты. Если звезда наблюдалась в просветах между облаками, весьма трудно опознать ее. Необходимость опознания наблюдаемых звезд возникает также, если наблюдатель малоопытен и плохо знает звездное небо. Порядок решения задачи следующий.

1. Получив отсчет секстана ос звезды и определив по компасу ее пеленг КП, замечают T_c и снимают с карты φ_c и λ_c.

2. Рассчитав $T_{гр}=T_c \mp №^{E}_{W}$, находят с помощью МАЕ $t^{\curlyvee}_{м}=t^{\curlyvee}_{гр} \pm \lambda^{E}_{W}$.

3. Устанавливают глобус по широте и звездному местному времени.

4. Переводят КП в ИП и затем в азимут четвертного счета.

5. Устанавливают индекс вертикала на измеренную высоту — ос, а сам вертикал — на величину найденного азимута.

6. Под индексом или вблизи него находят звезду, которая обозначена на глобусе по ее месту в созвездии. В таблице «Список звезд» вкладыша МАЕ находят русское название созвездия и порядковый номер звезды. На новых глобусах «ЗГ» созвездия обозначены русскими названиями и надо только найти порядковый номер звезды в МАЕ.

7. Если под индексом не окажется звезды, то возможен промах в решении задачи или наблюдалась планета. Приближенно опознать планету можно по таблице «Видимость планет» в начале МАЕ, определив предварительно по глобусу, в районе какого созвездия находилось неопознанное светило. Для более точного решения снимают α и δ точки под индексом и в ежедневных таблицах находят планету, имеющую значения этих величин, ближайшие к снятым. Понятно, что если планеты были нанесены на глобус заранее, дополнительных действий не требуется.

Пример 42. 7 июля 1981 г. в $T_c=20^{ч}50^{м}$; $\varphi_c=14°50{,}0'$ S; $\lambda_c=131°16{,}9'$ W. Наблюдали неопознанное светило и получили: ос$=44°56'$, КП$=319°$ ($\Delta К=+2°$). Определить название светила.

Решение.

7/VII	T_c	$20^{ч}50^{м}$
	$+$	
	$№_W$	9
8/VII	$T_{гр}$	$5^{ч}50^{м}$
	$t^{\curlyvee}_{т}$	$1°03{,}8'$
	$\Delta t^{\curlyvee}$	12 32,1
	$t^{\curlyvee}_{гр}$	$13°35{,}9'$
	$-$	
	λ_W	131 16,9
	$t^{\curlyvee}_{м}$	$242°19{,}0' \approx 242{,}5°$

Установив глобус по φ_c и $t_м^{\curlyvee}$, ставим на вертикале 45°. Переведя КП и ИП, получаем $A_ч$=NW 39°. Ставим вертикал по этому азимуту и под индексом находим *α Волопаса (Арктур).

Получение высоты и пеленга светила на данное время и подбор звезд для определения места — эта задача самая важная и наиболее часто решаемая на звездном глобусе. Порядок работы.

1. Снимают с карты φ_c и λ_c на предполагаемый момент наблюдений T_c, который обычно выбирают на период навигационных сумерек, находят $T_{гр}=T_c \mp №_{W}^{E}$.

2. Рассчитывают $t_м^{\curlyvee}=t_{гр}^{\curlyvee} \pm \lambda_{W}^{E}$.

3. Устанавливают глобус по φ_c и $t_м^{\curlyvee}$.

4. Ставят крестовину так, чтобы оцифрованный край вертикала проходил через выбранное для наблюдений светило, и снимают h и A звезды или планеты.

5. Для определения места по двум светилам подбирают вторую звезду или планету у соседнего вертикала (разность азимутов примерно 90°). Соответственно для определения по трем светилам разность азимутов должна быть близкой к 120°, по четырем — к 180° в каждой паре или по 90° — между соседними звездами.

Подробно вопрос о выборе светил для определения места рассмотрен в § 58.

Пример 43. 17 мая 1981 г. в $T_c=4^ч15^м$; $\varphi_c=44°44'$ N; $\lambda_c=168°28,0'$ E Определить высоту и компасный пеленг Марса и звезды Дуббе (α Большой Медведицы) и подобрать еще две звезды для определения места ($\Delta K=-1°$).

Решение.

1. 17/V — T_c $4^ч15^м$; $№_E$ 11

16/V	$T_{гр}$	$17^ч15^м$
	$t_г^{\curlyvee}$	129°19,0
	$\Delta t^{\curlyvee}$	3 45,6
	$t_{гр}^{\curlyvee}$	133°04,6′
+	λ_E	168 28,0
	$t_м^{\curlyvee}$	301°32,6′≈301,5°

2. 16/V $T_{гр}=17^ч$, выбираем $\alpha_{♂}=43,7°$ и $\delta_{♂}$ 16°24,1′≈16,4° N.

3. Устанавливаем глобус по φ_c и t φ_c и $t_м^{\curlyvee}$ и снимаем для Марса $h\approx3°$; $A=$ =NE 70° или КП=71° (—1°); для Дуббе $h\approx22°$; $A\approx$NW 20°=340° или КП=341°(—1).

4. Подбираем еще две достаточно яркие звезды под углом, близким к 90°, к Марсу и Дуббе:

β Пегаса (Сеат) $h\approx36°$; $A\approx$SE 25°=155° или КП=156°(—1°);

α Лиры (Вега) $h\approx72°$, $A\approx$SW 80°=260° или КП=261°(—1°).

Глава 10

Секстан

§ 35. Принцип устройства навигационного секстана

Для решения большинства задач мореходной астрономии и для некоторых целей навигации требуется измерять углы между различными предметами. Так как судно почти всегда испытывает качку, на море нельзя применять береговые угломерные приборы, которые устанавливают на неподвижном горизонтальном основании. Поэтому, начиная с XVIII в., в мореплавании используют особый угломерный инструмент, основанный на законах отражения светила и позволяющий фиксировать измеряемый угол «с руки» без установки на неподвижном основании. Этот инструмент получил название *секстана* (от латинского слова sextans — шестая часть), так как имел угломерную дугу около $\frac{1}{6}$ окружности.

Принципиальная схема секстана приведена на рис. 47. Пусть требуется измерить угол между направлениями от горизонта $Г$ и от светила S, если глаз наблюдателя расположен в точке O.

Установим на пути луча $ГO$ неподвижное зеркало A, плоскость которого перпендикулярна плоскости рисунка, а зеркальная сторона обращена в сторону глаза наблюдателя. Если сделать половину поверхности этого зеркала прозрачной, то луч от горизонта свободно попадет в глаз наблюдателя (его путь обозначен одинарной стрелкой). Следовательно, наблюдатель увидит по направлению OA изображение горизонта $Г$, которое называется прямовидимым.

В точке B расположим другое зеркало, которое обращено отражающей поверхностью к светилу S и может вращаться вокруг оси, перпендикулярной плоскости рисунка. Поворачивая это зеркало, можно добиться такого его положения, когда луч от светила S (двойные стрелки), отразившись под углом β от подвижного зеркала B, затем — под углом α от неподвижного зеркала A, также

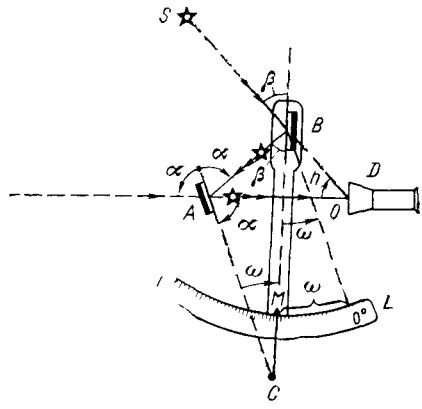


Рис. 47. Схема устройства секстана

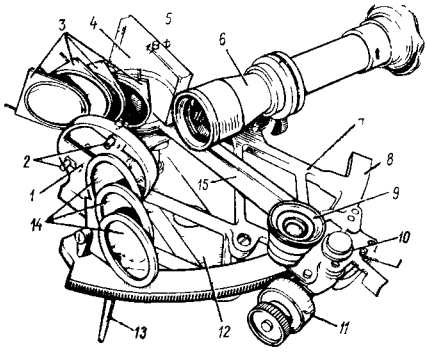


Рис. 48. Основные части секстана СНО-М:

***1* — малое зеркало; *2* — регулировочные винты малого зеркала; *3* — светофильтры большого зеркала; *4* — большое зеркало; *5* — регулировочный винт большого зеркала; *6* — труба, *7* — рама; *8* — лимб; *9* — лупа-осветитель; *10* — стопорное устройство; *11* — отсчетный барабан, *12* — рукоятка; *13* — ножка; *14* — светофильтры малого зеркала; *15* — алидада**

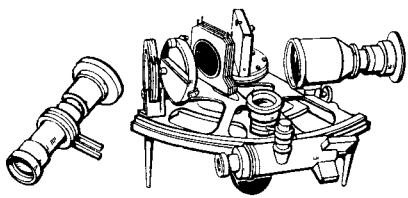


Рис. 49. Общий вид секстана СНО-Т

попадет в глаз наблюдателя. Теперь наблюдатель увидит в отражающей половине зеркала A по направлению OA дважды отраженное изображение светила S. Другими словами, изображения горизонта и светила совместятся по направлению OA. Очевидно, такое положение зеркала будет в единственном случае. При этом угол между плоскостями зеркал будет равен ω.

Можно доказать, что теперь имеет место соотношение

$$h = 2\omega. \qquad (35)$$

Значит, измеряемый угол равен двойному углу между зеркалами при условии совмещения двух изображений предметов — прямовидимого (горизонта) и дважды отраженного (светила).

Таким образом, вместо измерения угла h теперь можно измерять угол ω. Для снятия величин этого угла служит угломерная дуга, имеющая центр в точке B и названная *лимбом*. Подвижное зеркало B называется *большим* и укрепляется на линейке BM — *алидаде*, которая может вращаться вокруг точки B. В нижней части алидада имеет *индекс*, т. е. указатель M. Для удобства наблюдения производят обычно через *зрительную трубу* D. Неподвижное зеркало A называется *малым*.

Угол ω можно измерять по дуге лимба, если провести линию $B0° \parallel AC$. Тогда углы ω равны как накрест лежащие и $\smile 0°M = \omega$.

Из формулы $h = 2\omega$ понятно, что нулевое положение алидады, соответствующее $h = 0$, будет при $\omega = 0°$, т. е. при параллельном расположении зеркал. Это деление отмечено на лимбе цифрой 0° и названо *нульпунктом* делений лимба.

Влево от нулевого деления наносят полуградусные деления, обозначенные как целые градусы, что позволяет снимать по индексу M с лимба удвоенный угол ω или сразу величину измеряемого угла h. На практике это может быть высота светила, вертикальный угол или горизонтальный угол между земными предметами.

Если большое зеркало B расположится по линии BA и луч света от светила скользит по поверхности этого зеркала, попадая еще

в точку A, будет получен максимальный угол, который можно измерить секстаном $h_{max}=2\alpha$, для отечественных — секстаном СНО—М (секстан навигационный модернизированный) при $\alpha=70°$ — $h_{max}=140°$, а при $\alpha=60°$ — $h_{max}=120°$.

Общий вид секстана СНО—М и наименование его частей показаны на рис. 48, а общий вид более нового советского секстана СНО—Т (секстан навигационный, с осветителем — тропический) — на рис. 49. Секстан СНО—М имеет одну трубу, а секстан СНО—Т — две зрительные трубы для дневных и ночных наблюдений.

В комплект секстанов входят регулировочный торцевой ключ, угольники — диоптры для выверки, отвертка, темные окуляры для зрительной трубы, масленка с особым маслом, щеточка и технический формуляр.

На судах встречаются также секстаны иностранных марок: Кельвина, Хьюза, Плата, УЕВ и др. Они, как правило, лишь незначительно отличаются от советских секстанов конструкцией некоторых деталей, и поэтому освоить их на практике нетрудно.

У всех секстанов градусы измеряемого угла показываются индексом алидады; для отсчета минут угла современные секстаны имеют *отсчетный барабан* с индексом (см. рис. 48, 11), причем десятые доли минут снимают «на глаз». Некоторые образцы иностранных секстанов имеют отсчетное устройство в виде верньера — пластинки, разделенной на определенное количество делений.

Наибольшие трудности при первоначальном освоении секстана возника-

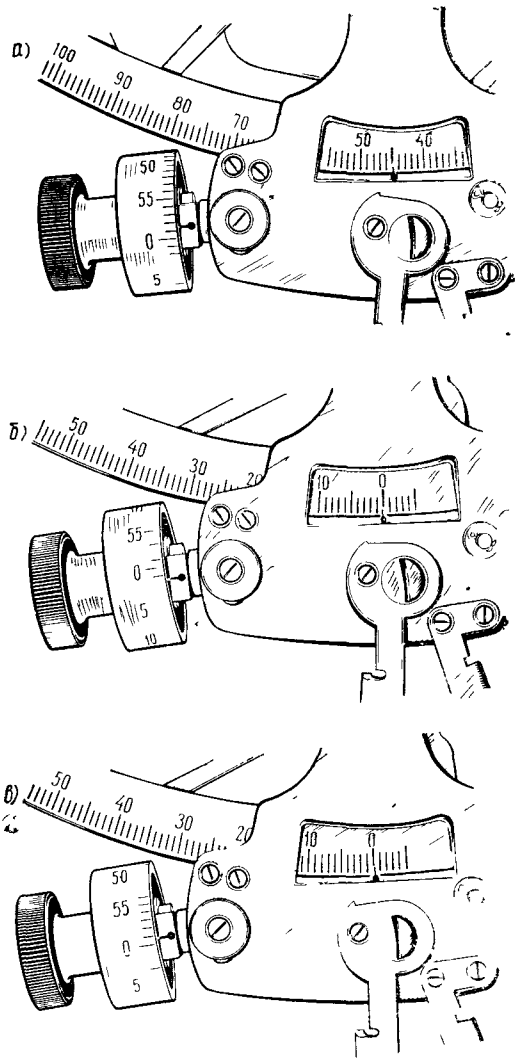


Рис. 50. Примеры отсчетов секстана

ют во взятии отсчетов, которые располагаются вблизи от целого количества градусов на лимбе и, следовательно, недалеко от нулевого деления минут на барабане.

В подобных случаях надо иметь в виду, что если индекс барабана не дошел до нуля минут, т. е. расположен выше него, значит индекс алидады не перешел еще границы предыдущего градуса. Например, на рис. 50, *а* ос=44°58,6′.

Эти особенности необходимо учитывать и при взятии отсчетов, расположенных вблизи нулевого деления лимба. Надо помнить, что деления влево от нуля лимба превышают 360°, а вправо — не доходят до 360°.

Так, на рис. 50, *б* индекс алидады расположен вблизи нуля и отсчет превышает 360°, т. е. ос=360°01,6′. На рис. 50, *в* индекс алидады не доходит до 360°, поэтому ос=359°59,3′.

Деления лимба и барабана секстанов СНО—М и СНО—Т покрыты слабо светящимся составом. Кроме того, осветитель, представляющий собой поворотную лупу с особым химическим составом внутри, дает дополнительное освещение минутного барабана после предварительного облучения светом лампы. Осветитель применяется для снятия отсчетов в темноте.

§ 36. Место нуля на лимбе и поправка индекса секстана

Нулевое деление лимба должно соответствовать параллельному расположению зеркал, при котором $\omega=0$ и $h=0$. Однако вследствие ослабления винтов, крепящих малое зеркало, постепенно отсчет алидады, соответствующий параллельности зеркал, смещается вправо или влево от нулевого деления лимба.

Отсчет на лимбе секстана, соответствующий в данный момент параллельному положению зеркал, называется *местом нуля на лимбе*. Отстояние места нуля от нульпункта вызывает погрешность, которую приходится определять практически. Для этого можно производить наблюдение одного предмета, расположенного на бесконечно большом расстоянии от наблюдателя (рис. 51). При указанном на рисунке ходе лучей от предмета или светила *S* наблюдатель увидит в трубе два совместившихся изображения предмета: прямовидимое — луч *SAO* и дважды отраженное — луч *SBAO*.

Световые лучи от бесконечно удаленного предмета распространяются параллельным пучком, значит накрест лежащие углы *2* и *1* равны. Отсюда получим: $180°-2\beta=180°-2\alpha$ или $\beta=\alpha$.

Так как равные углы α и β по отношению к плоскостям зеркал и линии *AB* тоже накрест лежащие, можно сделать вывод, что, совместив в поле зрения два изображения бесконечно удаленного предмета, мы установим зеркала строго параллельно между собой. Соответствующий отсчет секстана M_0 будет местом нуля на лимбе, от которого надо отсчитывать все измеряемые углы (точка M_0 распо-

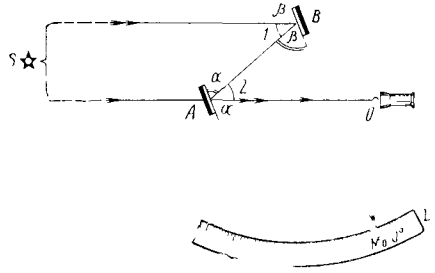


Рис 51 Наблюдение бесконечно удаленного предмета

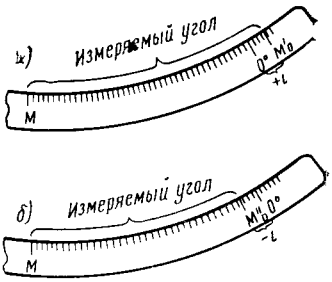


Рис 52 Поправка индекса и ее знаки при отклонении места нуля вправо (*а*) и влево (*б*)

ложена влево от нульпункта, но вообще она может находиться и в правой стороне).

Если же вместо светила наблюдать какой-либо земной предмет, расположенный не бесконечно далеко, лучи от него не параллельны и при совмещении двух изображений такого предмета зеркала также не расположатся параллельно. В этом случае положение индекса алидады, от которого надо отсчитывать измеряемый угол, лежит правее места нуля на лимбе, т. е. точки M_0. Практически для секстанов СНО все предметы, находящиеся далее 1 мили, можно рассматривать как бесконечно удаленные (светила, видимый горизонт). Случай близкого прямовидимого предмета может встретиться скорее всего в навигации при измерении углов между береговыми предметами.

Таким образом, в мореходной астрономии почти всегда имеют дело с бесконечно удаленными предметами. Разность между нульпунктом 0° и местом нуля на лимбе (см. рис. 51) называют *поправкой индекса* i, а отсчет секстана, соответствующий месту нуля на лимбе, — *отсчетом индекса* oi.

Из рис. 52 нетрудно вывести зависимость для определения величины и знака поправки индекса. Пусть 0° — нульпункт, M — какой-то отсчет измеренного угла, взятый по лимбу, M_0' — возможное отклонение места нуля вправо (рис. 52, *а*) и M_0'' — отклонение места нуля влево (рис. 52, *б*). Тогда получим значение измеряемого угла для первого случая: $\smile 0°M + \smile 0°M_0'$ и для второго: $\smile 0°M - \smile 0°M_0''$.

Таким образом, поправка индекса положительна, если индекс алидады расположен вправо от заводского нуля (см. рис. 52, *а* и 50, *в*), и отрицательна — если влево (см. рис. 52, *б* и 50, *б*).

Считая, что деление 0° равнозначно 360°, можно получить формулу для определения поправки индекса:

$$i = 360° - oi. \qquad (36)$$

Правило знаков из этого выражения вытекает алгебраически: поправка индекса имеет знак «+», если oi меньше 360°, или знак

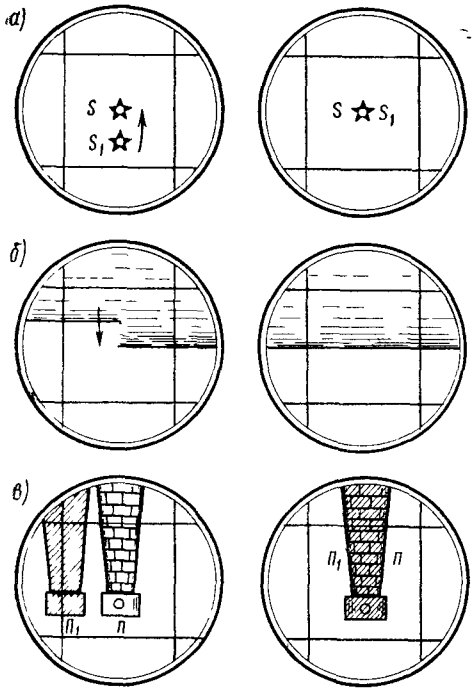


Рис 53 Определение поправки индекса по звезде (*а*), по горизонту (*б*) и по близкому предмету (*в*)

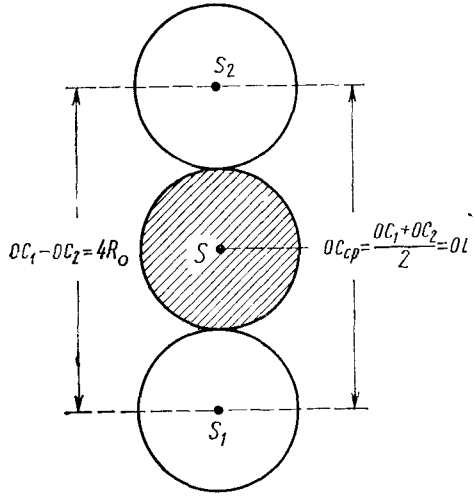


Рис 54 Определение поправки индекса по Солнцу

«—», если *oi* больше 360°. Однако во избежание путаницы полезно помнить и приведенное выше правило о расположении индекса алидады вправо или влево от нульпункта.

Так как место нуля на лимбе не остается постоянным, для каждых наблюдений с секстаном надо определять величину поправки индекса. На практике применяют несколько способов определения поправки индекса, но первоначальная подготовка к наблюдениям всегда одинакова. Для этого, установив трубу на резкость по своему глазу, а алидаду — на отсчет около 0°, требуется совместить вращением отсчетного барабана дважды отраженное и прямовидимое изображение наблюдаемого объекта, а для Солнца — его краев. После этого можно снимать отсчет индекса *oi* по лимбу, как было указано выше.

Определение поправки индекса по совмещению изображений. Этот прием наиболее прост в выполнении. В период сумерек совмещают, вращая отсчетный барабан, дважды отраженное изображение звезды S_1 с прямовидимым S (рис. 53, *а*), затем снимают отсчет индекса и определяют $\iota = 360° - oi$. Днем ту же операцию можно проделать по двум изображениям линии видимого горизонта (рис. 53, *б*). Если измеряется угол между предметами, из которых хотя бы один расположен ближе 1 мили, поправку

индекса определяют совмещением двух изображений $П_{\perp}$ и $П$ близкого предмета (рис. 53, *в*). В этом случае совмещать надо наиболее отчетливо видимую линию на предмете, причем секстан держат вертикально, если эта линия горизонтальна, и наоборот. На рис. 53, *в* показано определение i при горизонтальном положении секстана.

Способы определения поправки индекса по линии горизонта или по близкому предмету менее точны, чем по светилам

Пример 44. Получили по наблюдениям звезды $oi = 360°02,4'$ Определить i.
Решение

$$i = 360° - 360°02,4' = -2,4'$$

Определение поправки индекса по наблюдениям Солнца и контроль наблюдений (рис. 54). Совместить видимые диски Солнца с достаточной точностью очень трудно. Поэтому в данном случае добиваются поочередного касания противоположных краев изображений Солнца. Порядок работы таков:

перед большим и малым зеркалами накидывают светофильтры разных оттенков, предварительно наведя трубу на резкость;

устанавливают алидаду около нулевого деления лимба и наводят трубу на Солнце;

слегка покачивая секстан вокруг оси трубы, добиваются касания краев дважды отраженного S_1 и прямовидимого S изображений, снимая затем по лимбу oc_2;

рассчитывают разность большего и меньшего отсчетов $oc_1 - oc_2 = 4R_{\odot}$ и сравнивают ее с выбранным из МАЕ и умноженным на четыре значением $(4R_{\odot})$; если разница превышает $\pm 0',4$, наблюдения повторяются;

находят $oc_{ср} = \frac{oc_1 + oc_2}{2} = oi$ и определяют $i = 360° - oi$.

Этот способ наиболее точен, так как дает возможность контроля. Однако требуется определенный навык для правильного совмещения изображений Солнца краями.

Пример 45. 9 марта 1981 г. Для определения поправки индекса по Солнцу получили $oc_1 = 360°34,3'$ и $oc_2 = 359°29,7'$. Определить i с контролем
Контроль
$4R_{\odot} = oc_1 - oc_2 = 1°04,6' = 64,6'$. По МАЕ $4R_{\odot} = 64,4'$. Наблюдения удовлетворительные
Решение.

$$i = 360° - \frac{720°04,0'}{2} = 360° - 360°02,0' = -2,0'.$$

Пример 46. 21 июня 1981 г. Получили $oc_1 = 359°15,6'$ и $oc_2 = 360°19,6'$. Определить i с контролем
Контроль

$4R_{\odot} = 1°04,3' = 64,3'$. По МАЕ $4R_{\odot} = 15,8' \times 4 = 63,2'$. Разница достигает 1,1'. Наблюдения надо повторить.

§ 37. Другие погрешности секстана, их учет и устранение. Обращение с секстаном

Инструментальные погрешности секстана и их учет. В процессе изготовления деталей секстана и его окончательной сборки возникают погрешности, которые исследуются при лабораторных испытаниях.

Эксцентриситет алидады — это несовпадение действительной оси вращения алидады с теоретическим центром дуги лимба. Эксцентриситет вызывает ошибки в величинах, измеренных секстаном углов. У секстанов СНО-Т эта погрешность незначительна.

Ошибки нарезки зубчатой рейки возникают за счет погрешностей в нарезке градусных делений зубчатой рейки лимба на заводе, а также появляются в процессе длительной эксплуатации от износа и повреждений. У секстанов СНО-М выпуска до 1965 г. эти ошибки могут достигать 1—1,5′. Секстаны марки VEB (ГДР), имеющиеся на некоторых судах, и новые инструменты СНО-Т обладают меньшими ошибками от нарезки зубчатой рейки.

Ошибки от призматичности большого зеркала появляются за счет некоторой непараллельности граней (плоскостей) зеркала, которая приводит к нарушению хода световых лучей. Обычно эта ошибка не превышает 0,1′.

Кроме того, встречаются ошибки от *клиновидности (непараллельности граней) светофильтров, от нарезки и положения тангенциального винта и мертвый ход отсчетного барабана,* который проявляется при вращении барабана в различных направлениях — вправо и влево.

Совместная ошибка от эксцентриситета, нарезки зубчатой рейки и призматичности большого зеркала компенсируется поправкой, приводимой в таблице «Поправки отсчетов» технического формуляра секстана (рис. 55). Эта величина называется *инструментальной поправкой секстана* (s) и выбирается из таблицы в зависимости от измеренного угла. На практике она обычно объединяется с поправкой индекса ($i+s$).

Пример 47. Определить s, если $oc = 64°58{,}3'$ (см. рис. 55).
Решение. Интерполируем между поправками на 60° (—0,4′) и на 70° (—0,5′). Получаем $s = -0{,}5'$.

У секстана СНО-Т за счет более удачной конструкции и лучшего качества изготовления ошибки от нарезки зубчатой рейки, от мертвого хода барабана и некоторых других факторов меньше по величине, чем у секстана СНО-М.

Надо отметить, что многие инструментальные погрешности секстанов СНО-М сильно изменяются в процессе эксплуатации, поэтому через три года после получения инструмент при частом его употреблении следует сдавать на проверку или обменивать в навигационной камере на новый. Некоторые иностранные секстаны по аттестату имеют $s = 0$. Однако и у них с течением времени могут появиться инструментальные ошибки, поэтому их тоже надо сдавать на проверку каждые три года.

§ 4. Заводские лабораторные испытания прибора

Поправки отсчетов

0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100	110°	120	Р	2Е	Подпись
0	-0'12	-0'22	-0'30	-0'38	-0'43	-0'48	-0'52	-0'53	-0'53	-0'52	-0'48	-0'43	132°	124°	Подпись

Прибор проверен по действующей технической документации и признан годным к эксплуатации

Представитель заказчика _____ (_____)

Представитель завода изготовителя _____ (Прохоров)

„22" марта 1982 г

Рис 55 Поправки отсчетов секстана (инструментальная погрешность)

Погрешности секстана, устраняемые на судне. В процессе эксплуатации секстана нарушаются положения некоторых его деталей, которые периодически определяются и устраняются на судне.

Устранение неперпендикулярности большого зеркала плоскости лимба. Сняв трубу, устанавливают секстан горизонтально. Алидаду ставят на отсчет 40° и на лимб помещают два диоптра *1* и *2* — один на отсчет 5—10°, второй на отсчет 120—130°. Располагая глаз *Г* в расстоянии 30—40 см (рис. 56), наблюдают в большом зеркале отраженное изображение правого диоптра *2* и непосредственно рядом с краем зеркала — прямовидимое изображение левого диоптра *1*. Передвигая глаз, или правый диоптр, добиваются совмещения изображений двух диоптров. При наличии излома их верхних срезов поворачивают торцевым ключом *5* регулировочный винт *6* до совпадения верхних срезов.

Более грубо эту погрешность можно обнаружить и устранить, держа секстан в руках и наблюдая у правого края большого зеркала изображение внутренней кромки лимба. В случае обнаружения заметного излома производят показанную выше точную проверку и устраняют излом изображений, т. е. выводят погрешность.

Устранение неперпендикулярности малого зеркала плоскости лимба (рис 57) Эту операцию производят после установки большого зеркала. Алидаду ставят на отсчет, близкий к 0°, и трубу наводят на неяркую звезду или Солнце (для него предварительно надо накинуть светофильтры). Если дважды отраженное изображение S_1 или S_2 не располагается на одной вертикали с прямовидимым S, то вращением отсчетного барабана устанавливают их ря-

дом по горизонтали $S_1'—S—S_2'$ и, поворачивая ключом боковой регулировочный винт малого зеркала *4* (см. рис. 56), смещают дважды отраженное изображение вправо (S_1') или влево (S_2') до совпадения по вертикали с прямовидимым. При этом дважды отраженное изображение может переместиться несколько выше или ниже прямовидимого, т. е. изменится поправка индекса, которую надо определить заново.

Уменьшение поправки индекса секстана (рис. 58). В принципе величина поправки индекса не имеет значения, важно лишь знать ее для учета. Однако для вычислений удобнее, чтобы она не превышала 6—7′.

Для уменьшения величины надо установить индекс алидады на 0°, а индекс барабана — на 0′ и навести трубу на бесконечно удаленный предмет. Прямовидимое S и дважды отраженное S_1 изображения будут не совпадать по горизонтали. Вращая с помощью торцевого ключа верхний винт зеркала *3* (см. рис. 56), надо переместить дважды отраженное изображение на одну горизонталь с прямовидимым, т. е. в положение S_1' (см. рис. 58). После этого надо обязательно устранить неперпендикулярность малого зеркала, действуя другим винтом *4* (см. рис. 56) на этом зеркале и перемещая изображения по горизонтали — вправо или влево, как указано выше.

Обращение с секстаном. Навигационный секстан — точный, тщательно изготовленный инструмент, поэтому надо твердо знать правила обращения с ним.

Секстан хранят в закрытом ящике, он требует бережного отношения и хорошего ухода. Прибор надо оберегать от толчков и ударов, от влияния сырости и резких изменений температуры.

Разрешается брать секстан только за раму и ручку. Нельзя трогать пальцами оптические детали — зеркала, линзы, светофильтры.

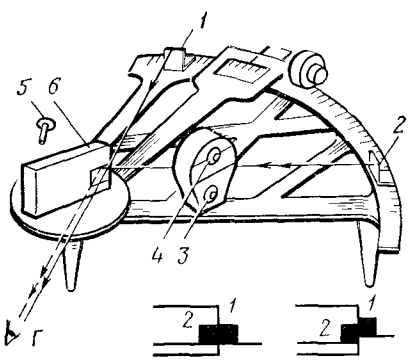


Рис. 56. Устранение неперпендикулярности большого зеркала секстана плоскости лимба

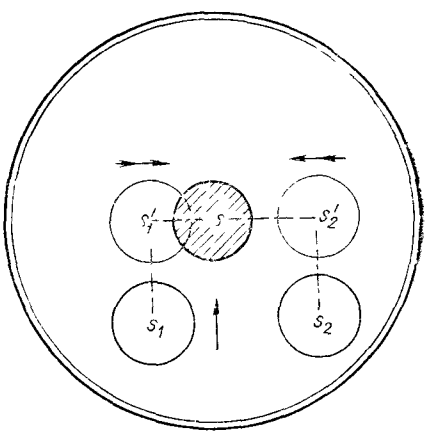


Рис. 57. Устранение неперпендикулярности малого зеркала плоскости лимба

В случае попадания на стеклянные части секстана капель дождя, брызг или при отпотевании осторожно протирают их чистой фланелевой тряпочкой, которая предусмотрена в комплекте секстана.

Зубчатую рейку периодически очищают жесткой волосяной щеткой и смазывают особым маслом (щетка и масленка также входят в комплект секстана).

Секстан можно ставить только на ножки, обеспечивая его устойчивость, что особенно важно во время качки.

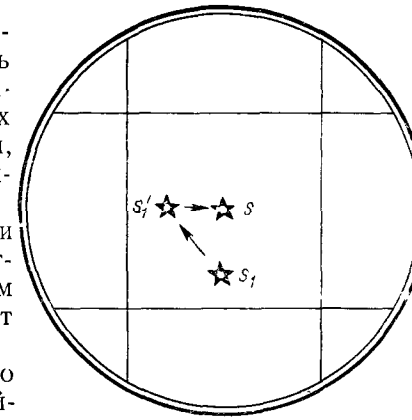


Рис. 58 Уменьшение поправки индекса

Перед укладкой прибора в ящик следует поставить в крайнее нижнее положение светофильтры, уложить трубу в гнездо и установить алидаду на отсчет около 120°. При укладке секстан надо держать за укосины рамы, причем необходимо следить, чтобы ножки и рукоятки попали в соответствующие отверстия.

Закрывая крышку ящика секстана, нельзя прилагать усилий: при правильно уложенном секстане крышка должна закрываться свободно.

Если секстан получил механические повреждения, самостоятельно устранять их не разрешается.

При получении нового секстана надо предварительно произвести тщательный внешний осмотр прибора, проверить свободный ход всех частей и принадлежностей.

Если существует возможность выбора, желательно получить секстан с небольшой поправкой s.

§ 38. Измерение углов и высот секстаном

Измерение углов между земными предметами. Эту операцию производят при определении места в навигации по двумя углам или по пеленгу и углу.

Для измерения горизонтального угла секстан берут в левую руку и располагают лимбом в плоскости измеряемого угла. Трубу секстана наводят на более слабо видимый предмет, положим, на левый. Затем, освободив стопор, перемещают алидаду, пока в поле зрения не появится изображение правого предмета, и вращением отсчетного барабана точно совмещают прямовидимый (левый) и дважды отраженный (правый) предметы.

Если хуже виден правый предмет, можно расположить секстан в левой руке вниз зеркалами и направить трубу на правый предмет. Далее подводят к правому предмету изображение левого.

Для измерения вертикального угла направляют секстан на основание предмета, располагая лимб вертикально, и, двигая алидаду, подводят к основанию дважды отраженное изображение верхней части предмета. Обычно в таких случаях наблюдаемыми объектами служат маяки, знаки, отдельные высокие сооружения, горы.

При измерении углов между земными предметами можно вообще не пользоваться зрительной трубой, тогда на прямовидимый предмет наводят малое зеркало.

Поправку индекса при наблюдениях близких земных предметов надо определять также по близкому прямовидимому предмету.

Измерение высот Солнца. Обычно измеряют высоту нижнего края Солнца (⊙) над линией видимого горизонта. Для этого секстан предварительно готовят к наблюдениям: устанавливают астрономическую трубу на резкость по своему глазу, проверяют, если необходимо, положение зеркал, определяют поправку индекса (это можно сделать и после наблюдений).

После определения i светофильтры перед большим зеркалом оставляют, а перед малым обычно убирают, но можно и здесь оставить слабый фильтр, если горизонт слишком ярок или на нем имеются световые блики от Солнца.

Для грубого приведения изображения Солнца к горизонту применяют несколько способов:

при нулевом отсчете алидады наводят трубу на горизонт, располагая секстан примерно в вертикале Солнца, затем медленно передвигают левой рукой алидаду вперед, плавно покачивая секстан вокруг оси трубы, чтобы увеличить охват небосвода через большое зеркало, и прекращают движение алидады, когда Солнце появится в поле зрения трубы, около горизонта;

накинув перед обоими зеркалами густые светофильтры, как при определении i, устанавливают алидаду на 0° и направляют трубу на Солнце. Медленно опускают трубу, двигая одновременно вперед алидаду, чтобы дважды отраженное изображение Солнца оставалось все время в поле зрения трубы. Когда труба достигает линии горизонта, убирают светофильтр перед малым зеркалом;

установив на лимбе отсчет, равный приблизительно высоте Солнца (определяется на глаз), наводят трубу на горизонт в вертикале Солнца и, покачивая секстан и слегка двигая трубу влево и вправо, находят изображение Солнца.

Приведя изображение Солнца грубо к горизонту, надо получить точное значение высоты, т. е. совместить изображение края Солнца и горизонта.

Наиболее удобным при измерении высот Солнца является «метод ожидания» на заранее установленном отсчете секстана.

До полудня, т. е. ранее момента верхней кульминации, диск Солнца вращением отсчетного барабана слегка надвигают на линию горизонта — «утапливают в море», как изображено на рис. 59, *а* пунктиром. После полудня, т. е. позднее момента кульминации, диск Солнца немного не доводят до линии горизонта (пунк-

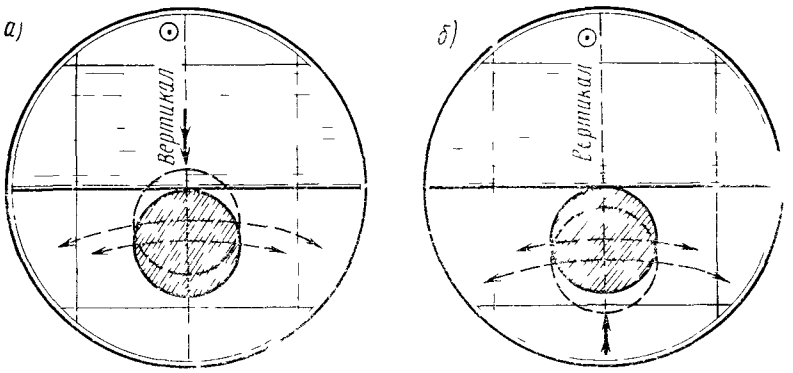


Рис. 59. Измерение высот Солнца до полудня (*а*) и после полудня (*б*)

тир на рис. 59, *б*). При этом всегда надо вращать барабан в сторону увеличения отсчетов.

Затем, не трогая барабан и продолжая покачивать секстан вокруг оси трубы, дожидаются, когда изображение Солнца коснется линии горизонта (заштрихованный диск на рис. 59, *а* и *б*), и в этот момент замечают показание хронометра или часов. Диск Солнца будет до полудня «выходить из воды», а после полудня — «идти в воду» (двойные стрелки на рис. 59, *а* и *б*).

Для повышения точности путем вывода среднего значения надо для каждого наблюдения измерять три—пять высот Солнца, замечая моменты хронометра

Моменты измерения высот можно замечать по-разному (см. § 29). Если наблюдатель работает с помощником, то перед касанием края Солнца горизонта подастся команда «товсь!», а в момент касания — команда «ноль» — для взятия $T_{хр}$ или $T_{ч}$.

При работе одного наблюдателя применяют способ счета секунд на слух или нажимают кнопку секундомера в момент касания Солнца края горизонта с последующим определением $T_{хр}$ в рубке (см. § 29).

Некоторые штурманы на практике не применяют метод ожидания, подводя край диска Солнца к горизонту и одновременно замечая момент по секундомеру или по хронометру (по команде помощнику). Однако прием ожидания в общем дает более точные результаты.

При измерении высот Солнца и других светил надо стремиться располагать светило в момент касания горизонта в центре поля зрения трубы.

Работая с секстаном СНО—Т, можно применять ночную трубу, так как она дает более удобное прямое изображение.

Измерение высот Луны. Высоты Луны рекомендуется измерять днем или в сумерки, так как ночью под Луной образуется ложный

горизонт и виде темных и светлых полос. Днем Луну лучше наблюдать совместно с Солнцем около квадратур ($В_{\mathfrak{D}}$ приблизительно равен 6—9 или 21—24 сут).

Дневные измерения высот Луны в принципе производят так же, как для Солнца. Нет только необходимости применять светофильтры, и к горизонту приводят тот край Луны, который лучше виден при данной фазе Луны и в данной широте.

При сумеречных наблюдениях Луны иногда полезно накинуть слабые светофильтры, чтобы плохо видимый горизонт не терялся в ярких лучах Луны.

Измерение высот звезд и планет. Наблюдения звезд обычно производят в период навигационных сумерек. Можно измерять высоты светил и в лунные ночи, причем в таких случаях надо подбирать светила, не слишком близкие к Луне по азимуту, остерегаясь «ложного горизонта».

Лучше применять ночную трубу, если она имеется в комплекте секстана. Поле зрения такой трубы в 1,5—2 раза шире, чем у дневной, видимость горизонта улучшается, и легче найти звезду на небе.

Применяются три способа измерения высот звезд.

1. Установив алидаду на 0°, направляют трубу на звезду и, двигая алидаду вперед и опуская трубу, подводят изображение звезды к горизонту. Этот прием удобно применять, когда звезды хорошо видны невооруженным глазом, — в конце вечерних или в начале утренних сумерек.

2. Алидаду устанавливают на отсчет лимба, равный приближенной высоте звезды, полученной по звездному глобусу. Секстан располагают с помощью пеленгатора компаса по примерному азимуту звезды, также определяемому по глобусу. Покачивая и слегка перемещая секстан по горизонту, находят изображение звезды. Этот способ можно особенно рекомендовать, так как он позволяет измерять высоты при лучшей видимости горизонта, когда небосвод светлый. К тому же он позволяет увеличить период наблюдений, что особо важно в низких широтах, где сумерки короткие.

3. Устанавливают алидаду на 0°, берут секстан в левую руку, перевернув вверх лимбом, и направляют трубу на звезду. Затем, двигая алидаду, подводят горизонт к изображению звезды и, вернув секстан в прямое положение, заканчивают измерения обычным порядком. Этот прием рекомендуется для слабых звезд, которые легко спутать с соседними.

Метод ожидания для звезд не применяют, и после приблизительного подведения изображения звезды к горизонту сразу добиваются точного их совмещения, действуя отсчетным барабаном.

Получение средних значений ос и $T_{хр}$ из серии трех—пяти высот для звезд особенно важно, поэтому производить сумеречные наблюдения в одиночку очень трудно; рекомендуется всегда привлекать второго наблюдателя. Надо отметить, что вообще измерения высот звезд и планет представляют весьма сложную операцию, требующую навыков и сноровки.

Особенности измерения меридиональных (наибольших) высот. Теоретически точное значение меридиональной высоты светила, т. е. высоты в момент кульминации, может быть получено, если наблюдатель не двигается и светило не меняет склонения.

В действительности, вследствие перемещения судна и изменения склонения светила, измеряют обычно так называемую наибольшую высоту, которая на ходу судна бывает до или после кульминации.

Однако в практике судовождения часто пренебрегают этим различием, принимая наибольшую высоту за меридиональную, или же учитывают разность между ними в виде особой поправки из мореходных таблиц.

Рекомендуются два способа измерения меридиональной, т. е. наибольшей, высоты.

1. Рассчитывают T_c кульминации светила и за 3—5 мин до этого момента начинают непрерывно измерять высоты, подводя изображение светила к горизонту и замечая сразу отсчет секстана и момент по хронометру, т. е. не применяя метод ожидания. Для верхней кульминации получаемые высоты будут сначала возрастать, а затем убывать, для нижней кульминации — наоборот. Максимальный из отсчетов секстана принимают за отсчет меридиональной высоты.

2. Начав наблюдения за несколько минут до кульминации, приводят изображение светила к линии горизонта и, вращая отсчетный барабан в одну и ту же сторону и покачивая секстан, непрерывно поддерживают соприкосновение светила и горизонта. Как только будет замечено движение светила в обратную сторону, прекращают вращение барабана и снимают отсчет секстана. Этот прием удобен в тропиках при больших высотах Солнца.

Первый способ значительно проще по выполнению и не столь утомителен.

На практике наиболее часто приходится измерять меридиональную высоту Солнца в момент верхней кульминации, гораздо реже — его высоту для нижней кульминации (в период полярного дня).

Практические рекомендации по выбору мест наблюдений при измерении высот. Для повышения точности измерений высот и сокращения времени наблюдений важно правильно выбрать место, с которого наблюдают светила:

место наблюдений должно быть по возможности защищено от сильного ветра, брызг и меньше подвергаться вибрации корпуса;

поблизости не должно быть теплых потоков воздуха от труб, машинных шахт и т. п.;

мешающее наблюдениям освещение необходимо отключить;

при хорошей видимости горизонта наблюдения лучше производить с более высокого места — с верхнего мостика, при плохом горизонте (туман, дымка) место наблюдений лучше располагать по возможности ниже, при этом горизонт приблизится и его видимость улучшится;

при сильной качке желательно располагаться ближе к диаметральной плоскости судна, предусмотрев какую-либо опору для спины.

При наблюдениях нескольких светил, возможно, придется изменять свое местоположение.

Глава 11

Исправление измеренных высот

§ 39. Астрономическая и земная рефракция

Высота светила как сферическая координата — это угол между плоскостью истинного горизонта и направлением на светило, принимаемое за геометрическую точку. Однако в действительности путь световых лучей в атмосфере не бывает строго прямолинейным, высоты измеряют над видимым горизонтом из различных точек над поверхностью, а для Солнца и Луны, кроме того, измеряют высоту какого-либо края видимого диска.

Для исключения действия указанных причин на результат и для получения верной высоты в измеренную высоту вводят поправки. Эта операция называется исправлением высот светил.

Астрономическая рефракция. Проходя через земную атмосферу, лучи света изменяют прямолинейное направление. Вследствие увеличения плотности атмосферы преломление световых лучей усиливается по мере приближения к поверхности Земли. В результате наблюдатель видит небесные светила как бы приподнятыми над горизонтом на угол, получивший название *астрономической рефракции* ρ.

На рис. 60 в точке A расположен глаз наблюдателя, линия НАН — его истинный горизонт. Пришедшие от бесконечно удаленного светила параллельные лучи света входят в земную атмосферу и преломляются. Наблюдатель видит светило не по истинному направлению AS_1, а по линии AS_2, касательной к траектории луча в точке A. Атмосфера условно представлена в виде концентрических слоев, плотность. которых убывает по мере удаления от поверхности Земли.

Из рис. 60 видно, что $h = h' - \rho$ (37), т. е. истинная высота меньше измеренной, и, следовательно; астрономическая рефракция всегда вычитается из измеренной высоты.

Величина рефракции зависит от многих факторов и может изменяться в каждом месте на Земле даже в течение суток. Для средних условий получена приближенная формула рефракции

$$\rho^{(1)} = 1{,}00' \operatorname{ctg} h. \qquad (38)$$

Приведенная формула показывает, что вообще рефракция ρ уменьшается при увеличении высоты. Однако, как показали исследования, это выражение неприменимо для малых высот — меньших 10°. Например, на горизонте рефракция в среднем равна 35′, а не бесконечности, как получается по формуле.

Значения поправки высоты за рефракцию Δh_ρ, вычисленные по более точным формулам, приводятся в табл. 9-а МТ—75, откуда можно выбрать поправку по аргументу — видимая высота $h_в$ при температуре воздуха $t = +10°C$ и атмосферном давлении $B = 760$ мм. При других значениях температуры и давления надо вводить поправки к высоте Δh_t и Δh_B, которые учитываются для всех светил при высотах менее 50 и даются в табл. 14-а и 14-б МТ—75.

Лучи света при малых высотах значительную часть своего пути проходят вблизи поверхности Земли, где часты большие колебания температуры и давления, а значит и плотности воздуха. Поэтому рекомендуется на практике избегать измерений высот менее 3°.

Пример 48. $h_в = 37°58{,}5'$. Найти Δh_ρ.

Решение. Выбираем из табл. 9-а МТ—75 между ближайшими табличными значениями $h_в$ и находим $\Delta h_\rho = -1{,}2'$.

Земная рефракция. В мореходной астрономии и навигации приходится иметь дело также с земной рефракцией, возникающей вследствие преломления световых лучей, идущих от предметов, находящихся в пределах земной атмосферы.

На рис. 61 наблюдатель A видит предмет B по направлению AB_1, так как действует земная рефракция ρ_1, а наблюдатель B видит предмет A по направлению BA_1 из-за рефракции ρ_2. Обычно считают $\rho_1 = \rho_2 = \rho$.

Величину земной рефракции подсчитывают по приближенной формуле

$$\rho = \frac{1}{2} KC, \tag{39}$$

где K — коэффициент земной рефракции, зависящий главным образом от оптической плотности воздуха в нижних слоях атмосферы, а также от других факторов;

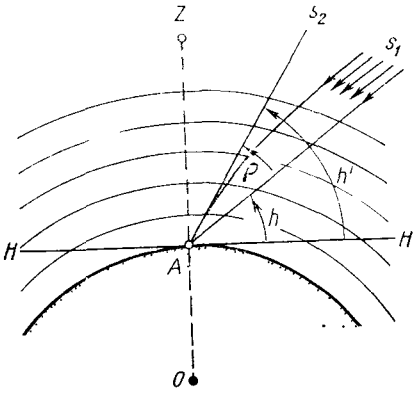


Рис. 60. Астрономическая рефракция

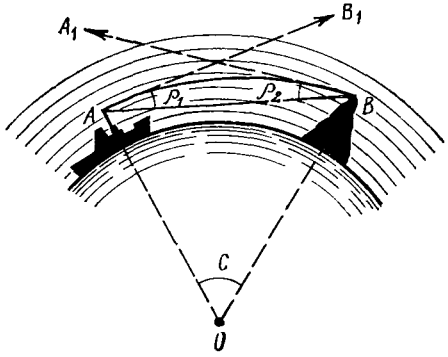


Рис. 61. Земная рефракция

C — угол между направлениями из центра Земли в точки A и B, соответствующая дуга которого AB равна расстоянию между этими точками в милях

Для морских условий среднее значение $K=0{,}16$ и может колебаться в течение суток.

Земная рефракция самостоятельно не учитывается, но оказывает большое влияние на величину наклонения.

§ 40. Наклонение видимого горизонта и наклонение зрительного луча. Понятие о наклономерах

Наклонение видимого горизонта. Высоты светил в море измеряют над линией видимого горизонта. Видимый горизонт представляет собой проекцию водной поверхности на небесный свод, т. е. малый круг BB, описанный на поверхности моря лучом зрения AB от горизонта к глазу наблюдателя (рис. 62).

Возвышение глаза над уровнем моря в метрах обозначается буквой e.

Угол между плоскостью истинного горизонта и направлением на видимый горизонт называют *наклонением видимого горизонта* (d).

Для получения высоты над истинным горизонтом наклонение видимого горизонта надо вычесть из измеренной высоты:

$$h_в = h' - d \qquad (40)$$

Измеренная высота, исправленная величиной d, называется *видимой высотой* $h_в$. При увеличении высоты глаза наблюдателя наклонение видимого горизонта также увеличивается, а при $e=0$ имеем $d=0$, так как видимый горизонт совпадает с истинным.

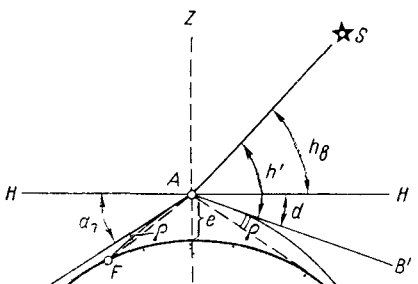


Рис 62 Наклонение видимого горизонта и зрительного луча

Величина d зависит также от земной рефракции ρ, которая часто непостоянна. Для среднего значения радиуса Земли и коэффициента $K=0{,}16$ получено выражение для наклонения видимого горизонта (в дуговых минутах):

$$d = 1{,}7603\sqrt{e}. \qquad (41)$$

По этой формуле рассчитана табл. 11-а МТ—75, откуда d выбирается по аргументу e.

Пример 49. Найти d, если $e=11{,}5$ м.

Решение Из табл 11-а МТ—75 между ближайшими табличными значениями находим $d=-6{,}0'$.

Наклонение зрительного луча. Если луч зрения направлен на точку, расположенную ближе линии видимого горизонта (точка F на рис. 62), то угол, получаемый между плоскостью истинного горизонта и касательной к зрительному лучу, называют *наклонением зрительного луча* ($d_п$). Эта величина зависит от двух аргументов: высоты глаза наблюдателя e и расстояния $D_п'(AF)$ до точки F (предмета). Значения наклонения зрительного луча $d_п$ для различных величин e и $D_п'$ приведены в табл. 11-б МТ—75, которая вычислена по формуле

$$d_п^{(')} = 0{,}04136\, D_п' + 18{,}562 \frac{e}{D_п'}, \qquad (42)$$

где e — в метрах, а $D_п'$ — в кабельтовых.

Наклонение видимого горизонта фактически представляет частный случай наклонения зрительного луча, когда точка F удалена на предельное расстояние, равное дальности видимого горизонта $D = D_п'$, получаем минимальное $d_п = d$.

В мореходной астрономии практически почти всегда приходится измерять высоты над видимым горизонтом и исправлять их наклонением видимого горизонта. Длительные исследования показали, что различные гидрометеорологические причины могут вызвать большие отклонения действительных значений d от найденных по таблицам. В современных условиях возможные ошибки в наклонении являются главной причиной того, что по точности астрономические определения уступают навигационным, несмотря на довольно высокую точность применяемых в мореходной астрономии приборов.

Поэтому при использовании табличных значений наклонения надо иметь в виду следующее:

более точно d определяют для открытых морей и океанов, в закрытых же бассейнах возможны большие отклонения от табличных значений;

при установившейся погоде d находят более точно, чем при резких изменениях состояния атмосферы и моря (шквалы, штормы);

наклонение горизонта особенно сильно отклоняется от табличного в районах встреч океанских и морских течений разной температуры;

замечены сезонные отклонения d: летом — в полярных морях на границе льдов, весной — в северных морях, весной и в начале лета — в умеренных зонах океанов.

При этих условиях для увеличения точности определений надо принимать соответствующие меры — получать три или четыре линии положения или измерять фактическое наклонение особыми приборами.

Понятие о наклономерах. Для определения действительных значений наклонения видимого горизонта при фактических условиях наблюдений применяют специальные угломерные инструменты — *наклономеры.*

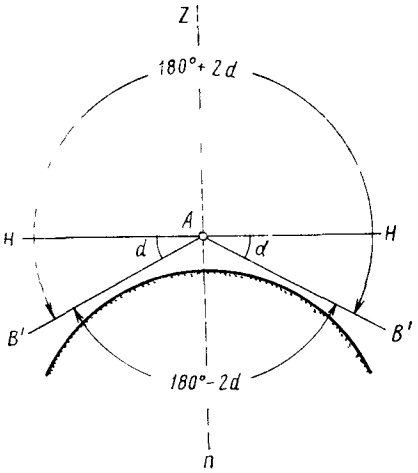


Рис. 63. Принцип работы наклономера

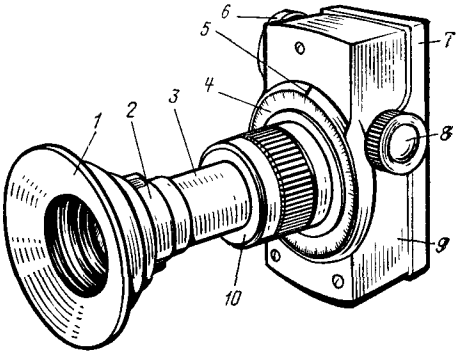


Рис. 64. Наклономер Н-5:

1 — резиновый наглазник; *2* — диоптрийное кольцо, *3* — зрительная труба; *4* — шкала минут (до 0,2); *5* — индекс взятия отсчетов; *6* — кольцо диафрагмы левого окуляра; *7* — крышка; *8* — правый окуляр; *9* — корпус прибора; *10* — накатное кольцо для совмещения изображений горизонта

Наклономером измеряют вертикальный угол $B'AB'$ (рис. 63) между направлениями на противоположные части видимого горизонта. Так как этот угол равен $180° + 2d$ при измерении через зенит и $180° - 2d$ при измерении через надир, то можно по разности измерений получить d. Общий вид и наименование основных частей отечественного наклономера Н-5 даны на рис. 64.

Для измерения наклонения помещают прибор у глаза горизонтально, выбрав для наблюдений то же место (с возвышения глаза e), с которого измерялась высота светила, и с таким расчетом, чтобы были видны противоположные половины горизонта. Наводят объектив с диафрагмой *6* на более освещенную часть горизонта (наблюдатель располагается к ней боком), затем уравнивают яркость изображений двух частей горизонта, вращая кольцо диафрагмы, и поворотом диоптрийного кольца *2* добиваются наибольшей резкости. В поле зрения будут изображения двух частей горизонта (рис. 65, *а*), которые в Н-5 видимы вертикально. Вращая теперь наружное накатное кольцо *10*, совмещают изображения двух частей горизонта (рис. 65, *б*). Прибор при этом надо удерживать так, чтобы вертикальные изображения горизонта располагались в середине поля зрения. После этого снимают отсчет по шкале *4*.

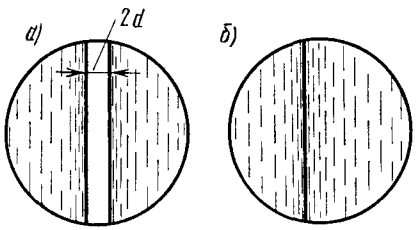


Рис. 65. Изображение горизонта в поле зрения наклономера до (*а*) и после (*б*) совмещения

Для второго измерения наблюдатель поворачивается на 180°, т. е. другим боком, обра-

щает диафрагму наклономера опять к той же, более освещенной части горизонта и, повторяя все операции, снимает повторно отсчет d по шкале. Среднее значение дает величину d, свободную от погрешностей нуля.

При четком горизонте, хорошей видимости и отсутствии качки величину d с помощью прибора Н-5 определяют с точностью до $\pm 0{,}3'$.

Надо сказать, что наклономеры пока не получили широкого практического применения на флоте, хотя имеются в комплекте штурманского имущества почти на всех судах. Это объясняется трудностью работы с ними для неподготовленного наблюдателя и недостаточной точностью в условиях качки. Для повышения надежности астрономических определений места рекомендуется освоить прибор и при волнении моря, не превышающем 5 баллов, находить d с помощью наклономера.

§ 41. Параллаксы и полудиаметры светил

Направления из разных точек земной поверхности на светило, расположенное сравнительно близко, не будут параллельными. Для того чтобы сравнивать между собой наблюдения, сделанные из различных точек земной поверхности, в астрономии принято небесные координаты относить к центру Земли, как это сделано при составлении таблиц МАЕ. Для приведения высоты, измеренной с поверхности Земли, к высоте, измеренной как бы из центра Земли, служит величина *суточного параллакса p,* названного так потому, что его величина для данного наблюдателя изменяется в течение суток.

Параллаксом называют угол между направлениями на светило с поверхности и из центра Земли, или угол при светиле, под которым был бы виден радиус Земли для данного наблюдателя со светила. На рис. 66 для положения светила S параллакс $p = \angle ASO$.

Учитывая равенство соответственных углов $\angle H'OS = \angle HFS$, из ΔASF можно получить значение высоты светила, отнесенной к центру Земли, или так называемой геоцентрической высоты h:

$$h = h' + p. \tag{43}$$

Значит параллакс должен учитываться с положительным знаком. В течение суток величина параллакса меняется от максимального значения для положения светила S_1 на горизонте и называемого горизонтальным параллаксом p_0 до нуля при положении светила S_2 в зените. В любой промежуточный момент параллакс определяют по выражению

$$p = p_0 \cos h', \tag{44}$$

которое получают из треугольников ASO и AS_1O по теореме синусов, причем $\sin p$ и $\sin p_0$ заменяются самими углами p и p_0 вследствие малости.

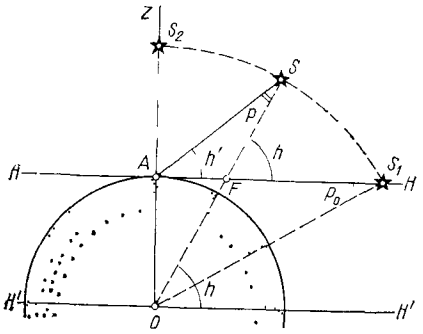


Рис. 66. Параллакс светил

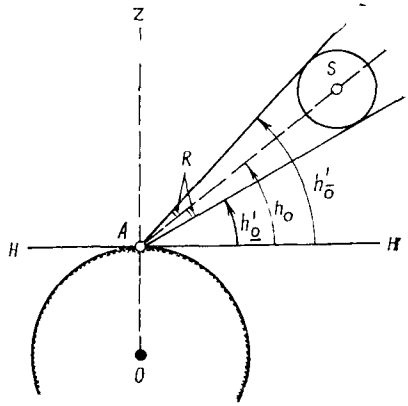


Рис. 67. Полудиаметры светил

По причине эллипсоидальности Земли величина горизонтального параллакса для наблюдателя на экваторе, где радиус Земли максимален, будет самой большой. Такой параллакс называют *экваториальным.*

Параллакс p_0 зависит также от расстояния до светила, поэтому достигает заметных величин только для наиболее близких к Земле светил. Наибольший параллакс имеет Луна, у которой $p_0 = 53{,}5 \div 61{,}5'$, параллакс Венеры колеблется от 0,1 до 0,6′, параллакс Марса — от 0,1 до 0,4′; для Солнца в среднем $p_0 = 0{,}15'$; параллаксы Юпитера и Сатурна меньше 0,1′.

Значения горизонтального экваториального параллакса планет даны в ежедневных таблицах МАЕ, ниже колонки склонений, а для Солнца и Луны — в нижнем углу правой страницы. Суточный параллакс дальних планет и звезд чрезвычайно мал и в мореходной астрономии принимается равным нулю.

При наблюдениях Солнца и Луны измеряют высоту верхнего или нижнего края видимого диска. Поэтому при решении задач приходится учитывать значения видимого полудиаметра, или углового радиуса R, Солнца и Луны.

Из рис. 67 видно, что для получения высоты центра светила полудиаметр прибавляется к высоте его нижнего края или вычитается из высоты верхнего края, т. е.

$$\left.\begin{aligned} h_{\odot\mathbb{D}} &= h_{\underline{\odot\mathbb{D}}} + R; \\ h_{\odot\mathbb{D}} &= h_{\overline{\odot\mathbb{D}}} - R. \end{aligned}\right\} \qquad (45)$$

Величины полудиаметров Солнца и Луны приведены рядом со значениями параллаксов, на правой странице ежедневных таблиц МАЕ. Полудиаметр Солнца дан также в таблицах ВАС—58 и ТВА—57. Расстояния от Земли до этих светил изменяются, поэтому значения полудиаметров колеблются: для Солнца $R_\odot = 15{,}8$—16,3′, для Луны $R_\mathbb{D} = 14{,}7$—16,8′.

§ 42. Исправление высот светил по таблицам

Общая формула исправления высоты В общем случае при измерении высот действуют все разобранные физические причины. Для исключения возникающих погрешностей и для получения теоретически правильной высоты в отсчет секстана надо вводить поправки (рис. 68). Получаемые при этом значения высот носят специальные названия:

отсчет секстана ос после исправления поправкой индекса i и инструментальной поправкой s дает измеренную высоту края светила (на рис. 68 $\angle B'AC = h'_{\odot} = \text{ос}'_{\odot} + i + s$);

измеренная высота после исправления наклонением видимого горизонта d или наклонением зрительного луча $d_{\text{п}}$ называется *видимой высотой края светила* ($h_{\text{в}} = \angle HAC'$);

видимая высота, исправленная астрономической рефракцией, называется *топоцентрической высотой светила* (на рис. 68 это $\angle HAC$ для нижнего края светила),

топоцентрическая высота, исправленная полудиаметром, называется *истинной высотой центра светила* ($\angle HAS$);

наконец, после исправления истинной высоты края светила параллаксом получим *геоцентрическую высоту* центра светила, которую называют также *обсервованной* высотой и обозначают $\hat{h}$ со знаком конкретного светила (на рис. 68 $\angle H'OS$).

С учетом знаков всех указанных поправок и вводя возможные поправки за температуру и давление, получим общую формулу исправления высот

$$h = \text{ос} + i + s - d - \text{р} \mp R + p \pm \Delta h_t \pm \Delta h_B. \qquad (46)$$

Знак «+» при величине R берется для наблюдений нижнего края, а знак «—» — при наблюдениях верхнего края светила.

Поправки высоты Δh_t за счет изменения рефракции от температуры и Δh_B от давления учитывают для всех светил, имеющих $h_{\text{в}}$ меньше 50°. Обычно их объединяют, выбирая из табл. 14-а и 14-б МТ—75.

На практике для сокращения работы некоторые величины, выбираемые по одинаковым аргументам, объединяются в общие поправки, которые приводятся в МТ—75. Иногда же высоты исправляют отдельными поправками.

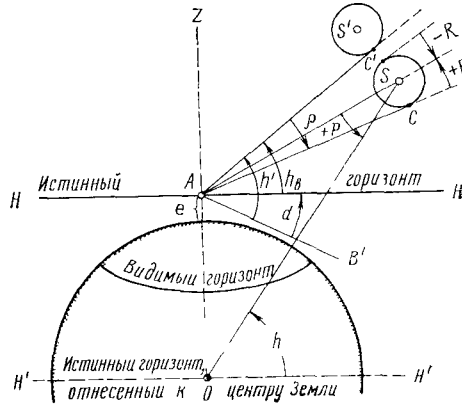


Рис. 68 Общая поправка высот светил

Исправление высот нижнего и верхнего края Солнца. Общую формулу преобразовывают для нижнего $(\underline{\odot})$ и верхнего $(\overline{\odot})$ края Солнца так:

$$\left.\begin{aligned} h_{\odot} &= \text{ос}_{\underline{\odot}} + i + s - d + (-\rho + p + R_{\text{ср}}); \\ h_{\odot} &= \text{ос}_{\overline{\odot}} + i + s - d + (-\rho + p - R_{\text{ср}}), \end{aligned}\right\} \qquad (47)$$

где $R_{\text{ср}}$ — средний полудиаметр Солнца, принимающий значение 15,89′ в летний период с апреля по сентябрь включительно, и значение 16,15′ в период с октября по март включительно.

Величина, заключенная в скобки $(-\rho + p \pm R_{\text{ср}})$ приведена в табл. 8 МТ—75, откуда ее выбирают по аргументам: видимая высота и период года (апрель—сентябрь или октябрь—март), причем даны разные колонки для нижнего и верхнего краев Солнца.

Пример 50. 25 июня 1981 г. измерили высоту нижнего края Солнца и получили $\text{ос}_{\underline{\odot}} = 37°17{,}4'$; $i+s=2{,}7'$; $e=8{,}5$ м; $t=+25°$ С; $B=768$ мм. Найти $h_{\odot}$.

Решение.

$\text{ос}_{\underline{\odot}}$	37°17,4′
$i+s$	+ 2,7
$\Delta h_{11-\text{а}}\,(d)$	— 5,1
$h_{\text{в}}^{\underline{\odot}}$	37°15,0′
Δh_8	+ 14,7
Δh_{14}	+ 0,1
$h_{\odot}$	36°29,8′

Пример 51. 25 ноября 1981 г. измерили высоту верхнего края Солнца и получили $\text{ос}_{\overline{\odot}} = 10°19{,}3'$; $i+s=-1{,}8'$; $e=15{,}6$ м; $t=+13°$ С; $B=746$ мм. Найти $h_{\odot}$.

Решение.

$\text{ос}_{\overline{\odot}}$	10°19,3′
$i+s$	— 1,8
$\Delta h_{11-\text{а}}$	— 7,0
$h_{\text{в}}^{\overline{\odot}}$	10°10,5′
Δh_8	— 21,2
Δh_{14}	+ 0,2
$h_{\odot}$	9°49,5′

Исправление высот звезд. Так как для звезд поправки за полудиаметр и параллакс отсутствуют, общая формула имеет вид

$$h_* = \text{ос}_* + i + s - d - \rho. \qquad (48)$$

Отрицательная величина $-\rho$ приведена в табл. 9-а МТ—75, откуда ее выбирают по значению видимой высоты звезды $h_в$*.

Пример 52. $\text{ос}_* = 18°30{,}5'$; $i+s = 1{,}6'$; $e = 17{,}5$ м; $t = -14°\text{C}$; $B = 740$ мм. Найти h_*.

Решение.

ос_*	$18°30{,}5'$
$i+s$	$+\ 1{,}6$
d	$-\ 7{,}4$
$h_в^*$	$18°24{,}7'$
$\Delta h_{э-а}$	$-\ 2{,}9$
Δh_{14}	$-\ 0{,}2$
h_*	$18°21{,}6'$

Исправление высот планет. Общая формула для планет имеет вид

$$h_{пл} = \text{ос}_{пл} + i + s - d - \rho + p. \qquad (49)$$

Поправку $-\rho$ выбирают, как и для звезд, из табл. 9-а, дополнительная поправка за параллакс $p_{пл}$ дана в табл. 9-б МТ—75, в которую надо входить с высотой планеты и значением горизонтального экваториального параллакса p_0, выбираемым из МАЕ на дату наблюдений. Практически поправка табл. 9-б может иметь заметную величину для близких планет Венеры и Марса.

Пример 53. 22 ноября 1981 г. измерили высоту Венеры и получили $\text{ос}_♀ = 15°30{,}8'$; $i+s = -2{,}8'$; $e = 18{,}5$ м; $t = +4°\text{C}$; $B = 756$ мм. Найти $h_♀$.

Решение.

$\text{ос}_♀$	$15°30{,}8'$	
$i+s$	$-\ 2{,}8$	
d	$-\ 7{,}6$	
$h_в^♀$	$15°20{,}4'$	Из МАЕ на 22/XI $p_0♀ = 0{,}3'$
$\Delta h_{9-а}$	$-\ 3{,}5$	
$\Delta h_{э-б}$	$+\ 0{,}3$	
Δh_{14}	$0{,}0$	
$h_♀$	$15°17{,}2'$	

Исправление высот Луны Общая формула для исправления высот луны имеет такой вид:

$$\left.\begin{aligned} h_{☽} &= \text{ос}_{\underline{☽}} + i + s - d - \rho + p + R'; \\ h_{☽} &= \text{ос}_{\overline{☽}} + i + s - d - \rho + p - R', \end{aligned}\right\} \qquad (50)$$

где R' — топоцентрический радиус соответствующего края Луны с учетом его увеличения с высотой.

Величина d находится, как и для других светил, по табл. 11-а, а общая поправка $(-\rho + p \pm R')$ выбирается из табл. 10 МТ—75 по аргументам $h_в^{☽}$; горизонтальный экваториальный параллакс Луны $p_0^{☽}$, величину которого находят из ежедневных таблиц МАЕ, интерполируя по фактическому времени $T_{гр}$.

Пример 54. 13 октября 1981 г. $T_с = 21^ч03^м$; $\lambda_с = 121°30{,}0'$ Е. $\text{ос}_{\underline{☽}} = 55°04{,}6'$; $i+s = +2{,}4'$, $e = 9{,}8$ м. Найти $h_{☽}$.

Решение.

13/X	$T_с$	$21^ч03^м$
	$№_E$	8
13/X	$T_{гр}$	$13^ч03^м$
13/X	$p_0^{☽}$	$= 60{,}2'/0^ч$
14/X	$p_0^{☽}$	$= 60{,}7'/0^ч$
13/X	$p_0^{☽}$	$= 60{,}5'$/на $13^ч$

$\text{ос}_{\underline{☽}}$	$56°04{,}6'$
$i + s$	$+ 2{,}4$
$\Delta h_{11-а}$	$- 5{,}5$
$h_в^{☽}$	$56°01{,}5'$
Δh_{10}	$+ 49{,}6$
$h_{☽}$	$56°51{,}1'$

Исправление высот, для которых наклонение получено по наклономеру. Получив величину d по наклономеру, ее и сумму $i+s$ надо вычесть из отсчета секстана ос.

Найденную видимую высоту $h_в$ следует затем исправить соответствующими общими или отдельными поправками.

Пример 55. 18 марта 1981 г. измерили высоту нижнего края Солнца и получили $\text{ос}_{\underline{⊙}} = 17°47{,}9'$; $i+s = +0{,}7'$; по наклономеру $d = -6{,}3'$; $t = +20°$ С; $B = 771$ мм. Найти $h_{⊙}$.

Решение (по МТ—75).

$\text{ос}_{\underline{⊙}}$	$17°47{,}9'$
$i + s$	$+ 0{,}7$
d	$- 6{,}3$
$h_в^{⊙}$	$17°42{,}3'$
Δh_8	$+ 13{,}3$
Δh_{14}	$+ 0{,}1$
$h_{⊙}$	$17°55{,}7'$

Исправление высот отдельными поправками по таблицам ВАС—58 и ТВА—57. Решая задачу определения места по таблицам ВАС—58 или ТВА—57, высоты светил можно исправлять, применяя раздельные поправки, приведенные в этих таблицах.

В таблицах ВАС—58 приведены значения наклонения видимого горизонта, суммарная поправка за параллакс и рефракцию Солнца или только за рефракцию — для звезд, дополнительная поправка за параллакс — для планет, поправки высоты за температуру и давление воздуха и общая поправка высоты верхнего и нижнего края Луны. Все эти величины даны на обороте обложки и на дополнительном листе таблиц. В ТБА—57 те же поправки приведены в первой части таблиц.

Фактически исправление высот подобным методом производят непосредственно по общей формуле (46).

Пример 56. 29 сентября 1981 г. измерили высоту Солнца и получили $\text{ос}\frac{}{\odot} = 28°37{,}4'$; $e = 11{,}3$ м; $i+s = -5{,}8'$; $t = 16°$ С; $B = 776$ мм. Найти $h_{\odot}$ по ВАС—58

Решение.

$\text{ос}\frac{}{\odot}$	$28°37{,}4'$
$i+s$	$-\ 5{,}8$
$h'\frac{}{\odot}$	$28°31{,}6'$
Δh_d	$-\ 5{,}9$
$h_{\text{в}}\overline{\odot}$	$28°25{,}7'$
Δh_{p+p}	$-\ 1{,}7$
$R_{\odot}$	$-\ 16{,}0$
Δh_{tB}	$0{,}0$
$h_{\odot}$	$28°08{,}0'$

Исправление высот, измеренных над ватерлинией другого судна или береговой чертой. Высоту можно измерять над ватерлинией другого судна, расположенного в одном вертикале со светилом (рис. 69, *б*).

Практически этот прием удобно применять при совместном плавании, например в арктических караванах или в экспедиционных рейсах. Можно также измерять высоту над береговой чертой, если она расположена ближе линии видимого горизонта и на берегу нет приметных точечных объектов для определения места по РЛС.

Как видно из рис. 69, *а*, для получения высоты над истинным горизонтом надо сначала учесть наклонение зрительного луча $d_{\text{п}}$, которое выбирают из табл. 11-б и МТ—75 по аргументам: высота глаза наблюдателя и расстояние до берега или другого судна (в кабельтовых). Расстояние можно измерить радиолокатором, причем точнее оно будет определено до судна.

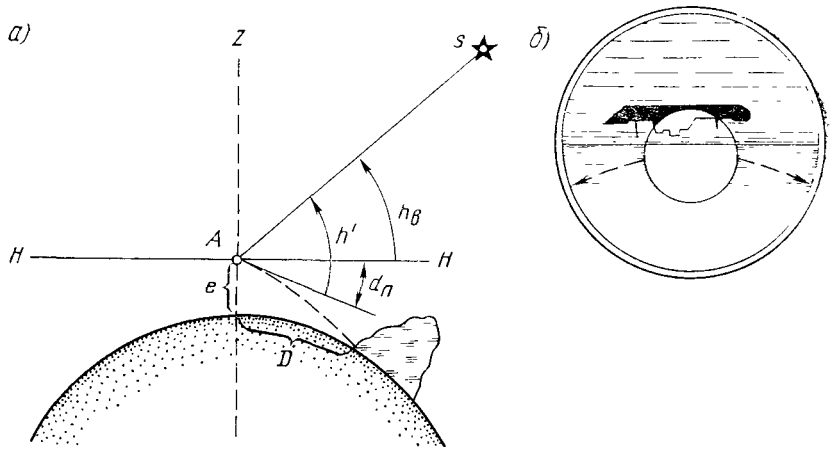


Рис. 69. Измерение высот над берегом (*а*) и ватерлинией (*б*)

Получив после учета $d_п$ величину $h_в$, ее исправляют соответствующими общими или отдельными поправками.

Если расстояние до судна или берега менее 1 мили, поправку индекса секстана надо определять по прямовидимому ближнему предмету (судно, берег), а не по светилу.

Описанный способ измерения высот особенно полезен при плохой видимости горизонта.

Пример 57. 21 августа 1981 г. измерили над ватерлинией судна высоту Солнца и получили ос $\underline{\odot}$ = 54°24,3′; $i+s$ = +2,3′; e = 10,7 м; $D_п'$ = 22 кб. Исправить высоту.

Решение (по МТ—75).

ос $\underline{\odot}$	54°24,3′
$i+s$	+ 2,3
Δh_{11-6}	— 10,0
$h_в^{\odot}$	54°16,6′
Δh_3	+ 15,3
$h_{\odot}$	54°31,9′

Глава 12

Основные сведения из теории ошибок Погрешности измерения высот светлее

§ 43. Классификация погрешностей измерения. Методы их уменьшения при астрономических наблюдениях

При любых наблюдениях или измерениях в результатах неизбежно обнаруживаются погрешности.

Под погрешностью понимают разность между полученным a_i и действительным a значениями измеряемой величины, т. е. $v = a_i - a$.

В мореходной астрономии преимущественным видом наблюдений является измерение высот светил секстаном. Эти измерения также сопровождаются погрешностями той или иной величины. От точности, с которой были измерены высоты светил, непосредственно зависит точность полученного обсервованного места. Поэтому судоводитель должен уметь оценивать величину погрешностей в своих наблюдениях.

Основными причинами возникновения погрешностей любых измерений являются несовершенство органов чувств наблюдателя, несовершенство используемых инструментов и методов наблюдений, а также влияние внешних условий, при которых производятся наблюдения. Независимо от породивших их причин все погрешности, возникшие при наблюдениях, делятся по характеру действия на две группы: систематические и случайные. Рассмотрим особенности этих погрешностей.

Систематические погрешности. Систематическими называют погрешности, характер и причины возникновения которых могут быть выяснены и влияние которых на результаты измерений может быть исключено введением поправок или другими специальными приемами.

Если величины и знаки систематических погрешностей остаются постоянными при каждом последующем наблюдении, то их называют *повторяющимися*. В мореходной астрономии обычно приходится иметь дело именно с повторяющимися погрешностями, так как за время измерения высот большинство причин, вызывающих появление в них систематической погрешности, остаются неизменными.

Возникновение систематических погрешностей обусловлено как внешними факторами, так и погрешностями инструмента. Основными причинами появления систематической погрешности в обсервованной высоте являются погрешности в принятом табличном значении наклонения горизонта d и в инструментальной поправке секстана s. На практике величина наклонения видимого горизонта почти

всегда отличается от тех значений, которые приводятся в пособиях, например в табл. 11-а МТ—75, а инструментальная поправка секстана изменяется с течением времени и часто не соответствует тем ее значениям, которые приводятся в формуляре. Кроме этих двух причин, источником появления небольшой систематической погрешности в высоте могут быть погрешности в астрономической рефракции, поправке индекса секстана и др.

Принято считать, что величина систематической погрешности Δ в исправленных высотах лежит в пределах от 1 до 3′, достигая иногда в полярных морях 7—8′. Если при наблюдениях использовался наклономер, а секстан прошел тщательную проверку, то систематическая погрешность может приниматься в среднем величиной в 0,5′.

Судоводитель должен принимать все необходимые меры для исключения систематических погрешностей из результатов своих наблюдений. Практически эти меры сводятся к следующему:

правильное обращение и уход за секстаном;

проверка установки зеркал перед наблюдениями;

тщательное определение поправки индекса секстана при каждых наблюдениях;

правильная выборка и учет всех табличных поправок при исправлении высот;

измерение, если позволяет обстановка, действительного значения наклонения видимого горизонта при помощи наклономера;

систематическое определение поправки хронометра и приведение ее к моменту наблюдений суточным ходом (погрешности в замеченных моментах наблюдений, как и погрешности в высотах, приводят к погрешностям в обсервованных координатах судна);

периодическая переаттестация секстана для получения уточненных значений его инструментальных поправок.

Перечисленные меры, предусматривающие введение поправок к отсчетам секстана, позволяют уменьшить систематические погрешности в высотах, но не всегда устраняют их. Поэтому, если есть возможность, следует применять прием исключения систематических погрешностей, заключающийся в соответствующей организации и обработке наблюдений. Применение такого приема возможно, в частности, при определении места судна по наблюдениям трех или четырех звезд.

Случайные погрешности. Случайными называют погрешности, вызываемые совместным действием многообразных и противоречивых причин, влияющих на результаты измерений.

Величины и знаки этих погрешностей в отличие от систематических могут изменяться в каждом из наблюдений. Так, если в береговых условиях измерить секстаном несколько раз один и тот же угол, то полученные отсчеты будут отличаться по величине. Это свидетельствует о наличии в каждом из отсчетов своей собственной случайной погрешности, ни величина, ни знак которой неизвестны. Такая изменчивость случайных погрешностей объясняется тем, что они вызываются целым рядом независимых друг от друга причин, проявляющих себя по-разному в каждом из наблюдений.

Из теории вероятностей известно, что если провести большую серию *равноточных измерений* (т. е. выполненных при равных условиях: одним наблюдателем, одним инструментом, одним методом измерений, при одинаковых внешних факторах) какой-либо не изменяющейся величины, то возникающие случайные погрешности будут подчиняться действию определенных закономерностей. Основные свойства, которыми обладают случайные погрешности, заключаются в следующем:

в данном ряде измерений численные величины случайных погрешностей не могут превосходить некоторого предела;

в большом ряде измерений малые случайные погрешности встречаются чаще, чем большие;

в большом ряде измерений случайные погрешности, равные по абсолютной величине, но противоположные по знаку, встречаются одинаково часто.

На основании третьего свойства можно заключить, что среднее арифметическое из всех измерений данной величины при большом (теоретически бесконечно большом) числе ее измерений будет стремиться к истинному значению.

Действительно, равные по величине, но противоположные по знаку погрешности, при сложении результатов всех измерений будут компенсировать друг друга. На практике число измерений при любых наблюдениях ограниченно. Однако среднее арифметическое даже из ограниченного числа измерений оказывается все же гораздо ближе к истинному значению измеряемой величины, чем каждое из отдельных равноточных измерений. Поэтому для получения более точного результата наблюдений рекомендуется производить несколько измерений одной и той же величины с последующим осреднением полученных отсчетов.

При любых наблюдениях появление случайных погрешностей неизбежно. При астрономических измерениях высот величина этих погрешностей определяется главным образом состоянием видимого горизонта, а также искусством наблюдателя. Если горизонт расплывчатый, то совмещение светила с линией горизонта будет произведено менее точно, чем при четком горизонте.

Для уменьшения случайных погрешностей в высотах необходимо выполнить ряд рекомендаций, которые можно свести к следующим:

стремиться получить лучшие условия для наблюдений (подбирать достаточно яркие светила, расположенные над хорошо освещенной частью горизонта);

систематически тренироваться в измерении высот;

добиваться точного совмещения светила или его края с линией видимого горизонта при обязательном покачивании секстана;

совмещение светила с линией горизонта производить в центре трубы;

не ограничиваться одним измерением высоты, а измерять высоту каждого светила три—пять раз с последующим осреднением полученных отсчетов.

§ 44. Оценка точности наблюдений. Понятие о средней квадратичной погрешности измерения высот светил и методах ее вычисления

Устранить влияние случайных погрешностей на результаты наблюдений полностью невозможно, поэтому необходимо знать метод оценки точности сделанных измерений. Поскольку получить абсолютную величину случайной погрешности в каждом измерении невозможно, для оценки точности отдельного измерения данного ряда наблюдений применяется условная величина, называемая *средней квадратичной погрешностью* m.

Для получения m необходимо провести серию равноточных наблюдений какой-либо неизменяющейся величины. Тогда средняя квадратичная погрешность может быть вычислена по формуле

$$m = \pm \sqrt{\frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \ldots + \Delta_n^2}{N-1}} = \pm \sqrt{\frac{\sum \Delta_i^2}{N-1}}, \qquad (51)$$

где Δ_i — разность между каждым отдельным измерением a_i и средним арифметическим из всех измерений $a_{ср}$;
N — число измерений.

Такое выражение величины m оказывается очень удобным для оценки точности произведенных наблюдений. Действительно, значение m никогда не может оказаться равным нулю, что соответствует нашему пониманию о невозможности безошибочных наблюдений. Возведение разностей Δ в квадрат упраздняет знаки погрешностей, которые не играют никакой роли при оценке точности измерения, а также позволяет выявить присутствие крупных случайных погрешностей.

Величины погрешностей в отдельных наблюдениях могут оказаться как *больше, так и меньше вычисленного значения* m. Однако в теории вероятностей установлено, что при большом числе равноточных наблюдений в 68,3% сделанных измерений абсолютное значение случайной погрешности не будет превосходить средней квадратичной погрешности. Следовательно, если при данных условиях измерений горизонтального угла секстаном получили значение $m = \pm 2'$, то в 68,3% всех сделанных измерений погрешность не превысит $\pm 2'$. Утроенное значение средней квадратичной погрешности принято называть предельной погрешностью $m_{пред} = 3m$. Установлено, что вероятность появления погрешности, большей предельной, составляет всего 0,3%. Поэтому все измерения с погрешностями, превышающими предельные, расцениваются как промахи и отбрасываются.

Как уже говорилось, погрешность среднего арифметического $m_{ср}$ из ряда измерений всегда оказывается меньше, чем погрешность каждого отдельного измерения. Теоретически доказано, что

$$m_{ср} = \pm \frac{m}{\sqrt{N}}. \qquad (52)$$

Таким образом, при увеличении числа измерений N погрешность среднего арифметического уменьшается.

Для проведения анализа точности навигационных наблюдений необходимо было бы вычислять m при каждом определении места судна, что, однако, потребует больших дополнительных затрат времени. Поэтому на практике оценку точности делают на основе предшествующих вычислений m, произведенных при различных условиях плавания (состояние видимости, качка судна и т. д.). Такая оценка точности измерений, даваемая на основе имеющегося у судоводителя опыта, называется *априорной*.

Методы вычисления m_h. Значение средней квадратичной погрешности каких-либо наблюдений может быть получено по формуле (51). Для этого должно быть произведено не менее пяти, а лучше девяти или одиннадцати равноточных измерений данной величины. Наиболее простым примером равноточных наблюдений могут служить последовательные измерения одного и того же угла между двумя береговыми ориентирами, произведенные из одной точки. Получив среднее арифметическое всех измерений $a_{ср}$, образуют разности между результатом каждого измерения a_i и $a_{ср}$, т. е. $\Delta i = a_i - a_{ср}$. Возведя Δi в квадрат и подставив в формулу (51), получают значение m и, если необходимо, $m_{ср}$.

При оценке точности измерения высот светил следует, однако, учитывать, что эти высоты непрерывно изменяются, т. е. наблюдения не являются равноточными. Изменения высот происходят вследствие суточного вращения сферы, а также и вследствие перемещения судна по поверхности Земли*. В результате все полученные отсчеты секстана будут отличаться друг от друга не только за счет наличия в каждом из них своей собственной случайной погрешности, но и по указанным двум причинам. Чтобы сделать результаты измерений равноточными, т. е. сравниваемыми между собой, необходимо предварительно привести их значения к одному моменту времени и одному зениту (месту) наблюдений. Эти вычисления из-за своей сложности и трудоемкости делают метод получения m_h по формуле (51) неудобным, в особенности, если желательно знать величину погрешности измерения высот непосредственно при определении места судна.

Поэтому в последние годы были разработаны более простые, приближенные методы получения m_h, дающие, однако, вполне удовлетворительные результаты. Благодаря своей простоте они могут применяться для расчета средней квадратичной погрешности непосредственно при каждом случае определения места.

Расчет m_h с графическим определением величины размаха. На листе миллиметровой бумаги строят график, по осям которого в выбранном масштабе откладываются отсчеты секстана и моменты, соответствующие каждому наблюдению (рис. 70). Примерный мас-

* Изменение высот Солнца, планет и Луны происходит также вследствие изменения их склонений. Однако эти измерения по их малости, кроме Луны, могут не учитываться.

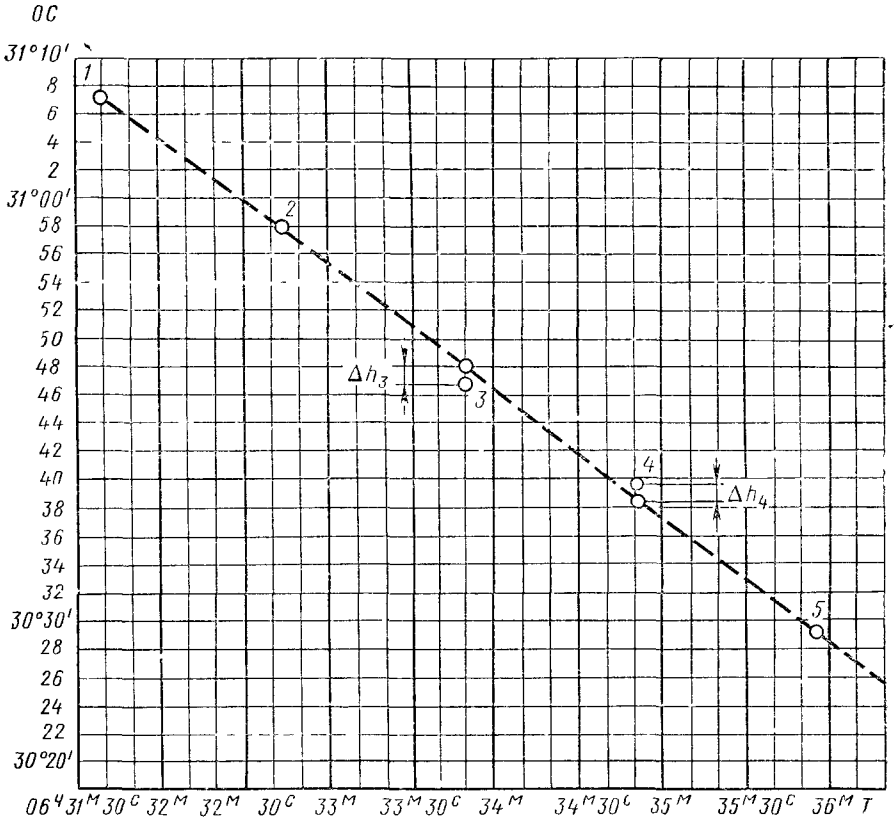


Рис. 70. Пример на расчет средней квадратической погрешности измерения высот светил с графическим определением размаха

штаб построений принимается равным $1'=5$ мм и $1^c=1$ мм. Отсчеты секстана не требуют приведения к одному моменту и зениту.

В результате построений получают ряд точек, число которых равно числу измерений высот. С помощью прозрачной линейки глазомерно проводят осредняющую линию между полученными точками. Находят две точки, имеющие максимальное положительное и отрицательное уклонение от осредняющей линии по направлению ос.

Для расчета m_h пользуются формулой $m_h=\pm RK_N$,

где R — величина размаха, равная сумме абсолютных значений двух максимальных уклонений от осредняющей линии.

$$R=/+\Delta h_{\max}/+/-\Delta h_{\max}/, \qquad (53)$$

где K_N — безразмерный коэффициент, выбираемый из табл. 5 по числу измерений N.

Таблица 5

N	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
K_N	0,59	0,49	0,43	0,40	0,37	0,35	0,34	0,32	0,32	0,31

Пример 58. В $\varphi = 50{,}0°$ N, следуя ИК$=210°$, $V=12$ уз, измерили серию из пяти высот светила:

ос$=31°07{,}5'$; $T_{хр}=06^{ч}31^{м}40^{с}$;
ос$=30\,57{,}9$; $T_{хр}=06\ 32\ 43$;
ос$=30\,47{,}2$; $T_{хр}=06\ 33\ 48$;
ос$=30\,39{,}7$; $T_{хр}=06\ 34\ 50$;
ос$=30\,29{,}1$; $T_{хр}=06\ 35\ 55$.

Состояние горизонта удовлетворительное. Определить m_h, $m_{h_{пред}}$, $m_{h_{ср}}$.

Решение. В результате сделанных построений (см. рис. 70) получили размах R как сумму отклонений от осредняющей линии точек *3* и *4*:

$$R = \Delta h_3 + \Delta h_4 = 1{,}0' + 1{,}3' = 2{,}3';$$

$$m_h = \pm RK_N = 2{,}3' \times 0{,}43 = \pm 0{,}99';$$

$$m_{h_{пред}} = \pm 3m_h = \pm 2{,}97';$$

$$m_{h_{ср}} = \frac{m_h}{\sqrt{N}} = \pm \frac{0{,}99'}{\sqrt{5}} = \pm 0{,}45'.$$

Расчет m_h по величине средней квадратичной погрешности определения поправки индекса секстана по горизонту. Точность измерения высот светил и точность, с которой может быть определена поправка индекса секстана по горизонту, зависят в основном от четкости видимого горизонта.

В результате специальных исследований была найдена зависимость между величиной m_h и средней квадратичной погрешностью измерения поправки индекса секстана по горизонту m_i

$$m_h = 0{,}3' + 0{,}5'\, m_i. \qquad (54)$$

Пользуясь этой зависимостью, можно заменить относительно сложные вычисления при определении m_h более простыми измерениями m_i. Для этого производят пять—семь определений поправки индекса по горизонту.

Измерения i должны производиться в плоскости вертикала данного светила.

Величину m_i находят по наибольшему размаху:

$$m_i = \pm (i_{max} - i_{min}) K_N = \pm RK_N. \qquad (55)$$

После этого вычисляют m_h по формуле (54).

Пример 59. Получены пять значений поправки индекса секстана по горизонту: $+1{,}4'$; $+1{,}9'$; $+1{,}0'$; $+1{,}2'$; $+1{,}5'$. Определить m_i и m_h.

Решение.

$$R = 1{,}9' - 1{,}0' = 0{,}9';$$

$$m_i = \pm\, 0{,}9' \times 0{,}43 = \pm\, 0{,}39';$$

$$m_h = 0{,}3' + 0{,}5' \times 0{,}39 \approx \pm\, 0{,}5'.$$

Если значение m_h при непосредственных наблюдениях не определялось, а также не были проведены априорные измерения m_h, то для приближенной оценки точности измерения высот можно руководствоваться приведенными ниже цифрами.

Средняя квадратичная погрешность отдельного измерения высоты навигационным секстаном составляет: для Солнца и Луны $m_h = \pm 0{,}4' \div 0{,}9'$; для звезд и планет $m_h = \pm 0{,}6' \div 1{,}2'$.

Эти цифры получены для наблюдателя средней опытности и при хорошем состоянии видимого горизонта.

§ 45. Промахи при наблюдениях и вычислениях. Методы их обнаружения при измерении высот

К промахам относят грубые ошибки, величина которых заметно превышает погрешности измерений или вычислений, возможные при данных условиях. Они могут появиться в результатах наблюдений или вычислений из-за допущенной судоводителем невнимательности.

Практика показывает, что у штурмана, не имеющего необходимых навыков в производстве наблюдений и вычислений, промахи появляются довольно часто.

Крупный промах обнаруживает себя обычно в конце решения задачи по резкому несоответствию полученного результата с ожидаемым. Мелкие промахи чаще всего могут быть не замечены. В этом случае, что особенно опасно, полученный неверный результат может быть принят за правильный.

Для того чтобы избежать промахов при наблюдениях, никогда не следует ограничиваться измерением одной высоты светила. Только при измерении серии высот промах, если он был допущен в одном из наблюдений, обнаружит себя по резкому отличию полученного отсчета от остальных. Понятно, что измерение, содержащее промах, должно быть отброшено и его нельзя включать в дальнейшие расчеты.

Отсутствие промахов в измеренных высотах светил следует контролировать по разностям. Получив серию высот и соответствующих им моментов, рассчитывают разности между соседними ос и $T_{хр}$. При отсутствии промахов в наблюдениях все разности ΔT должны быть пропорциональны разностям Δh, т. е. большим промежуткам времени должны соответствовать и большие разности в отсчетах секстана.

Более точный контроль за отсутствием промахов в измеренных высотах по разностям проводят с помощью табл. 17 МТ—75 «Изменение высоты светила за 10 с времени».

Из табл. 17 МТ—75 по счислимой широте и азимуту, замеченному при наблюдениях, выбирают значение $\Delta h_т$ за 10 с. Для удобства дальнейших расчетов можно найти также $\Delta h_т$ за 15, 20, 30 с и т. д. Действительные разности в соседних отсчетах секстана ($\Delta h_{набл}$) должны быть близки к Δh, подсчитанным для промежутков времени между этими же отсчетами по данным табл. 17 МТ—75. Расхождения в пределах 1′ могут быть отнесены к случайным погрешностям и не учитываться.

Если расхождения в двух каких-либо разностях оказываются значительными, то в среднем из трех соседних наблюдений следует предполагать промах. Такое наблюдение из дальнейших расчетов выбрасывается.

Пример 60. В $\varphi_с = 40°25′$ N измерены высоты нижнего края Солнца и замечены моменты по хронометру. В средний момент наблюдений $ИП_{\odot} = 155°$. Произвести контроль наблюдений по разностям.

№ п/п	ос	T	$\Delta T^с$	Δh набл	Δh табл	Разности
1	2	3	4	5	6	7
1	33°50,5′	17ч37м10с	62с	5,3′	5,0′	0,3′
2	33 55,8	17 38 12	81	6,4	6,6	0,2
3	34 02,2	17 39 33	55	4,4	4,4	0,0
4	34 06,6	17 40 27	41	3,1	3,3	0,2
5	34 09,7	17 41 08	—	—	—	—

Из табл 17 МТ—75 по $\varphi = 40°25′$ N и $A_{\odot} = 155°$ за 10 с $\Delta h_т = 0{,}81′$; за 20 с $\Delta h_т = 1{,}62′$; за 30 с $\Delta h_т = 2{,}43′$; за 5 с $\Delta h_т = 0{,}40′$; за 1 с $\Delta h_т = 0{,}08′$.

Полученные разности между Δh наблюдений и $\Delta h_т$ не превосходят 0,3′. Следовательно, наблюдения можно считать удовлетворительными. Полезно также знать, что средние арифметические из всех ос и моментов хронометра должны быть близки к среднему ос и среднему моменту.

Гарантией от промахов при вычислениях может служить только предельная внимательность. Большое значение имеет также использование привычных и целесообразных схем, аккуратное написание цифр, расположенных в колонках строго по разрядам.

Вероятность появления промахов снижается при постоянной тренировке в наблюдениях и вычислениях.

Глава 13

Решение параллактического треугольника светила

§ 46. Основные формулы сферической тригонометрии

Астрономическое определение места судна или поправки компаса связано с вычислением искомых величин через другие, известные величины, полученные из наблюдений или из специальных пособий. Таким образом, все важнейшие задачи мореходной астрономии требуют решения параллактического треугольника, связывающего между собой географические координаты наблюдателя с горизонтальными и экваториальными координатами светила (рис. 71).

Решение параллактического треугольника производят по формулам сферической тригонометрии.

Известно, что для нахождения какого-либо угла или стороны треугольника необходимо, чтобы три любых других его элемента были известны (заданы). Установив аналитическую зависимость между искомым элементом и заданными, т. е. связав эти четыре элемента соответствующей формулой, в итоге вычислений получают нужный результат. Это положение полностью распространяется и на решение сферических, т. е. параллактических треугольников.

Рассмотрим (без вывода) четыре основных теоремы сферической тригонометрии, устанавливающие необходимую аналитическую зависимость между элементами сферического треугольника.

Формула косинуса стороны. Эта формула связывает между собой все три стороны и один из углов сферического треугольника. Для любого сочетания таких четырех элементов установлена зависимость.

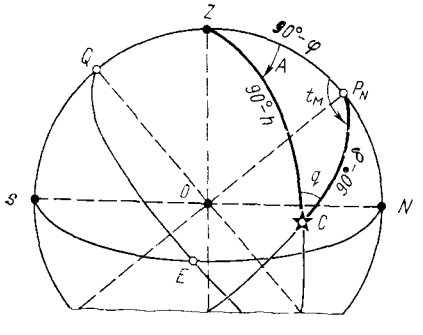


Рис. 71. Параллактический треугольник светила

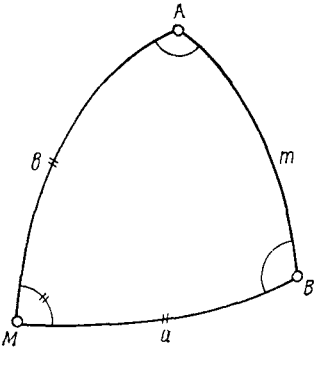


Рис. 72. Косоугольный сферический треугольник

Теорема I. Косинус стороны сферического треугольника равняется произведению косинусов двух других сторон плюс произведение синусов тех же сторон на косинус угла между ними.

Формула косинуса стороны применяется при нахождении какой-либо стороны треугольника по двум другим заданным сторонам и углу между ними, а также служит для вычисления угла по трем заданным сторонам.

Рассматривая сферический треугольник ABM (рис. 72), элементами которого являются углы A, B и M и сторонами a, b и m, заметим, что для написания формулы, связывающей интересующие нас конкретные элементы — три заданных и один искомый, достаточно запомнить текст теоремы. Например, применительно к стороне a треугольника ABM, руководствуясь теоремой, напишем:

$$\cos a = \cos b \cos m + \sin b \sin m \cos A.$$

Всего можно написать три таких соотношения по числу сторон треугольника. Для сторон b и m зависимость между элементами треугольника выразится формулами:

$$\cos b = \cos m \cos a + \sin m \sin a \cos B;$$

$$\cos m = \cos a \cos b + \sin a \sin b \cos M.$$

Формула синусов связывает между собой противолежащие элементы треугольника — углы и стороны.

Теорема II. Во всяком сферическом треугольнике синусы сторон относятся как синусы противолежащих углов.

Для сферического треугольника ABM (см. рис. 72) можем написать соотношения:

$$\frac{\sin a}{\sin b} = \frac{\sin A}{\sin B}; \quad \frac{\sin a}{\sin m} = \frac{\sin A}{\sin M} \quad \text{или} \quad \frac{\sin b}{\sin m} = \frac{\sin B}{\sin M}.$$

Формула синусов применяется для вычисления одного из элементов, входящих в записанные равенства, если известны три других элемента.

Формула котангенсов связывает между собой четыре элемента сферического треугольника, лежащие рядом. Эти элементы разделяются на крайние (угол и стороны) и средние. Между ними установлена аналитическая зависимость.

Теорема III. Котангенс крайнего угла, умноженный на синус среднего, равняется произведению котангенса крайней стороны на синус средней без произведения косинусов средних элементов.

Термины «крайний» и «средний» в отношении элементов треугольника применяются в зависимости от того, как эти элементы расположены в группе из рассматриваемых четырех частей треугольника.

Например, если в сферическом треугольнике ABM (см. рис. 72) устанавливается зависимость между элементами A, m, B и a, то угол A и сторона a являются крайними, а угол B и сторона m — средними элементами. Для этого случая можем написать формулу

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

Всего для треугольника можно написать шесть таких соотношений. Рассматривая все другие возможные варианты сочетания четырех лежащих рядом элементов, получим формулы:

$$\operatorname{ctg} A \sin M = \operatorname{ctg} a \sin b - \cos M \cos b;$$

$$\operatorname{ctg} B \sin M = \operatorname{ctg} b \sin a - \cos M \cos a;$$

$$\operatorname{ctg} B \sin A = \operatorname{ctg} b \sin m - \cos A \cos m;$$

$$\operatorname{ctg} M \sin A = \operatorname{ctg} m \sin b - \cos A \cos b;$$

$$\operatorname{ctg} M \sin B = \operatorname{ctg} m \sin a - \cos B \cos a.$$

Формула котангенсов применяется для вычисления стороны или угла треугольника, если они лежат рядом с тремя заданными элементами.

Формула косинуса угла связывает между собой три угла и одну из сторон сферического треугольника. Для установления соотношений между перечисленными элементами найдена аналитическая зависимость.

Теорема IV. Косинус угла сферического треугольника равняется произведению синусов двух других углов на косинус стороны между ними без произведения тех же углов.

Для каждого из углов сферического треугольника ABM (см. рис. 72), применяя текст теоремы, можем написать формулы:

$$\cos A = \sin B \sin M \cos a - \cos B \cos M;$$

$$\cos B = \sin A \sin M \cos b - \cos A \cos M;$$

$$\cos M = \sin A \sin B \cos m - \cos A \cos B.$$

Формула удобна при вычислении угла по двум другим углам и стороне между ними, а также служит для нахождения стороны по трем заданным углам.

Приведенные четыре основных теоремы сферической тригонометрии могут применяться для решения как косоугольных, так и прямоугольных или четвертных сферических треугольников. Решение прямоугольных и четвертных треугольников проще, чем косоугольных, так как один из их элементов (прямой угол или сторона 90°) всегда известен и, следовательно, для решения треугольника достаточно знать еще только два элемента. Кроме того, формулы для вычисления элементов прямоугольных и четвертных треугольников получают логарифмический вид (одночленные), что ускоряет вычисления.

Например, если в сферическом треугольнике ABM (рис. 73) заданы угол $B=90°$, катет a и угол M, то для вычисления угла A можно применить формулу косинуса угла

$$\cos A = \sin B \sin M \cos a - \cos B \cos M.$$

Если теперь заменить все функции угла $B=90°$ их значениями ($\sin B=1$, $\cos B=0$), то получим одночленную формулу, связывающую искомое с двумя заданными элементами:

$$\cos A = \sin M \cos a.$$

На практике судоводителю приходится иметь дело, как правило, с решением косоугольных параллактических треугольников. При астрономическом определении места судна возникает необходимость в совместном вычислении высоты h и азимута A светила по заданным (известным) элементам треугольника φ, δ и $t_м$. При определении поправки компаса по тем же заданным элементам раздельно вычисляют азимут A светила.

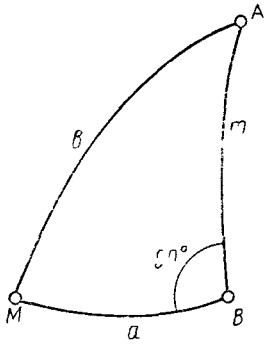


Рис. 73 Прямоугольный сферический треугольник

Вычисление неизвестных элементов параллактического треугольника по формулам сферической тригонометрии может быть произведено при помощи таблиц логарифмов тригонометрических функций, по специальным таблицам или с помощью электронных вычислительных машин.

§ 47. Определение высоты и азимута светила при помощи таблиц логарифмов

Решение сферических треугольников при помощи таблиц логарифмов складывается из ряда операций, выполняемых в определенной последовательности:

выбор подходящих формул, связывающих искомые элементы с заданными;

преобразование выбранных формул с целью выделения неизвестного;

исследование преобразованых формул на знаки тригонометрических функций;

составление схемы вычислений;

вычисление искомых величин;

контроль сделанных вычислений.

Вычисление неизвестных элементов треугольников по формулам сферической тригонометрии производят с помощью таблиц логарифмов тригонометрических функций (табл. 5-а МТ—75).

В них даны значения логарифмов тригонометрических функций (как характеристики, так и мантиссы) $\sin\alpha$, $\cos\alpha$, $\operatorname{tg}\alpha$, $\operatorname{ctg}\alpha$, $\sec\alpha$ и $\operatorname{cosec}\alpha$ для углов от 0 до 90° через 1′. Отдельными столбцами даются логарифмы тех же углов для $\sin^2\frac{\alpha}{2}$.

Таблица 5-а МТ—75 используется как для нахождения логарифмов тригонометрических функций, так и для обратной задачи — нахождения угла, соответствующего данному логарифму.

Логарифм тригонометрической функции, когда аргумент содержит десятые доли минуты, находят путем интерполирования табличных величин. А поправку к логарифму, выбранному на ближай-

шее целое число минут, находят по Приложению 1 «Пропорциональные части» или расчетом в уме.

Так при нахождении искомых величин в большинстве случаев применяются нелогарифмические формулы, правые части которых содержат два члена, связанных знаком «+» или «—», то при расчетах приходится пользоваться также таблицами логарифмов для сумм или разностей. Например, даны $\lg a$ и $\lg b$, а требуется найти $\lg(a+b)$ или $\lg(a-b)$. В этом случае, чтобы не вычислять величин a и b по их логарифмам, пользуются специальными таблицами, составленными К. Ф. Гауссом (табл. 3-а и 3-б МТ—75).

Объяснение устройства и правил пользования таблицами дано в разделе «Объяснение таблиц» МТ—75.

Решение параллактических треугольников светил производят по формулам, полученным путем преобразования основных формул сферической тригонометрии.

Формулы для совместного вычисления h и A светила. Для вычисления h применим формулу косинуса стороны, которую напишем относительно стороны треугольника $ZC=90°-h$ (см. рис. 71): $\cos(90°-h)=\cos(90°-\varphi)\cos(90°-\delta)+\sin(90°-\varphi)\sin(90°-\delta)\cos t_м$.

Произведя упрощение, окончательно получим

$$\sin h = \sin\varphi\sin\delta + \cos\varphi\cos\delta\cos t_м. \qquad (56)$$

При вычислении h и A по формуле (56) приходится применять таблицы логарифмов для сумм α или разностей β. Чтобы выяснить, какой из указанных таблиц следует пользоваться, необходимо предварительно определить знаки I и II членов правой части формул.

Известно, что как углы, так и стороны сферического треугольника могут иметь значения от 0 до 180°, т. е. их величины могут лежать в первой или второй четвертях тригонометрического круга. Тригонометрические функции всех аргументов, лежащих в первой четверти, положительны, во второй — отрицательны, кроме синуса и косеканса. Если над каждым множителем правой части рассматриваемой формулы поставить знак, соответствующий величине аргумента и наименованию функции, то в результате перемножения знаков будут легко установлены знаки каждого из членов формулы. При этом могут возникнуть следующие случаи:

оба члена правой части формулы имеют одинаковые знаки: (+I+II) или (—I—II). Тогда при нахождении логарифма функции искомой величины пользуются таблицей логарифмов для сумм α;

оба члена правой части формулы имеют разные знаки: (+I—II) или (—I+II). При нахождении логарифма функции искомой величины пользуются таблицей логарифмов для разностей β.

Исследование каждой формулы необходимо также для выяснения знака функции искомого элемента. Знак этой функции, стоящей в левой части формулы, определяет, в какой из четвертей тригонометрического круга — в первой или во второй — лежит иско-

мый элемент. Другими словами, без исследования формулы знаками невозможно было бы установить величину искомой величины.

Знак функции искомой величины определяется в зависимости от полученных знаков I и II членов правой части формулы.

При этом могут возникнуть следующие конкретные случаи:

оба члена правой части формулы положительны (+I+II). Тогда функция искомой величины, стоящая в левой части формулы, также положительна, следовательно, искомая величина меньше 90° (первая четверть);

оба члена правой части формулы отрицательны (—I—II). Тогда функции косинус, тангенс, котангенс и секанс искомой величины также отрицательны, а следовательно, искомая величина больше 90° (вторая четверть). Функции синуса и косеканса для этого случая не рассматриваются, так как они могут быть отрицательны только при значениях аргумента больше 180° (третья и четвертая четверти);

один член правой части формулы положителен, а другой отрицателен (+I —II) или (—I +II). Тогда для определения знака функции искомого руководствуются величиной логарифмов I и II членов. Если логарифмы положительного члена больше, то функция искомой величины положительна (имеем первый случай). Если же больше логарифм отрицательного члена, то функция искомой величины отрицательна (второй случай).

При исследовании на знаки формулы (56) необходимо, кроме приведенных правил, учитывать некоторые особенности, связанные с возможной величиной и наименованием отдельных элементов параллактического треугольника.

1. Все функции φ являются положительными, так как φ не может быть больше 90°. Это справедливо как для φ_N, так и для φ_S.

2. Все функции δ, если оно одноименно с φ, также являются положительными, так как в этом случае аргумент лежит в первой четверти.

Если δ разноименно с φ, то аргумент считают лежащим в четвертой четверти (отрицательным), следовательно, $\sin \delta$ будет отрицательным, и $\cos \delta$ — положительным.

3. В формулу всегда подставляется практический часовой угол светила, величина которого лежит в пределах от 0 до 180°. Если $t_м$ оказывается меньше 90°, то $\cos t_м$ считают положительным. Если же $t_м$ будет больше 90°, то аргумент лежит во второй четверти и $\cos t_м$ отрицателен.

В результате исследования устанавливаем знаки I и II членов правой части формулы. При этом оба члена могут быть положительными, и тогда применяют табл. 3-а МТ—75 для сумм, или один член положительным, а другой отрицательным, и тогда применяют табл. 3-б МТ—75 для разностей. В последнем случае lg положительного члена всегда оказывается больше lg отрицательного, так

$\varphi = 72°43{,}8'$ S	sin	9,97996	cos	9,47257	sec h	0,07994
$\delta = 36°09{,}5'$ S	sin	9,77085	cos	9,90708	cos	9,90708
$t_м = 92°01{,}0'$ E	—	—	cos	8,54642	sin	9,99973
(87°59,0′)						
	I	9,75082	II	7,92607	sin A	9,98675
	β	9,99345	АГ	1,82475	A	75°55,0′ SE

$\sin h = 9{,}74427$

$h = 33°42{,}5'$

По табл. 21 МТ—75 устанавливаем приближенную высоту светила на первом вертикале, которая равна 38°. Так как вычисленная высота светила $h = 33°42{,}5'$ меньше, чем $h_1 = 38°$, то делаем вывод, что первая буква наименования четвертного азимута одноименна с φ наблюдателя.

Формула для раздельного вычисления A светила. Для раздельного вычисления A по φ, δ и $t_м$ применим формулу котангенсов. Написав ее для четырех лежащих рядом элементов треугольника (см. рис. 71), получим

$$\operatorname{ctg} A \sin t_м = \operatorname{ctg}(90° - \delta) \sin(90° - \varphi) - \cos t_м \cos(90° - \varphi).$$

После упрощения выражения и выделения неизвестных имеем

$$\operatorname{ctg} A = \frac{\operatorname{tg} \delta \cos \varphi}{\sin t_м} - \frac{\cos t_м \sin \varphi}{\sin t_м}$$

и окончательно

$$\operatorname{ctg} A = \cos \varphi \operatorname{tg} \delta \operatorname{cosec} t_м - \sin \varphi \operatorname{ctg} t_м. \qquad (58)$$

Формула является нелогарифмической и при вычислениях требует исследования на знаки. При этом можно руководствоваться следующими правилами:

все функции φ являются положительными, так как φ не может быть больше 90°;

tg δ принимается положительным, если δ одноименно с φ. Если же φ и δ разноименны, то аргумент δ считается лежащим в четвертой четверти и tg δ приписывается знак минус;

функции $t_м$ принимаются положительными, если $t_м < 90°$. Если же $t_м > 90°$ (аргумент во второй четверти), то cosec $t_м$ считают положительным, а ctg $t_м$ — отрицательным.

Вычисленный по формуле азимут всегда будет полукруговым, т. е. может лежать в пределах от 0 до 180°. При определении ве-

личины азимута (первая или вторая четверть) руководствуются правилами:

если оба члена правой части формулы положительны (+I +II), то $A<90°$, так как ctg A положителен;

если оба члена правой части отрицательны (—I —II), то $A>90°$, так как ctg A отрицателен;

если один член положителен, а другой отрицателен: (+I —II) или (—I +II), то знак ctg A одинаков со знаком члена, логарифм которого больше.

Если в результате исследований на знаки ctg A получил знак минус, то выбранный по логарифму левой части формулы угол принимается за дополнение азимута до 180°, так как полукруговой азимут в этом случае больше 90°.

Первая буква вычисленного по формуле ctg A полукругового азимута всегда одноименна с φ_c, вторая — с наименованием практического часового угла $t_м$.

Пример 64. Дано: $\varphi=43°17'$ N, $\delta=26°22{,}8'$ S, $t_м=8°37{,}7'$ E Вычислить A светила

Решение.

$$\operatorname{ctg} A = \overset{+}{\cos}\,\varphi\,\overset{-}{\operatorname{tg}}\,\delta\,\overset{+}{\operatorname{cosec}}\,t_м - \overset{+}{\sin}\,\varphi\,\overset{+}{\operatorname{ctg}}\,t_м\ (-\mathrm{I}-\mathrm{II})\ \alpha$$

$\varphi=43°17{,}0'$ N	cos	9 8621	sin	9.8361
$\delta=26°22{,}8'$ S	tg	9 6955	—	—
$t_м=8°37{,}7'$ E	cosec	0 8238	ctg	0.8189
	I	0 3814	II	0 6550
	АГ	0 2736	α	0 1854

$$\operatorname{ctg}\,(180°-A)=0\,8404$$

$$180-A=8°13'$$

$$A=N\ 171°47'\ \mathrm{E}$$

§ 48. Определение высоты и азимута светила при помощи специальных таблиц

Как в СССР, так и за рубежом в разное время было издано большое число специальных таблиц, облегчающих и ускоряющих вычисления при получении высот и азимутов светил. Во всех этих пособиях величины h и A выбираются по аргументам φ, δ и $t_м$.

Основным официальным пособием на нашем флоте являются таблицы ВАС—58, принадлежащие к типу численных таблиц, наиболее распространенных во всем мире.

На наших судах используются также таблицы ТВА—57. Ниже дается описание этих таблиц.

Таблицы «Высоты и азимуты светил»: (ВАС—58). Таблицы ВАС—58 относятся к разряду численных, т. е. дающих готовые, заранее вычисленные значения h и A через определенные интервалы аргументов φ, δ и $t_м$.

В таблицах ВАС—58 интервалы всех аргументов в основном установлены в 1°. Для промежуточных значений φ, δ и $t_м$ к выбранным табличным значениям $h_т$ и $A_т$ необходимо вводить поправки.

При учете всех поправок h выбирается с ошибкой около $\pm 0{,}2'$, а азимут $\pm 0{,}1$—$0{,}2°$.

Таблицы издаются в четырех томах. Каждый том охватывает широтную зону в 20°. Том I предназначается для широт 0—19°, том II—20—39°, том III—40—59° и том IV—60—80° как северной, так и южной.

Материал в каждом томе расположен в следующем порядке:

таблицы для исправления высот и указания к ним;

устройство таблиц и правила пользования;

основные таблицы (рис. 75);

табл. 1 (рис. 76), поправки высоты и азимута за широту и склонение,

табл. 2 (рис. 77), поправка высоты за часовой угол,

табл. 3, дополнительная поправка высоты.

В конце тома приведен список звезд, наблюдения которых можно обрабатывать с помощью этих таблиц.

Основные таблицы разделены на секции, каждая из которых охватывает 1° по широте. Широта указывается на клапанах секцией и в заголовке каждой страницы. Внутри секций для табличных значений склонений и местных часовых углов приводятся табличные величины высоты $h_т$, азимута $A_т$ и параллактического угла $q_т$ или его дополнения до 180°.

Часовые углы и склонения (последние в пределах от 0 до 29°) даны через 1°. Дополнительно приведены 18 колонок со склонениями наиболее ярких звезд, где диапазон может превышать 1°.

Вверху и внизу каждой страницы указано — склонение одноименно с широтой или разноименно. При разноименных φ и δ вход в таблицы по склонению снизу и по часовому углу — справа.

Таблицы 1, 2, 3 предназначены для получения поправок к табличным значениям высоты $h_т$ и азимута $A_т$, выбранным из основных таблиц. Эти поправки учитывают разности между заданными аргументами φ, δ и $t_м$ и их ближайшими табличными значениями, по которым осуществлялся вход в основные таблицы.

В таблицах приняты следующие обозначения поправок:

Δh_φ, Δh_δ, Δh_t — поправки табличного значения высоты за разности между заданными и табличными значениями широты, склонения и местного часового угла;

$\Delta h_д$ — дополнительная поправка высоты, выбираемая из табл. 3;

СКЛОНЕНИЕ ОДНОИМЕННО С ШИРОТОЙ

$\varphi = 21°$

δ / t	8° h	8° A	8° q	10° h	10° A	10° q	11° h	11° A	11° q	12° h	12° A	12° q	15° h	15° A	15° q	
	°	°	°	°	°	°	° ′	°	°	° ′	°	°	° ′	°	°	
90°	2 51$_5$	82$_5$	69	3 34$_1$	80$_7$	69	3 55$_3$	79$_7$	69	4 16$_4$	78$_8$	69	5 19$_3$	76$_0$	70	
1	1 56$_0$	82$_2$	69	2 38$_8$	80$_3$	69	3 00$_2$	79$_4$	69	3 21$_5$	78$_4$	69	4 25$_0$	75$_6$	69	
2	1 00$_5$	81$_8$	69	1 43$_6$	80$_0$	69	2 05$_2$	79$_0$	69	2 26$_6$	78$_1$	69	3 30$_8$	75$_3$	69	
3	0 05$_1$	81$_5$	69	0 48$_5$	79$_8$	69	1 10$_2$	78$_7$	69	1 31$_9$	77$_7$	69	2 36$_7$	74$_9$	69	
4	0 50$_2$	98$_9$	111	0 06$_5$	100$_8$	111	0 15$_3$	78$_3$	69	0 37$_2$	77$_4$	69	1 42$_6$	74$_6$	69	86°
95	1 45$_6$	99$_3$	111	1 01$_5$	101$_1$	112	0 39$_5$	102$_1$	112	0 17$_1$	103$_0$	112	0 48$_7$	74$_2$	68	85
	2 40$_8$	99$_6$	112	1 56$_5$	101$_5$	112	1 34$_4$	102$_4$	112	1 12$_0$	103$_3$	112	0 05$_2$	106$_1$	112	4
	3 36$_0$	100$_0$	112	2 51$_3$	101$_9$	112	2 28$_8$	102$_8$	112	2 06$_5$	103$_7$	112	0 58$_9$	106$_5$	112	3
	41 10$_4$	122$_3$	127	39 56$_8$	124$_3$	128	39 19$_2$	125$_4$	129	38 41$_0$	126$_3$	130	36 43$_8$	129$_2$	132	40
	41 57$_5$	123$_1$	128	40 42$_8$	125$_2$	129	40 04$_6$	126$_2$	130	39 25$_9$	127$_2$	130	37 26$_9$	130$_0$	132	9
	42 44$_2$	123$_9$	129	41 28$_4$	126$_0$	130	40 49$_6$	127$_0$	131	40 10$_3$	128$_0$	131	38 09$_6$	130$_9$	133	8
	43 30$_5$	124$_7$	129	42 13$_5$	126$_8$	131	41 34$_1$	127$_9$	131	40 54$_2$	128$_8$	132	38 51$_7$	131$_7$	134	7
	44 16$_3$	125$_6$	130	42 58$_0$	127$_7$	131	42 18$_1$	128$_7$	132	41 37$_6$	129$_7$	133	39 33$_2$	132$_5$	135	6
	60 35$_2$	169$_9$	170	58 36$_8$	$_5$	171	$_5$	170$_3$	171	56 38$_2$	171$_1$	171	53 40$_0$	171$_8$	172	05
	60 44$_1$	171$_9$	172	58 45$_1$	172$_4$	173	57 45$_6$	172$_6$	173	56 46$_0$	172$_8$	173	53 47$_2$	173$_5$	174	4
	60 51$_0$	173$_9$	174	58 51$_6$	174$_3$	175	57 51$_9$	174$_5$	175	56 52$_1$	174$_6$	175	53 52$_8$	175$_1$	175	3
	60 56$_0$	175$_9$	176	58 56$_3$	176$_2$	176	57 56$_4$	176$_3$	176	56 56$_5$	176$_4$	177	53 56$_8$	176$_7$	177	2
	60 59$_0$	178$_0$	178	58 59$_1$	178$_1$	178	57 59$_1$	178$_1$	178	56 59$_1$	178$_2$	178	53 59$_2$	178$_4$	178	1
	61 00$_0$	180$_0$	180	59 00$_0$	180$_0$	180	58 00$_0$	180$_0$	180	57 00$_0$	180$_0$	180	54 00$_0$	180$_0$	180	00
	h	A	q		A	q			q	h	A	q	h	A	q	t / δ
	8°			10°			11°			12°			15°			

$\varphi = 21°$

СКЛОНЕНИЕ РАЗНОИМЕННО С ШИРОТОЙ

Рис 75. Выдержка из основных таблиц ВАС—58

ТАБЛИЦА 1 ПОПРАВКИ ВЫСОТЫ И АЗИМУТА ЗА ШИРОТУ И СКЛОНЕНИЕ

$h = 39° - 51°$

A или φ	+1' Δh	+1' ΔAφ	+1' ΔAδ	+2' Δh	+2' ΔAφ	+2' ΔAδ	+3' Δh	+3' ΔAφ	+3' ΔAδ	Δφ или Δδ +7' Δh	+7' ΔAφ	+7' ΔAδ	+8' Δh	+8' ΔAφ	+8' ΔAδ	+9 Δh	+9 ΔAφ	+13' Δh	+13' ΔAφ	+13' ΔAδ	+14' Δh	+14' ΔAφ	+14' ΔAδ	+15' Δh	+15' ΔAφ	+15' ΔAδ	A или φ	Десятые доли минуты 0′,1	0′,2	0′,3	0′,4	0′,5	0′,6	0′,7	0′,8	0′,9
°	′	°	°	′	°	°	′	°	°	′	°	°	′	°	°	′	°	′	°	°	′	°	°	′	°	°	°	′	′	′	′	′	′	′	′	′
90	0$_0$	0$_0$	0$_0$	0$_0$	0$_0$	0$_0$	0$_0$	0$_0$	0$_1$	0$_0$	0$_1$	0$_2$	0$_0$	0$_1$	0$_1$	0$_0$	0$_2$	0$_0$	0$_2$	0$_3$	0$_0$	0$_3$	0$_4$	0$_0$	0$_3$	0$_4$	0$_5$	90	0$_0$	0$_0$	0$_0$	0$_0$	0$_0$	0$_0$	0$_0$	0$_0$	0$_0$
1	0$_0$			0$_0$			0$_1$			0$_1$			0$_1$			0$_2$		0$_3$			0$_3$			0$_3$			89									
2	0$_0$			0$_1$			0$_1$			0$_3$			0$_3$			0$_3$		0$_5$			0$_5$			0$_6$			88									
3	0$_1$			0$_1$			0$_2$			0$_4$			0$_5$			0$_5$		0$_7$			0$_7$			0$_8$			87							0$_0$	0$_0$	
4	0$_1$			0$_1$			0$_2$			0$_6$			0$_6$			0$_7$		0$_9$			1$_0$			1$_1$			86						0$_0$	0$_0$	0$_1$	0$_1$
125	0$_0$	0$_0$	0$_0$	1$_0$	0$_0$	0$_0$	1$_7$			0$_1$	0$_1$	4$_6$	0$_1$	0$_2$	5$_2$			7$_5$	0$_2$	0$_3$	8$_0$	0$_2$	0$_3$	8$_6$	0$_3$	0$_3$	55	0$_1$	0$_1$	0$_2$	0$_2$	0$_3$	0$_3$	0$_4$	0$_4$	0$_5$
6	0$_0$			1$_2$			1$_8$			4$_7$			5$_3$			7$_7$		0$_3$	8$_2$			8$_8$			4						0$_4$				
7	0$_0$			1$_2$			1$_8$			4$_8$			5$_4$			7$_8$		0$_2$	8$_4$			9$_0$			3									0$_5$	
8	0$_0$			1$_3$			1$_9$			4$_9$		0$_2$	5$_5$			8$_0$			8$_6$			9$_3$			2			0$_2$						0$_6$	
9	0$_0$			1$_3$			1$_9$			5$_0$		0$_1$	5$_7$			8$_2$			8$_8$			9$_5$			1			0$_3$								
9	1$_0$			2$_0$									8$_0$			9$_0$		13$_0$			14$_0$			0			1									
180	1$_0$	0$_0$	0$_0$	2$_0$	0$_0$	0$_0$	3$_0$	0$_0$	0$_0$				0$_0$	0$_0$	8$_0$	0$_0$	0$_0$	13$_0$	0$_0$	0$_0$	14$_0$	0$_0$	0$_0$	15$_0$	0$_0$	0$_0$	00	0$_1$	0$_2$	0$_3$	0$_4$	0$_5$	0$_6$	0$_7$	0$_8$	0$_9$
	−1'			−2'			−3'			−7'			−8'			−9		−13'			−14'			−15'			A или φ	0′,1	0′,2	0′,3	0′,4	0′,5	0′,6	0′,7	0′,8	0′,9

Знак ΔA_φ одинаков со знаком $\Delta\varphi$, знак ΔA_δ определяется по основным таблицам

Рис. 76 Выдержка из таблицы 1 ВАС—58

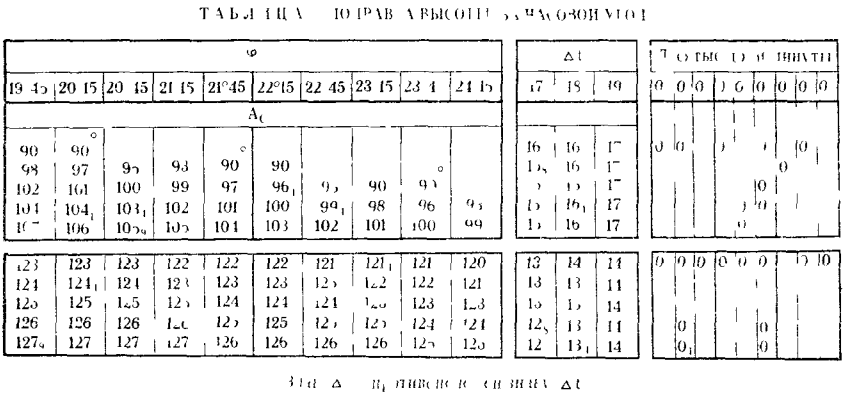


Рис 77. Выдержка из таблицы 2 ВАС—58

ΔA_φ, ΔA_δ, ΔA_t — поправки табличного значения азимута за разности между заданными и табличными значениями широты, склонения и местного часового угла;

Выборка h и A по таблицам ВАС—58 производится с использованием типовой схемы (см. пример 65). При вычислениях придерживаются следующего порядка.

1. Вписывают в схему заданные значения аргументов φ, δ и $t_м$ и отмечают одноименные или разноименные φ и δ

2. Записывают ближайшие к заданным табличные значения φ, δ и $t_м$.

3. Из заданных значений аргументов вычитают табличные и вписывают из разности $\Delta\varphi$, $\Delta\delta$ и Δt с указанием знаков

4. Входят в основные таблицы с табличными значениями аргументов. Выбирают и вписывают в схему табличные значения $h_т$, $A_т$ и $q_т$ Здесь же непосредственным интерполированием по вертикали находят поправку азимута за минуты часового угла (ΔA_t) со своим знаком и записывают в схему. По соседней колонке определяют и записывают знак поправки азимута за минуты склонения (ΔA_δ).

5. Из табл 1 определяют поправки высоты и азимута за минуты широты (Δh_φ и ΔA_φ) и склонения (Δh_δ и ΔA_δ). Выбор этих поправок из таблицы производится следующим образом

по величине $h_т$ определяют нужный диапазон таблицы (пределы высот в каждом диапазоне напечатаны на клапанах);

первым входом в табл. 1 выбирают поправки Δh_φ и ΔA_φ на пересечении столбца $\Delta\varphi$ и строки $A_т$. Если при этом $\Delta\varphi$ отрицательна, то входят в таблицу снизу, а $A_т$ берется справа. Поправку Δh_φ интерполируют за десятые доли градуса азимута, а также придают к ней разность за десятые доли минуты $\Delta\varphi$, которую определяют с помощью таблицы, напечатанной на полях. Знак Δh_φ указывается вверху и внизу колонки поправок или непосредственно перед поправкой. Знак ΔA_φ одинаков со знаком $\Delta\varphi$;

вторым входом в табл. 1 выбирают поправки Δh_δ и ΔA_δ на пересечении столбца $\Delta\delta$ и строки $q_т$ Если при этом $\Delta\delta$ отрицательна, то входят в таблицу снизу, а $q_т$ берется справа Поправку Δh_δ интерполируют за десятые доли минуты $\Delta\delta$ с помощью таблицы, напечатанной на полях. Знак Δh_δ указывается вверху и внизу колонки поправок или непосредственно перед поправкой. Знак ΔA_δ был определен по основным таблицам.

6. Сложением всех поправок азимута с $A_т$ находят искомый A светила, который получается в полукруговом счете:

$$A = A_1 + \Delta A_\varphi + \Delta A_\delta + \Delta A_t.$$

Первая буква наименования азимута всегда одноименна с φ, вторая — с практическим $t_м$.

7. Из табл. 2 определяют поправку высоты за часовой угол Δh_t. Выборку поправки Δh_t производят следующим образом:

по величине φ определяют диапазон таблицы (пределы широт в каждом диапазоне указаны на клапанах);

в столбце, ближайшем к заданному значению φ, находят A или, если необходимо получить h с максимальной точностью, $A - \frac{\Delta A_t}{2}$;

на пересечении строки найденного A и столбца Δt выбирают поправку Δh_t. Поправку в случае необходимости интерполируют по азимуту, а также придают к ней разность за десятые доли минуты Δt, которую находят в той же строке на полях таблицы. Знак Δh_t всегда противоположен знаку Δt.

8. Из табл. 3 определяют дополнительную поправку высоты $\Delta h_д$. Эту выборку делают только при необходимости получить h светила с максимальной точностью. Если же в h достаточна точность $\pm 0{,}3'$, то этой поправкой можно пренебречь. Если $\Delta\varphi$ меньше $10'$, а ΔA_δ меньше $0{,}3°$, то $\Delta h_д$ оказывается несущественной и табл. 3 можно в этих случаях не пользоваться.

Выбор поправки $\Delta h_д$ производят следующим образом:

по знаку ΔA_δ определяют вход в таблицу. Если ΔA_δ положительна, то вход сверху по этой поправке и слева по A и $\Delta\varphi$. Если ΔA_δ отрицательна, то вход снизу по этой поправке и справа по A и $\Delta\varphi$,

по A, ближайшему к выбранному, находят нужную колонку и в ней — строку, соответствующую $\Delta\varphi$;

на пересечении строки $\Delta\varphi$ и столбца ΔA_δ выбирают поправку $\Delta h_д$ (знак поправки указывается в таблицах).

9 Сложением всех поправок высоты с $h_т$ находят искомую h светила:

$$h = h_1 + \Delta h_\varphi + \Delta h_\delta + \Delta h_t + \Delta h_д.$$

Пример 65. Дано. $\varphi = 21°13{,}3'$ S, $\delta = 10°51{,}7'$ N; $t_м = 39°42{,}1'$ E Определить h и A светила.

Решение.

Заданные	Табличные	Зад.—табл. (Δ)	Поправки	$h_г$	$A_г$	$q_т$
				39°19,2′	125,4°	129°
φ=21°13,3′ S	21°	+13,3′	за φ	—7,8′	+0,2°	
δ=10°51,7′ N	11°	— 8,3	за δ	+5,2	—0,1	
$t_м$=39°42,1′ E	40°	—17,9	за t	+13,6	+0,2	
			Доп.	0,0	S 125,7° Est	
φ и δ разноименные			h	39°30,2′		

При решении примера 65 применена развернутая схема вычислений, приведенная в объяснении к ВАС—58. На практике выработаны упрощенные схемы записей, позволяющие несколько сократить объем работы при получении h и A. Образцы таких упрощенных схем даны в § 59.

Применение таблиц ВАС—58 при высотах, бóльших 73°. Табл. 1 составлена для высот до 73°, в то время как в малых широтах высоты Солнца могут достигать и бóльших значений. В подобных случаях для расчета h и A при определении обсервованного места судна пользуются специальным приемом *перемещенного счислимого места* (ПМ). Под перемещенным местом понимают условную точку, широта которой соответствует счислимой, но округленной до целого градуса, а долгота подбирается такой величины, чтобы при сложении ее с гринвичским часовым углом получить местный часовой угол в целых градусах. После подбора координат перемещенного места ($\varphi_{пм}$, $\lambda_{пм}$, $t_{пм}$) задача решается в следующем порядке:

из основных таблиц по $\varphi_{пм}$, $t_{пм}$ и склонению $\delta_т$ выбрать $h_т$, $A_т$ и $q_т$. Интерполированием получить ΔA_δ, а также вычислить половину изменения величины q за δ, т. е. $\frac{\Delta q_\delta}{2}$;

рассчитать вспомогательный аргумент

$$q' = q + \frac{\Delta a_\delta}{2};$$

войти в первый диапазон высот (0—22°) табл. 1 и по $\Delta\delta$ и q' выбрать поправку высоты за склонение Δh_δ;

сложением $h_т$ и $A_т$ с поправками Δh_δ и ΔA_δ получить искомые h и A светила.

Пример 66. φ=15°20,3′ N; λ=42°15,0′ W; $t_{гр}$=49°45,5′ W; δ=6°24,3′ N. Определить h и A светила, используя перемещенное место.

Решение.

$\varphi_{ПМ} = 15°$

$t_{гр}$	49°45,5′ W	$t_{ПМ}$	8°00,0′ W
$\lambda_с$	42 15,0 W	$t_{гр}$	49 45,5 W
$t_м$	7°30,5′ W	$\lambda_{ПМ}$	41°45,5′ W

Заданные	Табличные	Зад.—табл. (Δ)	$h_т$	78°03,2′	$A_т$	138,0°
$\varphi_{ПМ} = 15°$ N	15°	—	$\Delta h\varphi$	—	$\Delta A\varphi$	—
$\delta = 6°24{,}3'$ N	6	+24,3′	$\Delta h\delta$	+18,4	$\Delta A\delta$	—1,3°
$t_{ПМ} = 8°$ W	8	—	Δh_t	—	ΔA_t	—
$q_т = 40°$						
	$\frac{\Delta q\delta}{2} = +0{,}8°$		h	78°21,6′	A	136,7° NW
	$q' = 40{,}8°$					

Применение метода перемещенного места при высотах, меньших 73°. Недостаток таблиц ВАС—58 — это большее число поправок для исправления $h_т$ и $A_т$, а также довольно сложное построение таблиц для выборки этих поправок. Поэтому на практике при работе с таблицами иногда пользуются приемом перемещенного места также и при высотах, меньших 73°. В результате получается выигрыш во времени вычислений, так как интерполирование табличных величин производится только по склонению и число поправок к $h_т$ и $A_т$ уменьшается до двух. Табл. 2 и 3 при этом не используются.

Сущность приема и примеры на его применение при одновременных и разновременных наблюдениях светил рассмотрены в § 66.

Таблицы для вычисления высоты и азимута (ТВА—57). В основу построения этих таблиц, разработанных А. П. Ющенко, положено решение параллактического треугольника светила, разделенного сферическим перпендикуляром на два прямоугольных треугольника (рис. 78).

Величина x представляет собой расстояние от экватора до основания перпендикуляра p и может иметь величину от 0 до 180°.

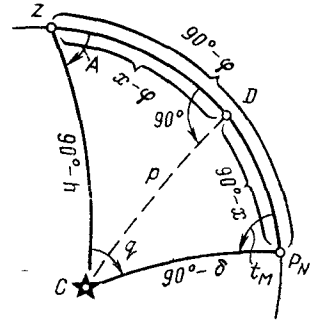


Рис. 78. Параллактический треугольник, разделенный на два прямоугольных

Решая прямоугольные треугольники P_NDC и ZDC по правилам сферической тригонометрии, можно получить группу формул для вычисления A и h:

$$\operatorname{tg} A = \frac{\operatorname{tg} t \sec [90^\circ + (x \sim \varphi)]}{\sec x}; \tag{59}$$

$$\operatorname{tg} h = \frac{\operatorname{tg} [90^\circ + (x \sim \varphi)]}{\sec A}, \tag{60}$$

где $90^\circ + (x \sim \varphi)$ обозначают через y.

Величина x из треугольника определяется по формуле

$$\operatorname{tg} x = \operatorname{tg} \delta \sec t. \tag{61}$$

В приведенные формулы входят только две тригонометрические функции ces α и tg α. Для упрощения вычислений и повышения их точности автор таблиц видоизменил логарифмы sec и tg:

$$S(\alpha) = 2 \cdot 10^4 \lg \sec \alpha; \quad T(\alpha) = 2 \cdot 10^4 \lg \operatorname{tg} \alpha + 70725. \tag{62}$$

Преобразование логарифмов позволило при вычислениях пользоваться только целыми положительными числами.

Формулы (59), (60) и (61) после логарифмирования и введения обозначений S и T получили вид:

$$T(A) = T(t) - S(x) + S(y); \quad T(h) = T(y) - S(A); \quad T(x) = T(\delta) + S(t).$$

По этим формулам составляют схемы, в которые вписывают значения $T(\alpha)$ и $S(\alpha)$, выбираемые из ТВА—57 по соответствующим аргументам (см. пример 67).

Материал в таблицах расположен в следующем порядке:

объяснение, в котором кроме обоснования таблиц даются правила работы при вычислении h и A, а также при решении некоторых навигационных задач;

вспомогательные таблицы для исправления высот светил;

10°

	S	T											S	
		00	01	02	03	04	05	06	07	08	09			
0	2315	692 01	692 02	692 02	692 03	692 03	692 04	692 04	692 05	692 05	692 06	692 06	2317	59
1	17	06	07	07	08	08	09	10	10	10	11	12	19	58
2	19	12	12	13	13	14	14	15	15	16	16	17	21	57
3	21	17	17	18	18	19	19	20	20	21	21	22	23	56
4	23	22	22	23	23	24	24	25	25	26	26	27	26	55
5	2326	692 27	692 28	692 28	692 28	692 29	692 30	692 30	692 31	692 31	692 32	692 32	2328	54
6	28	32	2	33	34	34	35	35	36	3	-	37	30	53
58	40	98	98	99	695 00	695 00	695 01	695 01	695 02	[illegible]	[illegible]	695 03	42	1
59	42	695 00	[illegible]	695 0[illegible]	05	05	06	06	07	[illegible]	08	08	41	0
	S		9	0 5	0[illegible]	0 6	0 5	0 4	0 3	0 2	0 1	0 0	S	
		T												

11

Рис. 79. Выдержка из таблиц ТВА — 57

таблицы для вычисления высоты и азимута (основные).

Представленные в основных таблицах (рис. 79) функции $T(\alpha)$ и $S(\alpha)$ даются для углов от 0 до 180°, что соответствует наибольшим возможным значениям аргументов $t_м$, δ, x и y.

Величины $T(\alpha)$ приводятся для интервалов аргументов в 0,1′, что позволяет избежать интерполирования при выборке. Значения функций $S(\alpha)$ для углов от 75 до 104° также даны через 0,1′. Для остальных углов интервалы для выборки $S(\alpha)$ составляют 1′. Однако малые табличные разности позволяют легко интерполировать $S(\alpha)$ на десятые доли минуты в уме.

При вычислении h и A светил придерживаются следующего порядка:

составляют схему, в которую вписывают значение аргументов δ, $t_м$ и φ;

выбирают по δ и $t_м$ величины функций $T(\delta)$, $S(t)$ и $T(t)$;

складывают значения $T(\delta)$ и $S(t)$ и по полученной функции $T(\alpha)$ обратным входом в таблицы находят вспомогательную величину x, а затем $S(x)$.

При нахождении x следует руководствоваться правилами: если $t_м<90°$, то и $x<90°$ и его следует выбирать в таблицах сверху, если же $t_м>90°$, то $x>90°$ и его выбирают в таблицах снизу; величине x всегда приписывают наименование δ,

рассчитывают величину $y=90°+(x\sim\varphi)$ и по ее значению выбирают и вписывают в схему $S(y)$ и $T(y)$.

При вычислении y знак $\sim$ в скобках означает вычитание из большей величины меньшей при одноименных x и φ и сложение при разноименных x и φ,

берут разность функций $T(t)$ и $S(x)$ и к полученной величине $T(p)$ прибавляют значение $S(y)$. В результате получают функцию $T(A)$;

обратным входом по функции $T(A)$ из таблиц выбирают значение A, а затем $S(A)$.

Если значение A больше 75°, то во избежание крупной ошибки в l, могущей достичь нескольких минут, при выборке $S(A)$ следует руководствоваться специальным правилом: при азимутах, больших 75°, изменение функции $T(A)$ и $S(A)$ одинаково, поэтому точное значение азимута не определяется, а величину $S(A)$ находят путем прибавления к ближайшему ее табличному значению той же разности, на которую отличается вычисленное значение $l(A)$ от своего ближайшего табличного. Такой же порядок выборки функций $S(x)$ следует применять при $t_м$, близком к 90.

Полученный из таблиц азимут будет четвертного счета. Первая буква его наименования берется одноименной с φ только при $x>\varphi$ и одноименных. В остальных случаях первая буква наименования азимута разноименна с φ. Вторая буква наименования азимута всегда одного наименования с практическим $t_м$; по разности функций $T(y)$ и $S(A)$ определяют значение $T(h)$, по которому обратным входом в таблицы выбирают искомую высоту h.

Пример 67. Дано: $\varphi=25°21{,}5'$ N; $\delta=07°09{,}3'$ N, $t_м=51°56{,}7'$ W. Определить h и A.

Решение

δ	07°09,3′ N	$T(\delta)$	52700				
$t_м$	51 56,7 W	$+\ S(t)$	4202	$T(t)$	72852		
x	11°30,6′ N	$T(x)$	56902	$-\ S(x)$	177		
φ	25 21,5 N			$T(p)$	72675	$T(y)$	82888
$y = 90° + (x \sim \varphi)$	103°50,9′			$+\ S(y)$	12419	$-\ S(A)$	14525
A	79°10,4′ SW = 259,2°			$T(A)$	85094	$T(h)$	68363
h	37°18,2′						

При вычислениях может оказаться, что $t_м$ или A (в четвертном счете) будут равны 90°. В подобных случаях задача решается по упрощенным схемам, которые приводятся в объяснении таблиц.

Преимуществом ТВА—57 является их компактность и некоторое сокращение времени вычислений h и A по сравнению с основными формулами. Получение h обеспечивается по таблицам со средней квадратической ошибкой $\pm 0{,}2'$ при любых значениях аргументов.

§ 49. Применение для расчета высоты и азимута электронных вычислительных машин

В последние десятилетия для производства различных математических операций создано множество типов быстродействующих электронных вычислительных машин (ЭВМ). Их применение для обработки навигационной информации позволяет упростить и значительно ускорить решение задач судовождения, в том числе и расчет высоты и азимута светила из параллактического треугольника.

Классификация ЭВМ, применяемых в судовождении. Используемые в настоящее время на судах ЭВМ в зависимости от технических особенностей и целевого назначения можно разделить на четыре типа.

Беспрограммные электронные клавишные вычислительные машины (ЭКВМ), называемые также *микрокалькуляторами,* предназначены для выполнения арифметических, тригонометрических и некоторых иных математических операций. Этот тип ЭКВМ наиболее прост в работе и дешев, поэтому широко распространен (отечественные микрокалькуляторы серии «Электроника», японские фирмы «Касио» и др.). Использование беспрограммных ЭКВМ для расчета h и A поясняется ниже.

Специализированные программные ЭКВМ имеют постоянные программы для решения нескольких навигационных и астрономических задач. После введения через клавиатуру кодового номера или символа задачи на табло-индикаторе высвечивается сразу конечный результат решения. Эти ЭКВМ способны выполнять и все общие вычислительные операции, как обычные калькуляторы. К такому типу относятся выпускавшиеся одно время отечественные машины

«Контакт—2Н», а также встречающиеся на судах японские ЭКВМ — NC—2, NC—77 и др.

Универсальные программные ЭКВМ позволяют изменять программы вычислений — например, отечественная машина МК—56. В некоторых моделях этого типа ЭКВМ программы записываются на магнитные карточки или обычные магнитофонные кассеты и подключаются по мере необходимости к машине. К этому типу относятся отечественные «Электроника ДЗ.28», «Искра—125», зарубежная NP—97. Подготовка и наличие на судне «библиотеки» таких программ помогает быстро и точно решать значительное количество задач по различным разделам судовождения.

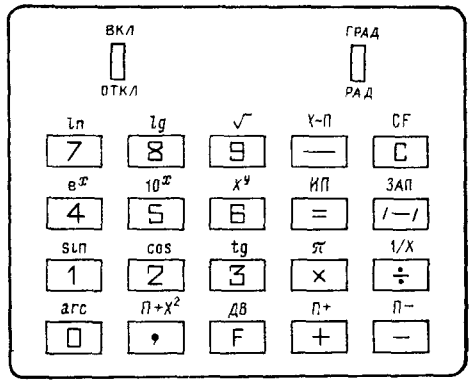


Рис. 80. Клавиатура ЭКВМ

ЭВМ автоматизированных комплексов (например, советская система «Бриз») имеют большой объем памяти и автоматический ввод показаний точного времени, компаса, лага и других судоводительских приборов. Все это обеспечивает высокую эффективность подобных комплексов и предотвращает ошибки ввода исходных данных.

Наиболее перспективны и удобны для судовых условий универсальные ЭКВМ со сменными программами. Однако по ряду причин в ближайшее время их широкого внедрения на флот ожидать не приходится.

Расчет азимута и высоты светила на микрокалькуляторах. Одним из самых распространенных отечественных микрокалькуляторов, пригодных для решения параллактического треугольника, является ЭКВМ «Электроника-18А», схема клавиатуры которой дана на рис. 80. Для успешной работы на ней надо прежде всего разобраться в значении клавиш, которыми производится ввод информации.

Всего имеется 20 клавиш, каждая из которых позволяет выполнять две операции — обозначенную непосредственно на клавише или указанную над ней. Во втором варианте предварительно следует нажать клавишу совмещенной функции, обозначенную буквой «F». Так, в частности, набираются значения тригонометрических функций (sin, cos, tg) и обратных тригонометрических функций arc).

Цифровая группа клавиш служит для ввода в машину численных величин (клавиши от 0 до 9), которые высвечиваются на табло-индикаторе, создавая так называемый рабочий регистр. При последовательном нажатии клавиш «F» и «ЗАП» обозначенная на

табло величина заносится в регистр памяти. Для извлечения числа из памяти следует нажать клавиши «F» и «ИП».

Оперативная группа задает характер выполняемой операции: «+», «—», «÷» (деление), «=», «/—/» (перемена знака числа на индикаторе), «,» (клавиша ввода запятой для дробных чисел).

Значения других клавиш, применяемых при расчете h и A:

«П+»— при нажатии этой клавиши после «F» к содержимому памяти прибавляется число с индикатора;

«П—»— при нажатии после «F» из содержимого памяти вычитается число с индикатора.

Для решения разбираемой задачи требуется предварительно переводить значения углов в градусы с десятичными долями, а в финале — делать обратный перевод. Для этого верхний переключатель ставится в положение «ГРАД», затем количество минут с десятыми долями делится на 60 и результат прибавляется к целому числу градусов аргумента.

Например, имеем: $\varphi = 30°32{,}5'$. Схема решения (тут и далее, как это принято, обозначения нажимаемых клавиш помещены в прямоугольные скобки, а полученные на индикаторе цифровые величины заключены в круглые скобки):

32,5[÷]60[=](0,5416666). Результат округляется до третьего десятичного знака, т. е.: 0,542. Запись: $\varphi = 30{,}542°$.

Схема обратного перевода: получили $h = 47{,}827031°$, набираем дробную часть числа — мантиссу: 0,827031[×]60[=](49,62186), или округлено до десятых долей 49,6. Запись: $h = 47°49{,}6'$. Иногда в начале подобного расчета от полученной величины h вычитают на машине целое количество градусов: 47,827031[—]47[=](0,827031) и далее, как выше.

Клавиша «С» обеспечивает сброс набранного на индикаторе числа. При этом не происходит очистки памяти, это достигается последовательным нажатием клавиш «О», «F», «ЗАП» или, проще, последовательным отключением — включением питания: «ОТКЛ», «ВКЛ».

Освоив путем тренировки указанные операции, можно приступать к решению задачи нахождения высоты и азимута по φ, t и δ. Для этого предварительно составляется алгоритм вычислений — порядок действий (нажатий клавиш), который обеспечивает получение результата с наименьшим числом нажатий. Выбранные для решения формулы разбиваются на части, соответствующие этапам расчета на применяемой ЭКВМ.

Наиболее удобна для расчета A и h система формул, полученных из параллактического треугольника:

$$\operatorname{tg} A = \frac{\sin t}{(\operatorname{tg}\delta - \operatorname{tg}\varphi \cos t_м)\cos\varphi}; \quad \cos h = \frac{\cos\delta \sin t}{\sin A}. \qquad (63),(64)$$

При решении соблюдаются следующие правила:

если δ разноименно с φ, после набора tg δ следует нажать клавишу перемены знака [/—/], так как δ считается в этом случае отрицательной величиной и tg δ тоже отрицателен;

если азимут в расчете получается отрицательный, надо найти его дополнение до 180°, для чего нажимается клавиша [+] и набирается 180;

азимут в расчете по данной формуле получается всегда полукруговой, первая буква его наименования берется по наименованию φ, вторая по наименованию практического t, причем в ответе значение A округляется до десятых долей градуса;

величина h получается в градусах с десятыми долями и затем для ответа переводится в градусы с минутами и десятыми долями минут.

При решении по ЭКВМ проверить результат можно повторным вычислением или решением задачи «в две руки».

Решение задачи определения A и h на ЭКВМ «Электроника-18А» удобно разбить на этапы и применить схематический порядок записи нажимаемых клавиш и высвечиваемых на индикаторе численных величин. Предварительно, как было уже сказано, следует перевести мантиссы аргументов из угловых минут в доли градуса.

1. Набор φ, нахождение tg φ, запоминание. Схема записи: φ[F][tg][E][ЗАП] (результат).

2. Набор δ, нахождение tg δ, умножение на отрицательный tg φ, запоминание результата. Схема: t[F][cos][×][/—/][F][ИП][=][F][ЗАП] (результат).

3. Набор δ, нахождение tg δ перемена знака при разноименных δ и φ/, суммирование с результатом пункта 2, извлечение за памяти, запоминание результата. Схема: δ[F][tg][/—/][F][П+] (результат).

4. Набор φ, нахождение cos φ, умножение на результат п. 3, запоминание. Схема: φ [F][cos][+][F][ИП][=][ЗАП] (результат).

5. Набор t, нахождение sin t, деление на результат п. 4. Схема: t [F][sin][÷][F][ИП][=] (результатом является значение правой части формулы tg A).

6. Нахождение A по arc tg A (при отрицательном A определение 180—A]). Схема: [F][ARC][tg][+]180[=] (результат).

7. Нахождение sin A, его запоминание. Схема: [F][sin][F][ЗАП] (результат).

8. Набор δ, нахождение cos δ, деление на sin A из п. 7, запоминание. Схема: δ[F][cos][÷][F][ИП][F]=[ЗАП] (результат).

9. Набор t, нахождение sin t, умножение на результат п. 8. Схема: t[F][sin][×][F][ИП][=] (результат).

10. Нахождение h по arc cos h, перевод долей градуса высоты в минуты с десятыми долями. Схема: [F] [ARC] [cos] (результат) [—] h° [=] (мантисса) [×]60 [+] h° [=] (результат в градусах и дуговых минутах).

11. Запись ответа: азимут и его наименование, высота.

Пример 68. Дано: φ=49°08,6′ S; t=35°13,7′ W; δ=23°23,9′ N. Определить A и h светила

Решение (по этапам с записью промежуточных результатов для облегчения контроля).

Перевод минут в доли градуса:

8,6 [÷] 60 [=] (0,1433333). Округленно $\varphi = 49{,}143°$ S.
13,7 [÷] 60 [=] (0,2283333). Округленно $t = 35{,}228°$ W.
29,9 [÷] 60 [=] (0,3983333). Округленно $\delta = 23{,}398°$ N.
Нахождение азимута и высоты:
1. 49,143 [F] [tg] [E] [ЗАП] (1,156183)
2. 35,228 [F] [cos] [×] [/—/] [F] [ИП] [=] [F] [ЗАП] (—0,9444431)
3. 23,398 [F] [tg] [/—/] [F] [П+] [F] [ИП] [F] [ЗАП] (—1,3771401)
4. 49,143 [F] [cos] [×] [F] [ИП] [=] [F] [ЗАП] (—0,9008892)
5. 35,228 [F] [sin] [÷] [F] [ИП] [=] (—0,6402907)
6. [F] [ARC] [tg] (—32,63106) [+] 180 [=] (147,36894)
7. [F] [sin] [F] [ЗАП] (0,539228)
8. 23,398 [F] [cos] [÷] [F] [ИП] [=] [F] [ЗАП] (1,7020054)
9. 35,228 [F] [sin] [×] [F] [ИП] [=]) (0,9817694)
+10. [F] [ARC] [cos] (10,95772) [—] 10 [=] (0,95722) × 60 [=] (57,4332)
11. *Ответ:* $A = $ S 147,4° W; $h = 10°57{,}4'$.

Более совершенные модели ЭКВМ «Электроника-35» и «Электроника-36» позволяют упростить вычисление A и h. При работе с ними не требуется вводить в память машины промежуточные результаты арифметических действий. Кроме того, наличие клавиш так называемых двухуровневых скобок обеспечивает более короткий путь расчета для математических выражений, заключенных в скобки. Эти клавиши имеют такой вид и значение: [[(] — скобки открываются; [)]] — скобки закрываются.

Алгоритм — схема для расчета A на указанных микрокалькуляторах будет такой:

t [F][sin][÷][[(] δ [F][tg][/—/][—][[(] φ [F][tg][×] t [F][cos][)]][)]] [÷] φ [F] [cos] [=] [ARC] [tg] [+] 180 [=]

Примечания: 1) Перемена знака [/—/] в девятой операции вводится, если δ и φ разноименны

2) операции [+] 180 в конце расчета проводятся, если азимут первоначально получится отрицательный.

Соответственно схема для расчета h:

δ[F][cos][×] t [F][sin][÷] A [F][sin][=][ARC][cos]

Здесь также надо затем перевести десятичные доли градусов в дуговые минуты.

Пример 69. Дано: $\varphi = 31°20{,}5'$ S; $t = 52°01{,}2'$ E; $\delta = 12°04{,}8'$ N. Определить A и h с применением ЭКВМ «Электроника-36».

Решение.

1. Расчет аргументов в градусах с десятичными долями:

20,5 [÷] 60 [+] 31 [=] (31,341)

1,2 [÷] 60 [+] 52 [=] (52,02)

4,8 [÷] 60 [+] 12 [=] (12,08)

2. Расчет A:

52,02 [F] [sin] [÷] [[(] 12,08 [F] [tg] [/—/] [—] [[(] 31,341 [F] [tg] [×] 52,02 [F] [cos] [)]] [)]] [÷] 31,341 [F] [cos] [=] [ARC] [tg] (—57,4631) [+] 180 [=] (122,5369)

3. Расчет h.

12,08 [F] [cos] [×] 52,02 [F] [sin] [÷] 122,5369 [F] [sin] [=] [ARC] [cos] (23,8976) [—] 23 [×] 60 [=] (53,856)

Ответ: $A = S\ 122{,}5°\ E$; $h = 23°53{,}8'$.

Задачи для самостоятельного решения

В указанных ниже примерах для контроля значения аргументов приведены также в градусах с десятичными долями, а кроме того, даны окончательные ответы. Решение можно проводить на ЭКВМ «Электроника-36» или «Электроника-18А»

	φ	t	δ	A	h
1.	60°30,0′ S	86°49,8′ W	56°50,0′ S	54,8° SW	48°01,6′
	(60,5°)	(86,83°)	(56,833°)		
2.	44°37,6′ S	17°21,2′ E	23°26,3′ S	S 140,5° E	64°30,7′
	(44,627°)	(17,353°)	(23,438°)		
3.	49°52,0′ N	126°22,7′ W	61°48,5′ N	25,9° NW	29°33,2′
	(49,867°)	(126,378°)	(61,808°)		

Глава 14

Определение поправки компаса по небесным светилам

§ 50. Общие соображения об астрономическом определении поправки компаса

Определение поправки компаса в море является одной из важнейших задач в судовождении. Не зная верного значения ΔК, судоводитель не в состоянии обеспечить необходимой точности счисления пути судна, а также и навигационных обсерваций. Как известно, поправки судовых компасов определяют по береговым створам. Однако с течением времени по различным причинам величины поправок гироскопических и особенно магнитных компасов претерпевают изменения. Вследствие этого при нахождении судна в рейсе необходимо систематически определять верные значения поправок компасов. В открытом море это возможно делать только по небесным светилам, т. е. астрономическими методами. В прибрежном плавании, когда нет возможности воспользоваться специальными створами, определение поправки компаса также следует делать астрономическим путем, так как точность определения ΔК при единичном пересечении створа оказывается недостаточной.

Из курса навигации известно, что величина и знак общей поправки компаса определяются как разность истинного и компасного направлений на какой-либо объект:

$$\Delta К = ИП - КП. \qquad (65)$$

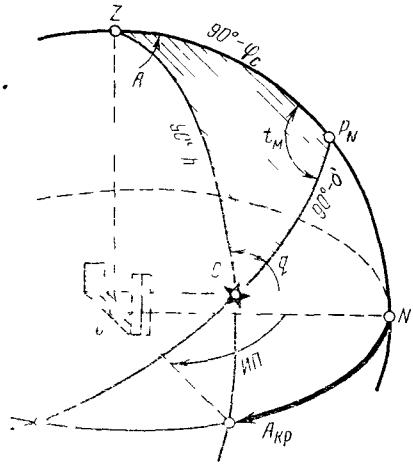


Рис 81 Вычисление азимута при определении поправки компаса

При этом ИП береговых створов указывается на карте или в навигационном пособии. Величину компасного пеленга створа получают по компасу в момент нахождения судна на створной линии.

При астрономическом определении ΔК также наблюдается компасный пеленг какого-либо светила, но его ИП судоводителю приходится рассчитывать самому.

Истинный пеленг светила представляет собой его азимут, выраженный в круговом счете, т. е.:

$$\Delta К = A - КП. \qquad (66)$$

Для получения азимута A решают параллактический треугольник светила $P_N ZC$ (рис. 81), соответствующий моменту пеленгования Так как при взятии компасного пеленга светила замечают точное гринвичское время, то в параллактическом треугольнике могут считаться известными следующие его элементы:

сторона 90°—φ_c, где φ_c снимается с карты по замеченным l_c и ол;

сторона 90°—δ, где δ выбирается из МАЕ по $T_{гр}$ наблюдений;

угол $t_м = t_{гр} \pm \lambda_c^{E}W$, где $t_{гр}$ выбирается из МАЕ по $T_{гр}$ наблюдений, λ_c снимается с карты.

По трем известным элементам — φ_c, δ и $t_м$ азимут светила может быть вычислен из треугольника по известной уже из § 47 формуле (58):

$$\operatorname{ctg} A = \cos \varphi_c \operatorname{tg} \delta \operatorname{cosec} t_м - \sin \varphi_c \operatorname{ctg} t_м.$$

На практике для вычисления азимута пользуются не формулой, а таблицами ВАС—58 или ЭКВМ.

Так как при получении азимута принимаются в расчет счислимые координаты судна φ_c и λ_c, в которых могут содержаться значительные погрешности, то и в вычисленном азимуте A также может возникнуть погрешность. В свою очередь КП светила содержит в себе систематические и случайные погрешности наблюдений. Следовательно, поправка компаса, вычисляемая по формуле (66), будет иметь погрешность большей или меньшей величины. Однако, как показывают исследования, ΔК вычисляется с достаточной для практики точностью, если при ее определении соблюдать некоторые рекомендации.

Так, для уменьшения влияния погрешностей в φ_c и λ_c на вычисленный азимут следует подбирать для наблюдений светила с высотой не больше 15—20°.

Для уменьшения систематических погрешностей в КП рекомендуется: периодически производить выверку пеленгатора;

в момент взятия пеленга удерживать визирную плоскость пеленгатора в вертикале светила, для чего не наклонять котелок компаса руками влево или вправо, а при наличии у пеленгатора уровня — следить за его положением;

подбирать светила с небольшими высотами, при которых возможно их непосредственное пеленгование без употребления откидного зеркала. Это последнее требование согласуется с условиями, при которых погрешности в счислимых координатах оказывают наименьшее влияние на точность вычисляемого A светила.

Причинами появления случайных погрешностей пеленгования являются неточное совмещение нити предметной мишени со светилом, погрешности в отсчетах пеленга по картушке, погрешности от неодновременности наведения пеленгатора и взятия отсчета, а также погрешности самого компаса в момент пеленгования. При качке судна, вызывающей его рыскание, величины случайных погрешностей резко возрастают

Для уменьшения случайных погрешностей рекомендуется:

как можно точнее совмещать визирную нить предметной мишени со светилом или его центром (при пеленговании Солнца и Луны);

отсчеты пеленгов по картушке производить одновременно с наведением визирной нити на светило;

не ограничиваться единичным наблюдением, а брать три — пять отсчетов пеленгов с последующим их осреднением.

Необходимо помнить, что наблюдения при определении $\Delta К$ нельзя выполнять во время циркуляции, а также в течение некоторого времени после ее завершения. Определение поправки гироскопического компаса, например, следует производить не ранее чем через 2—3 ч после последнего маневра, когда чувствительный элемент окончательно установится в меридиане.

§ 51. Общий случай определения поправки компаса с вычислением азимута светила по таблицам ВАС-58 и с помощью ЭКВМ

При определении поправки компаса с применением таблиц ВАС—58 можно наблюдать Солнце, Луну, планеты, а также наиболее яркие навигационные звезды (список их приводится в таблицах).

Следует, однако, помнить, что для уменьшения влияния погрешности в принятых счислимых координатах, а также для увеличения точности наблюдений высота светила не должна превышать 15—20°. Подбор подходящего светила при ночных наблюдениях (звезды или планеты) производят непосредственно на звездном небе или с помощью звездного глобуса. Солнце наблюдают в утренние или вечерние часы, когда его высоты небольшие.

При определении поправки компаса применяют указанный ниже примерный порядок работы, причем время, затраченное на наблюдения и вычисления, не должно превышать 30 мин.

Подготовка к наблюдениям. Подобрать светило для наблюдений.

Наблюдения. 1. В быстрой последовательности взять три — пять пеленгов светила, замечая момент по хронометру с точностью до 5 с.

2. Заметить судовое время, ол и КК судна.

Вычисления. 1. По замеченным T_c и ол снять с карты φ_c с точностью до 1′.

2. Вычислить среднее арифметическое из взятых пеленгов $КП_{ср}$ и замеченных моментов хронометра $T_{хр_{ср}}$. Если по компасу наблюдался ОКП светила, то перевести его в КП (КП=ОКП±180°).

3. По T_c и номеру часового пояса получить приближенное гринвичское время и гринвичскую дату.

4. По моменту хронометра $T_{хр_{ср}}$ и его поправке $u_{хр}$ вычислить гринвичское время наблюдений $T_{гр}$.

5. Вычислить с помощью МАЕ местный практический часовой угол $t_м$ и склонение δ светила.

6. Занести в схему для вычислений по ВАС—58 ближайшие к заданным табличные значения φ_c, δ и $t_м$ и образовать разности, которые округлить до целых минут. Выбрать из основных таблиц значение $A_т$, а также непосредственным интерполированием по тем же таблицам получить величины и знаки поправок ΔA_δ и ΔA_t.

Если высота светила меньше 20°, то поправкой азимута за широту ΔA_φ можно пренебречь, так как в этом случае она не превышает 0,1°. При бо́льшей высоте пеленгуемого светила, что на практике применяют редко, из основных таблиц выбрать значение $h_т$ в целых градусах для определения диапазона h в табл. 1. В нужном диапазоне этой таблицы по аргументам $A_т$ и $\Delta\varphi$ найти поправку ΔA_φ. Знак поправки одинаков со знаком $\Delta\varphi$

Сложением $A_т$ с найденными поправками ΔA_φ, ΔA_δ и ΔA_t получить искомый азимут светила в полукруговом счете.

Первая буква его наименования всегда одноименна с широтой, а вторая — с практическим часовым углом.

Для расчета поправки компаса азимут перевести в круговой счет

7 Получить поправку компаса по формуле

$$\Delta К = А - КП_{ср}$$

Пример 70. 28 июня 1981 г., Черное море $T_c = 17^ч20^м$, ол=38,3 м, $\varphi_c = 41°50′$ N, $\lambda_c = 30°02′$ E, $u_{хр} = -1^м18^с$, КК=262°, получили ср ОКП$_\odot$ =96°,0′; $T_{хр_{ср}} = 03^ч19^м35^с$ Определить ΔК

Решение

28/VI	T_c	$17^ч20^м$	$t_г^\odot$	44°12,4′ (+0,9′)	$\delta_г^\odot$	23°15,9′N (—0,1′)
	N_E	2	$\Delta_1 t$	4 33,9	$\Delta\delta$	0,0
28/VI	$T_{гр}$	$15^ч20^м$	$\Delta_2 t$	0,3	$\delta_\odot$	23°15,9′N
	$T_{хр}$	$3^ч19^м35^с$	$t_{гр}^\odot$	48°46,6′	$\delta_\odot$	23°16′N
	$u_{хр}$	—1 18	λ_E	30 02,0		
28 VI	$T_{гр}$	$15^ч18^м17^с$	$t_м^\odot$	78°48,6′		
			$t_{пр}$	78°49′W		

	$A_г$	79,2°
$\varphi_c = 42° — 10′N$	ΔA_φ	—0,1
$\delta = 23° + 16′N$	ΔA_δ	—0,3
$t_м = 79° — 11′W$	ΔA_t	+0,1
$h_г = 23°$	A	78,9°NW
	A	281,1°

A	281°,1
КП	276,0
ΔК	+5°,1

Определение ΔК с помощью ЭКВМ. Использование ЭКВМ для расчета азимута светила проиллюстрируем на примере.

Пример 71. 1 февраля 1981 г, Тихий океан, утро, $T_c = 4^ч58^м$, ол = 45 м, $\varphi_c = 56°55′$ S, $\lambda_c = 79°50′$ W Ср ГКП звезды Арктур равен 13,5°, $T_{хр} = 9^ч38^м10^с$, $u_{х_г} = +20^м10^с$, КК = 352° Определить ΔГК

Решение

1/II

	T_c	$4^ч58^м$	$t_т^\curlyvee$	266°28,9′
+	№W	5	$\Delta t^\curlyvee$	14 37,4
	$T_{гр}$	$9^ч58^м$	$t_{гр}^\curlyvee$	281°06,3′
—			λ_W	79 50,0
	$T_{хр}$	$9^ч38^м10^с$	$t_м^\curlyvee$	201°16,3′
	$u_{хр}$	+20 10	+	
	$T_{гр}$	$9^ч58^м20^с$	τ_*	146 18,2
			$t_м^*$	347°34,5′ W
			$t_{пр}$	12°25,5′ E
			δ_*	19°16,8′ N

Расчет ИП на ЭКВМ «Электроника 18А» [см § 40, формула (63)]
Перевод минут в доли градуса
φ_c 55 [—] 60 [=] (0,917)

$t_ч$ 25,5 [÷] 60 [=] (0,425)
δ 16,8 [÷] 60 [=] (0,28)

Решение по этапам для контроля:

1 56,917 [F] [tg] [F] [ЗАП] (1,534991)
2 12,425 [F] [cos] [×] [/—/] [F] [ИП] [=] [F] [ЗАП] (—1,4990399)
3 19,28 [F] [tg] [/—/] [F] [П+] [F] [ИП] [F] [ЗАП] (—1,8488429)
4 56,917 [F] [cos] [×] [F] [ИП] [=] [F] [ЗАП] (—1,0091982)
5 12,425 [F] [sin] [÷] [F] [ИП] [=] (—0,2131999)
6. [F] [ARC] [tg] (—12,03526) [+] 180 [=] 167,96474 ≈ 168° SE = 12°.

Определение ΔГК:

—	ИП	12°
	ГКП	13,5
	ΔГК	—1,5°

§ 52. Частные случаи определения поправки компаса

Определение поправки компаса в момент видимого восхода или захода Солнца. В момент касания верхнего края Солнца линии видимого горизонта центр светила располагается ниже истинного горизонта, т. е. имеет отрицательную высоту. При высоте глаза наблюдателя $e = 12$ м, наиболее характерной для большинства судов, снижение центра Солнца в момент его видимого восхода или захода составляет —57,8′. Оно складывается из наклонения горизонта, среднего полудиаметра, параллакса и рефракции (рис. 82):

$$h_{\odot} = -d - R_{\odot} + p - \rho = -6{,}1' - 16{,}0' + 0{,}1' - 35{,}8' = -57{,}8.$$

При известном снижении азимуты Солнца в момент его видимого восхода или захода могут быть заранее рассчитаны по преобразованной формуле:

$$A = 2\,\mathrm{arctg} \times \sqrt{\frac{\cos(\varphi + 57{,}8') - \sin\delta}{\cos(\varphi - 57{,}8') + \sin\delta}}. \qquad (67)$$

Значения азимутов для φ от 0 до 72° и δ от 0 до 24°, приводятся в табл. 20-а и 20-б МТ — 75.

Выборку табличного азимута $A_т$ из табл. 20-а и 20-б производят 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 получают в полукруговом счете. В северном полушарии наименование азимута будет NO при восходе и NW при заходе. В южном полушарии SO при восходе и SW при заходе.

Получение поправки компаса в момент видимого восхода или захода Солнца на практике сводится к следующему. С помощью

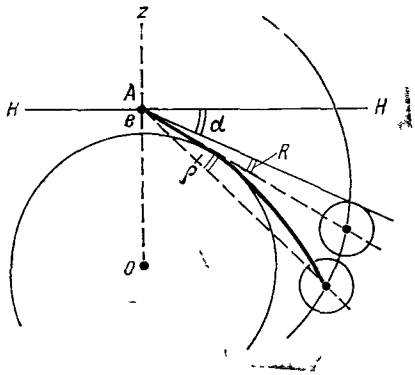


Рис. 82. Снижение Солнца в момент его видимого восхода или захода

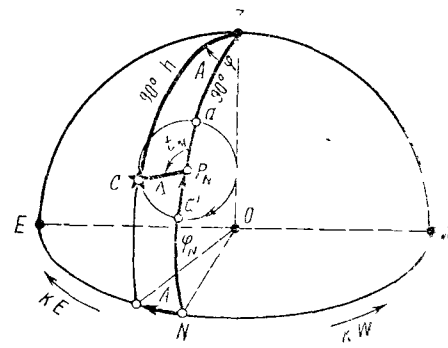


Рис. 83 Определение поправки компаса по Полярной звезде

МАЕ рассчитывают предварительно судовое время захода (восхода) и берут компасный пеленг верхнего края светила в момент касания его линии видимого горизонта. Если наблюдения проводят утром, то, чтобы не пропустить момент появления верхнего края Солнца, рекомендуется заранее выбрать из табл. 20-а или 20-б приближенный азимут его восхода, который переводится в компасный пеленг. За несколько минут до рассчитанного судового времени восхода устанавливают пеленгатор по вычисленному пеленгу и замечают отсчет по картушке при появлении верхнего края Солнца.

При пеленговании Солнца следует замечать время по судовым часам, которое переводят в гринвичское для выборки из МАЕ приближенной величины склонения (с точностью до 0,1°) и снятия счислимой широты.

Азимут Солнца, полученный из табл. 20-а или 20-б, для сравнения с $КП_{\odot}$ переводят в круговой счет.

Пример 72. 26 сентября 1981 г. Атлантический океан. $T_c = 18^ч10^м$; ол = =72,5 м; КК=32°; e=10 м; $\varphi_c = 34°16'$ N и $\lambda_c = 23°06'$ W. В момент видимого захода Солнца $ГКП_{\odot} = 267°$. Определить ΔГК.

Решение.

26/IX	T_c	$18^ч10^м$	Из МАЕ по $T_{гр}$ захода $\delta_{\odot} \approx 1$, 4°S
	+		
	№W	2	Из табл. 20,б по φ_c и δ (разноименные)
			$A_{\odot} = N\,91°,1\,W$
26/IX	$T_{гр}$	$20^ч10^м$	

A	268°,9
КП	267,0
ΔГК	+1°,9

Этот сравнительно простой способ определения поправки компаса должен рассматриваться как приближенный, так как берется один пеленг Солнца и, следовательно, не представляется воз-

можным уменьшить влияние случайных погрешностей наблюдений и выявить возможный промах. Кроме того, если высота глаза наблюдателя отличается от 12 м, вычисленная поправка компаса будет содержать некоторую погрешность и по этой причине.

Определение поправки компаса по наблюдениям Полярной звезды. При плавании в малых северных широтах удобным объектом для определения поправки компаса является Полярная звезда.

Так как полярное расстояние $\Delta = 90° - \delta$ этой звезды составляет приблизительно 0,9°, то в суточном движении она описывает вокруг Северного полюса мира параллель, сферический радиус которой очень мал (рис. 83). Вследствие этого высота Полярной в любой момент остается близкой к высоте полюса, или, что все равно, к широте наблюдателя. Азимуты Полярной меняются незначительно и могут находиться в пределах от 0 при кульминации звезды до 1,2° NO или NW в элонгациях для широт, меньших 35°. Указанные обстоятельства позволяют получить упрощенную формулу для вычисления азимута Полярной.

Применив формулу синусов для решения параллактического треугольника светила $P_N ZC$, напишем

$$\frac{\sin A}{\sin \Delta} = \frac{\sin t_м}{\sin (90° - h)}. \qquad (68)$$

Выделив неизвестное, получим

$$\sin A = \sin \Delta \sin t_м \sec h. \qquad (69)$$

Учитывая, что полярное расстояние Δ и азимут A невелики, заменим синусы этих углов самими углами, выраженными в отвлеченной мере,

$$A' \operatorname{arc} 1' = \Delta° \operatorname{arc} 1° \sin t_м \sec h, \qquad (70)$$

или

$$A° = \Delta° \sin t_м \sec h. \qquad (71)$$

Примем высоту звезды h равной широте наблюдателя φ, так как их разность не превышает 0,9°. Одновременно заменим часовой угол его выражением из основной формулы времени:

$$t_м = S_м - \alpha. \qquad (72)$$

В результате получим

$$A = \Delta \sec \varphi \sin (S_м - \alpha). \qquad (73)$$

Если подставить в формулу (73) средние за данный год значения прямого восхождения α и полярного расстояния Δ Полярной звезды (на 1981 г. $\alpha \approx 33°$ и $\Delta \approx 49'$), то величина азимута будет являться функцией только двух переменных: широты φ и местного звездного времени $S_м$. По формуле (73) для разных значений аргументов φ и $S_м$ на данный год вычисляется таблица «Азимут Полярной», включаемая в МАЕ.

Выбранный из таблицы азимут соответствует NO или NW четверти горизонта. Правило определения наименования четверти приводится внизу таблицы.

Определение поправки компаса по Полярной звезде возможно в широтах от 0 до 15° N при непосредственном пеленговании светила 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 $S_м = t_м^{\curlyvee}$. Выбранный из таблицы по $t_м^{\curlyvee}$ и $\varphi_с$ азимут звезды переводят в круговой счет.

Пример 73. 28 января 1981 г, Индийский океан В $T_с = 22^ч30^м$, ол = 75,5 мили, в $\varphi_с = 09{,}9°$ N и $\lambda_с = 58{,}1°$ E измерили средний ГКП Полярной, равный 357,5°; ГКК = 12°. Определить поправку компаса

Решение

28/I	$T_с$	$22^ч30^м$	$t_г^{\curlyvee}$	37°54′	$A = 0{,}8°$ NW		
	— №E	4	Δt	7 31		A	359,2°
28/I	$T_{гр}$	$18^ч30^м$	$t_{гр}^{\curlyvee}$	45°25′		— КП	357,5
			+ λ_E	58 06		ΔГК	+ 1,7°
			$t_м^{\curlyvee}$	103°31′			
			$t_м^{\curlyvee}$	103°,5			

Глава 15

Основы определения места судна в море методом высотных линий положения

§ 53. Понятие об изолинии и линии положения в судовождении. Круг равных высот

Географические координаты судна в открытом море могут быть определены разными путями. Однако в практике мореходной астрономии наибольшее распространение получил метод высотных линий положения. Выясним, что следует понимать под термином «высотная линия положения».

При получении места судна навигационными способами на карте прокладывают отрезки прямых линий или участки дуг ок-

ружностей: линии двух или трех пеленгов; дуги окружностей, радиусы которых равны расстояниям до береговых предметов, и т. д.

Все эти линии обладают тем свойством, что в любой из своих точек они сохраняют постоянным значение какой-либо измеренной величины. Например, для любой точки линии пеленга постоянной величиной является угол между меридианом, проходящим через данную точку, и направлением на предмет. Для любой точки окружности постоянным остается расстояние до предмета или, в другом случае, величина вертикального угла, под которым усматривается с окружности предмет.

Линии, отвечающие постоянному значению какой-либо измеренной величины, называются *изолиниями*.

Таким образом, во всех рассмотренных примерах мы имеем дело с прокладкой на карте изолиний.

Все величины, которые измеряются с целью определить обсервованное место судна, в судовождении принято называть *навигационными параметрами*, а полученные по этим измерениям изолинии — навигационными.

Если в результате каких-либо измерений на карте была построена навигационная изолиния, то место судна должно находиться в одной из ее точек. Однако для получения места необходимо нанести на карту по крайней мере еще одну изолинию, полученную одновременно с первой и имеющую с ней только одну общую точку. Точка пересечения двух таких навигационных изолиний и будет являться местом судна.

В практике судовождения обычно не возникает необходимости в нанесении на карту изолиний на всем их протяжении. Например, при определении места судна по двум расстояниям, измеренных до двух предметов, вместо окружностей наносят в районе счислимого места небольшие отрезки их дуг (засечки).

В некоторых случаях изолинии могут быть сложного вида, неудобного для построения их на меркаторской карте. Поэтому небольшие участки изолиний часто заменяют отрезками прямых. Прямые проводят касательно к изолинии, вблизи счислимого места, или в виде хорды, проходящей через две точки, близкие к счислимому месту (рис. 84).

Отрезок прямой, касательный к навигацинной изолинии в точке, ближайшей к счислимому месту, называется *линией положения*[1].

Замена изолиний линиями положения несколько снижает точность получения места судна. Однако при определенных ограничениях возникающие ошибки оказываются несущественными.

Получение обсервованного места в мореходной астрономии так же, как и в навигации, производится путем нанесения на карту

[1] Иногда в судовождении под линией положения понимают изолинию, отвечающую конкретному измерению. Касательная к ней в этом случае называется приближенной линией положения.

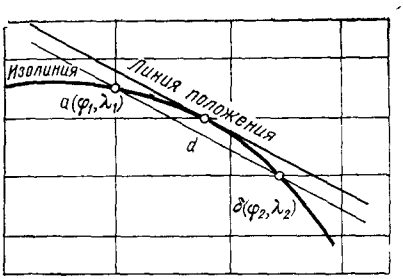


Рис 84 Изображение изолинии и линии положения

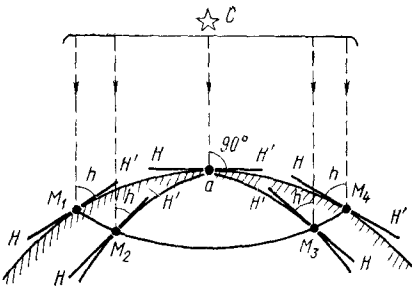


Рис 85 Круг равных высот светил

навигационных изолиний или заменяющих их линий положения.

Изолиниями в мореходной астрономии являются окружности, носящие название кругов равных высот.

Кругом равной высоты называют малый круг на поверхности Земли, в любой точке которого определенное светило имеет в данный момент одну и ту же высоту.

Светило C (рис. 85) имеет в точках M_1 и M_4 круга одинаковую высоту h. Можно доказать, что во всех других точках этого круга M_2, M_3 и т. п. высота светила C также равна h, т. е. круг M_1, M_2, M_3, M_4 является кругом равной высоты светила.

Светило C имеет множество кругов равной высоты, соответствующих разным значениям h. Все такие круги имеют общий центр в точке a. Эта точка является проекцией светила на поверхность Земли и называется *полюсом освещения* круга равных высот. Если высота светила составляет 90°, наблюдатель находится в полюсе освещения a и видит светило над головой. Если высота равна 0° то наблюдатель видит светило на горизонте и круг равных высот становится большим кругом, разделяющим Землю на две половины — освещенную и неосвещенную.

Если измерить одновременно высоты двух светил и по значениям этих высот нанести на изображение Земли два круга равных высот, то точка пересечения изолиний, ближайшая к счислимой, укажет обсервованное место судна. Вместо кругов равных высот на карту могут быть нанесены отрезки прямых линий, касательные к кругам вблизи счислимого места. Такие прямые линии получили название *высотных линий положения.*

§ 54. Нанесение кругов равных высот на глобус

Круги равных высот для получения обсервованного места судна наиболее просто можно нанести на глобус, который является моделью Земли. Для обоснования решения этой задачи рассмотрим рис. 86, изображающий земной шар и окружающую его

небесную сферу. Центр сферы находится в центре Земли, а весь чертеж выполнен на плоскости произвольного меридиана $P_N Q' P_S Q$. Основные плоскости и направления на Земле продолжены до пересечения с небесной сферой. Дуги qq' на Земле и QQ' на небесной сфере представляют собой земной и небесный экваторы. Соответственно дуги $p_n l_0 p_s$ и $P_N L_0 P_S$ является земным и небесным гринвичскими меридианами.

В произвольной точке на сфере изобразим светило C, экваториальные координаты которого в данный момент равны δ_C и $t_{гр}{}^C$. Соединив точку C с центром Земли, получим на ее поверхности полюс освещения светила a. Из рис. 86 видно, что место светила C является зенитом полюса освещения.

Через светило и его полюс освещения a проведем небесный и земной меридианы $P_N L P_S$ и $p_n l p_s$. Рассматривая рисунок, видим, что $\smile la = \smile LC$ и $\smile l_0 l = \smile L_0 L$, так как они стягивают попарно одни и те же центральные углы. Но так как $\smile la$ равна широте φ_a полюса освещения, а $\smile LC$ есть склонение светила δ_C, то $\varphi_a = \delta_C$. В свою очередь, $\smile l_0 l$ равна долготе λ_a полюса освещения, а $\smile L_0 L$ измеряет гринвичский часовой угол $t_{гр}{}^C$ светила. Следовательно, $\lambda_a = t_{гр}{}^C$. В результате выявлены соотношения между географическими координатами полюса освещения и экваториальными координатами светила:

$$\varphi_a = \delta_C;$$
$$\lambda_a = t_{гр}^C. \qquad (74)$$

Предположим, что в какой-то момент гринвичского времени наблюдателем, находящимся в неизвестной для нас точке земной поверхности, измерена высота светила C, оказавшаяся равной h. Из места светила C, как из центра, опишем на небесной сфере малый круг $Z_1 Z_2 Z_3 Z_1$, сферический радиус которого примем равным зенитному расстоянию светила $z = 90° - h$. Очевидно, что зенит любого наблюдателя, усматривающего в данный момент времени светило C на высоте h, должен располагаться на этом круге. Соединив все точки круга $Z_1 Z_2 Z_3 Z_1$, который называют кругом равных зенитных расстояний, с центром Земли, получим на ее поверхности малый круг $M_1 M_2 M_3 M_1$ с центром в полюсе освещения светила a.

Так как этот малый круг является проекцией круга $Z_1 Z_2 Z_3 Z_1$ на поверхность Земли, то сферический радиус его также будет равен $z = 90° - h$ и, следовательно, все наблюдатели, расположенные на нем (точки M_1, M_2, M_3), будут иметь одинаковое зенитное расстояние светила C, равное радиусу круга.

Если равны зенитные расстояния, то равны и высоты. Поэтому все наблюдатели, расположенные в данный момент времени на малом круге $M_1 M_2 M_3 M_1$, видят светило C на одинаковой высоте h, а сам круг $M_1 M_2 M_3 M_1$ является кругов равной высоты.

В одной из точек круга располагается обсервованное место наблюдателя, для получения которого необходимо иметь на тот

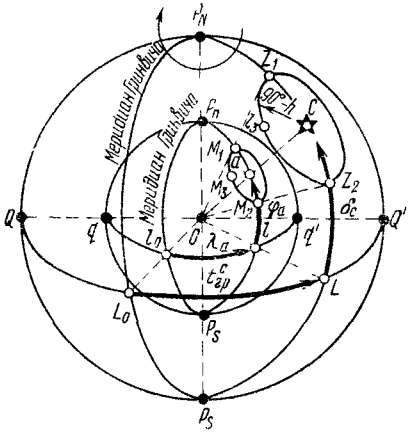


Рис. 86. Нанесение кругов равных высот на сферу

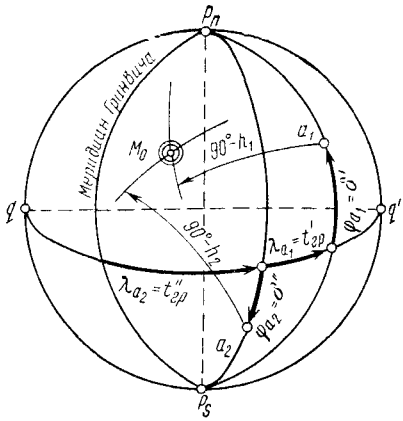


Рис. 87. Нанесение кругов равных высот на глобус

же момент времени еще одну изолинию, полученную по наблюдениям второго светила и пересекающуюся с первой.

Приведенные рассуждения позволяют обосновать метод нанесения кругов равных высот на земной глобус. Подобрав два светила, наблюдатель измеряет их высоты h_1 и h_2, замечая по хронометру, поправка которого известна, гринвичское время наблюдений. На замеченные моменты наблюдений из МАЕ выбирают гринвичские часовые углы (практические) и склонения наблюдавшихся светил. На основании соотношения (74) $t_{гр}$ и δ светил численно равны географическим координатам их полюсов освещения a_1 и a_2.

Нанеся полюса освещения по их координатам на глобус (рис. 87), принимают их за центры, из которых сферическими радиусами $z_1 = 90° - h_1$ и $z_2 = 90° - h_2$, взятыми в масштабе глобуса, описывают в районе счислимой точки судна отрезки дуг кругов равных высот. Точка пересечения этих дуг представит собой обсервованное место наблюдателя M_0.

Несмотря на простоту рассмотренного способа получения места судна, он не может быть применен на практике. Действительно, желая получить свое место с точностью 1′, т. е. 1 мили, необходимо, чтобы миля изображалась на глобусе отрезком по крайней мере в 1 мм. Однако в этом случае глобус должен иметь диаметр около 7 м. Заменить построения на глобусе аналогичными построениями на карте, выполненной в достаточно крупном масштабе, в общем случае также оказывается невозможным. Крупномасштабная морская карта охватывает собой лишь небольшой район земной поверхности, в то время как радиусы кругов равных высот могут даже при сравнительно больших высотах светил достигать тысяч миль. Так, например, при $h = 50°$ величина в радиусах $z = 40°$ или в милях $40° \times 60' = 2400$ миль. Заметим при этом, что из-за присущих меркаторской проекции искажений кру-

ги равных высот изображаются на ней различными по форме и сложными в построении кривыми линиями, носящими название циклических кривых. Только при плавании в малых широтах, когда высоты Солнца у верхней кульминации могут достигнуть величин бо́льших 88°, небольшие радиусы кругов равных высот ($z \leqslant \leqslant 120$ миль) и незначительные искажения меркаторской проекции в прилегающих к экватору районах позволяют делать прокладку изолиний на карте рассмотренным способом.

§ 55. Нанесение высотных линий положения на меркаторскую карту прокладкой от счислимого места (метод Сент-Илера)

Для получения обсервованного места судна достаточно нанести на карту небольшие участки кругов равных высот в районе точки их пересечения. При этом с допустимой для практики погрешностью небольшие отрезки кривых могут заменяться прямыми линиями (касательными или хордами), т. е. высотными линиями положения. В различное время было разработано несколько способов прокладки линий положения непосредственно на карте без нанесения на нее полюсов освещения светил.

Наибольшее распространение получил метод построения высотных линий положения, предложенный в 1875 г. французским моряком Сент-Илером. Сущность метода видна из рис. 88, на котором показаны полюс освещения некоторого светила a, счислимое место наблюдателя M_c и два круга равных высот. Один из кругов, обозначенный $(h)\,(h)$, соответствует обсервованной, т. е. измеренной, высоте наблюдавшегося светила и описан радиусом $z = 90° - h$. Точка K на этом круге, лежащая на кратчайшем расстоянии от счислимого места M_c, носит название *определяющей точки*.

На круге $(h)\,(h)$ располагается обсервованное место судна. Другой круг, обозначенный $(h_c)\,(h_c)$, соответствует счислимой высоте того же светила, т. е. высоте, вычисленной по координатам счислимого места M_c. Радиус этого круга $z_c = 90° - h_c$. Угол NM_ca между меридианом счислимого места и направлением на полюс освещения представляет собой счислимый истинный пеленг полюса освещения ИП. Наконец, отрезок M_cK, который в судовождении принято называть *переносом* и обозначать Δh, есть расстояние от счислимого места до круга равных высот $(h)\,(h)$. Величина переноса равна разности радиусов кругов или разности обсервованной и счислимой высот светила:

$$\Delta h = M_cK = (90' - h_c) - (90° - h) = h - h_c.$$

Проведя в определяющей точке перпендикуляр к линии M_ca, получим отрезок $I—I$, касательный к кругу равных высот. Так как точка касания K лежит на кратчайшем расстоянии от счислимого места судна M_c, то отрезок $I—I$ является ничем иным, как высотной линией положения наблюдателя.

Из рассмотрения рис. 88 следует, что для нанесения на меркаторскую карту высотной линии положения $I—I$ необходимо и достаточно знать счислимый ИП полюса освещения a и расстояние $M_cK=\Delta h$ по линии пеленга от счислимого места M_c до определяющей точки K. Эти две величины называют элементами высотной линии положения.

Для выяснения способа нахождения численных значений ИП и переноса Δh изобразим на чертеже земной шар и окружающую его небесную сферу (рис. 89). Нанесем на чертеж светило C и его полюс освещения a. Предположим, что в какой-то момент гринвичского времени наблюдателем измерена высота светила h. Известным уже нам способом нанесем на сферу круг равных зенитных расстояний DD', а на земную поверхность — соответствующий ему круг равных высот dd', на котором должно располагаться обсервованное место наблюдателя. Напомним, что сферические радиусы этих кругов принимаются равными $z=90°-h$.

Допустим теперь, что в момент наблюдений счислимое место судна находилось в точке M_c, а зенит счислимого места — в точке Z_c небесной сферы. Этим точкам соответствуют счислимые круги ff' и FF', сферические радиусы которых равны $Z_cf=90°-h_c$. Нанесем земной и небесный меридианы точек M_c и Z_c — дуги p_nM_cl и P_NZ_cL. Соединив счислимое место M_c по кратчайшему расстоянию с полюсом освещения a, проведем в определяющей точке K высотную линию положения $I—I$ и укажем ее элементы: ИП и Δh.

Соединим теперь зенит счислимого места Z_c со светилом C с дугой большого круга Z_cC. Точку пересечения этой дуги с кругом DD' обозначим K и также назовем определяющей точкой. В результате построений на сфере получен параллактический треугольник P_NZ_cC. Входящие в него координаты светила h_c и A_c

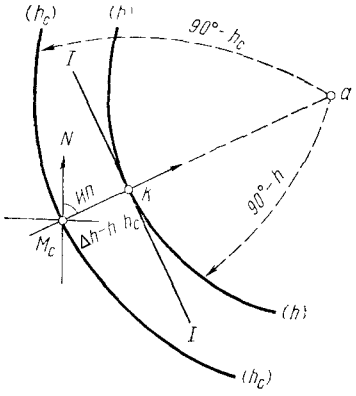


Рис. 88. Объяснение сущности метода прокладки высотных линий положения от счислимого места

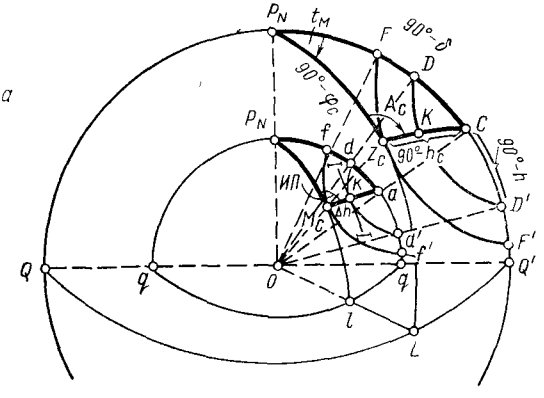


Рис. 89. Обоснование метода расчета элементов высотной линии положения

отнесены к счислимому месту судна, т. е. равны высоте и азимуту, под которыми наблюдателем усматривалось бы светило C из точки M_c. Поэтому треугольник $P_N Z_c C$ и его элементы h_c и A_c называются счислимыми.

Сравнив треугольник $P_N Z_c C$ с земным треугольником $p_n M_c a$, легко убедимся в равенстве их сходственных элементов, так как первый из них является проекцией второго на небесную сферу. Следовательно, истинный пеленг полюса освещения ИП может быть получен расчетом счислимого азимута светила A_c из параллактического треугольника $P_N Z_c C$. Из того же треугольника рассчитывают значение h_c, необходимой для вычисления переноса $\Delta l = h - h_c$.

Расчет A_c и h_c из треугольника $P_N Z_c C$ производят по формулам сферической тригонометрии с помощью специальных таблиц или ЭКВМ.

При этом известными элементами треугольника являются: сторона $P_N Z_c = 90° - \varphi$, где φ_c снимается с карты на момент наблюдения светила; сторона $P_N C = 90° - \delta$, где δ выбирается из МАЕ по замеченному при наблюдениях $T_{гр}$; угол $Z_c P_N C$, равный практическому $t_м = t_{гр} \pm \lambda_W^E$, где $t_{гр}$ светила также выбирается из МАЕ по $T_{гр}$ наблюдений, а λ_c снимается с карты.

Для получения h_c и A_c при помощи таблиц логарифмов применяют формулы (56) и (57):

$$\sin h_c = \sin \varphi_c \sin \delta + \cos \varphi_c \cos \delta \cos t_м,$$

$$\sin A_c = \cos \delta \sin t_м \sec h_c.$$

Порядок работы при получении h_c и A_c из счислимого треугольника $P_N Z_c C$ с помощью таблиц ВАС — 58 и ТВА — 57 или ЭКВМ рассмотрен в § 48 и 49.

Особенностью предложенного Сент-Илером метода прокладки высотных линий положения является независимость этих линий от принятых счислимых координат.

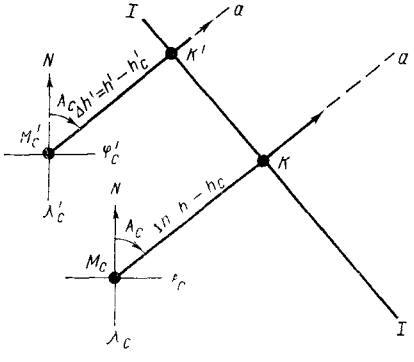


Рис. 90. Свойства высотной линии положения

Если изменять на рис. 89 положение счислимой точки M_c, следовательно, и положение места зенита Z_c, то в каждом случае будет образовываться новый счислимый параллактический треугольник $P_N Z_c C$. В то же время положение круга равных высот, определяемое обсервованной высотой h, останется неизменным. Это означает, что при вычислении элементов линии положения из серии треугольников, построенных для разных счислимых точек, но для одних и тех же значений величин h, $t_{гр}$ и δ, получим разные зна-

чения переносов $h—h_c$ и азимутов A_c. Однако в результате прокладки вычисленных A_c и Δh из всех этих счислимых точек будет получена одна и та же высотная линия. При этом изменения величины A_c оказываются несущественными, если расстояния счислимых точек от обсервованной будут находиться в нормальных для судовождения пределах. Все сказанное поясняется рис. 90, на котором показана прокладка элементов линий положения, рассчитанных по результатам одних и тех же наблюдений, но для разных счислимых точек M_c и M_c'. В обоих случаях на карте получена одна линия положения $I—I$.

На рассмотренном свойстве высотной линии основано применение метода перемещенного места, используемого при работе с таблицами ВАС—58.

§ 56. Приемы прокладки высотных линий на карте и листе бумаги

Различные случаи расположения счислимого места относительно круга равных высот. На практике счислимое место судна может располагаться как вне круга равных высот (M_c на рис. 88), так и внутри круга (M_c' на рис. 91), а также и на самом круге (M_c'' нарис. 92). В первом случае величина переноса $\Delta h = h—h_c$ будет положительной, так как радиус счислимого круга больше, чем радиус обсервованного. Определяющая точка K по отношению к счислимому месту M_c располагается в направлении к полюсу освещения (светилу).

Во втором случае величина переноса $\Delta h = h — h_c$ будет отрицательной, так как радиус счислимого круга здесь меньше, чем обсервованного. Определяющая точка K по отношению к M_c' будет

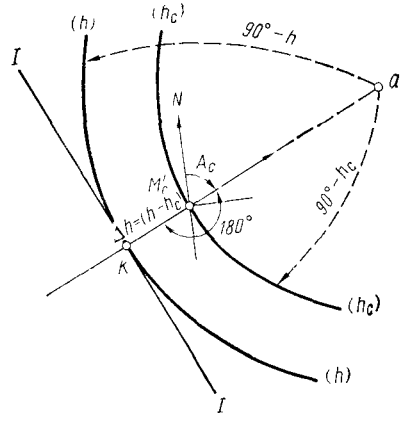


Рис. 91. Прокладки высотных линий положения при счислимом месте внутри круга равных высот

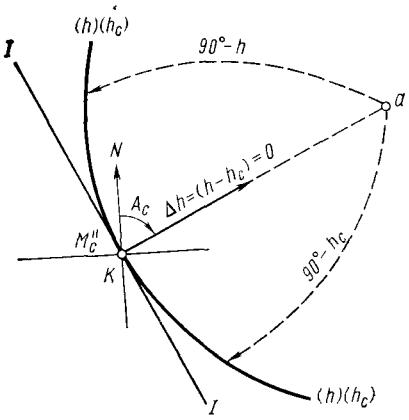


Рис. 92. Прокладка высотных линий положения при счислимом месте на круге равных высот

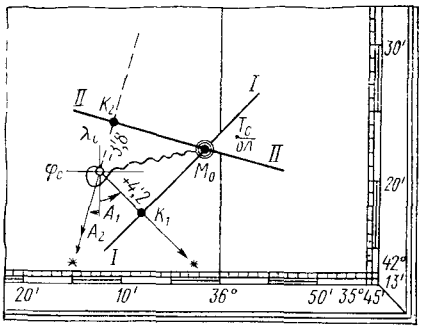


Рис. 93. Пример прокладки линий положения на меркаторской карте

располагаться уже по направлению от полюса освещения (светила).

При расположении счислимого места M_c'' на круге равных высот перенос будет равен нулю, так как радиусы обоих кругов равны. Определяющая точка K будет совпадать со счислимой M_c''. На основании сказанного можно сформулировать практические правила, которыми следует руководствоваться при прокладке высотных линий положения в различных случаях:

провести из счислимого места линию вычисленного азимута светила, отметив направление к светилу стрелкой;

отложить по линии азимута от счислимой точки перенос $h - h_c$ к светилу, если $h - h_c > 0$, или от светила, если $h - h_c < 0$;

через полученную определяющую точку K перпендикулярно направлению линии азимута провести линию положения. При $h - h_c = 0$ линию положения провести перпендикулярно направлению азимута непосредственно через счислимое место.

Прокладка линий положения на меркаторской карте. Прокладку линий положения непосредственно на меркаторской карте производят только в том случае, если карта, по которой ведется счисление, имеет масштаб 1 : 500 000 и крупнее. Порядок графических работ при прокладке на карте, вплоть до получения обсервованных координат судна, рассмотрим на примере.

Пример 74. Предположим, что в результате сделанных вычислений получены элементы двух линий положения (рис. 93);
первое светило $A = 46{,}5°$ SE; $\Delta h_1 = +4{,}2'$;
второе светило $A = 15{,}3°$ SW; $\Delta h_2 = -3{,}8'$.
Счислимые координаты судна на момент наблюдений составляли:

$$\varphi_c = 42°20{,}5'\ \text{N};$$

$$\lambda_c = 36°12{,}2'\ \text{W}.$$

С помощью транспортира и параллельной линейки откладываем от счислимой точки линии азимутов. Для удобства работы четвертные или полукруговые азимуты могут быть переведены в круговые (см. рис. 93). Учитывая, что единица дуг большого круга представляет собой на карте 1 милю, снимаем циркулем-измерителем с боковой рамки карты величины переносов Δh_1 и Δh_2

Первый перенос (положительный) откладываем в направлении к светилу, второй (отрицательный) — от светила. Через полученные определяющие точки K_1 и K_2 перпендикулярно линиям азимутов проводим линии положения, которые принято обозначать римскими цифрами *I—I*, *II—II* и т. д.

В пересечении линий положения получаем обсервованное место судна M_0, координаты которого φ_0 и λ_0 после снятия с карты записывают в судовой журнал. Туда же записывают судовое вре-

мя наблюдений, ол и невязку C, которую подвергают анализу. В нашем примере получим: $\varphi_0 = 42^\circ 22{,}3'$ N; $\lambda_0 = 36^\circ 01{,}8'$ W и $C = 77^c - 7{,}9'$.

Следует заметить, что при прокладке линий положения на карте графическую часть работы не выполняют так подробно, как это сделано на рис. 93. Прокладка ограничивается нанесением соответствующих линий, обсервованной точки, рядом с которой записывают T_c и ол и показом невязки.

При плавании в открытом море, где чаще всего и приходится прибегать к астрономическим методам определения места судна, используют мелкомасштабные генеральные карты. Нанесение на них небольших расстояний, какими обычно являются переносы, оказывается невозможным. В этом случае для прокладки элементов линий положения следует использовать карты-сетки, комплект которых необходимо иметь на судне. Карты-сетки издаются в достаточно крупном масштабе для отдельных широтных поясов. В отличие от обыкновенных карт на них не наносятся глубины и другие условные обозначения. Кроме того, на нижней и верхней рамках этих карт не указываются долготы.

Для получения обсервованного места выбирают подходящую по широте карту-сетку. На линиях меридианов карандашом проставляют долготу, соответствующую району плавания. После этого наносят свое счислимое место и выполняют прокладку таким образом, как это делают на обычной карте. Получив обсервованную точку, снимают ее координаты и невязку для занесения в судовой журнал. Обсервованную точку переносят на рабочую карту.

Прокладка линий положения на бумаге. При пользовании генеральными картами, если на судне отсутствуют карты-сетки, прокладку линий положения выполняют в желаемом масштабе на листе бумаги или специальном бланке.

В практике применяют два способа выбора масштаба для прокладки на бумаге. Рассмотрим их с использованием данных примера 74.

Применение линейного масштаба. Произвольную точку листа бумаги, однако с расчетом наилучшим образом использовать его площадь при дальнейших построениях, принимают за счислимое место судна M_c (φ_c, λ_c). От этой точки прокладывают линии азимутов (рис. 94).

В нижней части листа проводят горизонтальную линию, на которой с помощью линейки (или по делениям бланка) наносят отрезки, принимаемые за 1′ боковой рамки карты, т. е. меркаторскую милю. Размеры отрезков берутся в зависимости от величины переносов, но не менее 1 см.

С помощью циркуля-измерителя снимают с полученной масштабной линейки заданные по условиям примера переносы и откладывают их по линиям азимутов. Проведя через определяющие точки K_1 и K_2 линии положения, получают в их пересечении обсервованное место $M_0(\varphi_0, \lambda_0)$.

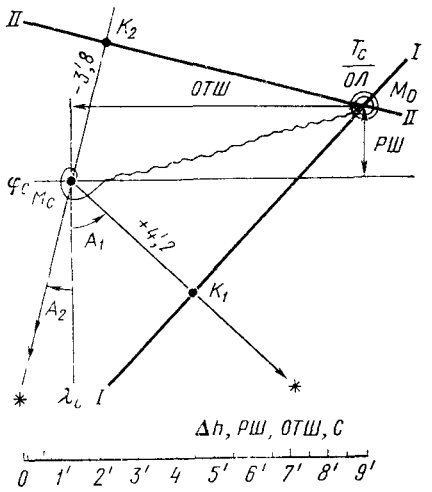


Рис 94. Пример прокладки линий положения на бумаге и использованием линейного масштаба

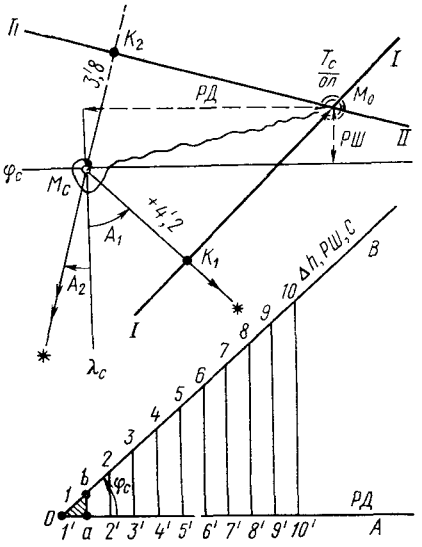


Рис. 95. Пример прокладки линий положения на бумаге с использованием углового масштаба

Для вычисления обсервованных координат измеряют циркулем РШ точки M_0 относительно счислимого места M_c, координаты которого известны, и рассчитывают φ_0. Величину РШ получают с масштабной линейки. Измеренное в том же масштабе расстояние между меридианами счислимого и обсервованного места представит собой отшествие ОТШ этих точек.

С помощью табл. 25-а МТ—75 по полученному ОТШ и φ_0 рассчитывают величину РД и вычисляют обсервованные координаты.

С прокладки (см. рис. 94) для рассматриваемого примера находим: $РШ_1 = 1{,}8'$ к N, $ОТШ = 7{,}7'$ к Е.

После вычислений получаем:

		ОТШ	РД		
φ_c	42°20,5′ N	7,0	9,47′	λ_c	36°12,2′ W
+ РШ	1,8 к N	0,7	0,95	− РД	10,4 к Е
φ_0	42°22,3′ N	7,7	10,42′	λ_0	36°01,8′ W

Невязка, величину которой также снимают с масштабной линейки, составляет $C = 77° - 7{,}9'$.

После вычислений обсервованное место наносят на карту и делают необходимые записи в судовом журнале.

Применение углового масштаба. В нижней части листа (рис. 95) проводят горизонтальную линию OA, а к ней под углом

равным φ_c, — наклонную линию OB. На линии OB откладывают отрезки в 1—2 см, принимаемые за 1′ боковой рамки карты, т. е. меркаторскую милю. Полученные на наклонной линии точки *1*, *2*, *3*, ... проектируют по вертикали на горизонтальную линию OA и получают на ней соответствующие точки *1′*, *2′*, *3′*, ... В результате проделанной работы будет построен так называемый угловой масштаб. Рассматривая (см. рис. 95) заштрихованный прямоугольный треугольник Oba, найдем, что его сторона $Oa = Ob \cos \varphi_c$. Отсюда ясно, что каждое деление горизонтальной линии OA представляет собой одну экваториальную милю. Другими словами, горизонтальная линия OA соответствует нижней или верхней рамкам меркаторской карты. Графические построения на бумаге выполняют аналогично первому способу. При этом переносы снимают с наклонной линии масштаба и откладывают по линиям азимутов.

Для вычисления координат полученной обсервованной точки M_0 измеряют циркулем ее РШ и РД относительно счислимого места M_c. Величину РШ получают с наклонной линии углового масштаба, РД — с горизонтальной. Для заданного примера находим: РШ = 1,8′ к N и РД = 10,4′ к E. Обсервованные координаты получаем расчетом по схеме:

φ_c	42°20,5′ N	λ_c	36°12,2′ W
+ РШ	1,8 к N	− РД	10,4 к *E*
φ_0	42°22,3′ N	λ_0	36°01,8′ W

Величину невязки снимаем с наклонной линии: $C = 77° - 7{,}9'$.

Угловой масштаб оказывается неудобным для прокладки при плавании судна в высоких широтах, где значения $\cos \varphi$ уменьшаются очень быстро. Это приводит к резкому уменьшению изображения экваториальной мили на горизонтальной линейке масштаба, а следовательно, к неточному получению РД и λ_0. Кроме того, при построении масштабного угла следует брать φ_0. Отступление от этого требования в умеренных широтах допустимо, однако при плавании в высоких широтах замена φ_0 на φ_c приводит к дополнительной ошибке. В этих условиях целесообразно пользоваться только линейным масштабом.

О погрешностях в обсервованном месте от замены линий азимутов и кривых равных высот прямыми линиями. Если счислимая точка будет лежать на большом расстоянии от действительного места судна, то в полученном обсервованном месте при определенных условиях может появиться существенная погрешность.

Одной из причин этого является то обстоятельство, что при прокладке линий азимутов на карте их наносят в виде отрезков прямых, т. е. локсодромий. В действительности же линии азимутов являются отрезками ортодромий, так как представляют собой участки вертикалов светил. При прочих равных условиях эта погрешность будет тем больше, чем больше переносы Δh.

Другой причиной появления погрешностей в обсервованном месте является замена кривых равных высот прямыми локсодромическими линиями. Эта погрешность появляется не только при больших переносах, но и при возрастании высот светил, так как в этом случае увеличивается кривизна кругов равных высот.

Математический анализ показывает, что при переносах Δh, меньших 25′, и высотах светил, не превосходящих 60—70°, возникающими в обсервованном месте погрешностями можно пренебречь. Если же Δh оказывается больше 25′, рекомендуется решить задачу еще раз по новым счислимым координатам, приняв за них полученные φ_0 и λ_0.

§ 57. Погрешности в высотной линии положения. Понятие о полосе положения

Проложенная на карте высотная линия будет соответствовать действительной линии положения наблюдателя только в том случае, если ее элементы A_c и Δh не содержат в себе никаких погрешностей.

Счислимый азимут A_c независимо от того, получен ли он по формулам сферической тригонометрии или с помощью таблиц, как правило, имеет погрешность вычислений, значительно меньшую той точности, с которой он прокладывается на карте. Поэтому можно считать, что A_c не содержит погрешностей и, следовательно, не влияет на точность линии положения.

Погрешности в величине переноса $\Delta h = h - h_c$ зависят от погрешностей в обсервованной и счислимой высотах. В обсервованной высоте могут содержаться погрешности систематического и случайного характера. Первые из них проявляются в основном из-за неточного учета наклонения видимого горизонта и инструментальной поправки секстана. Величина и знак систематической погрешности Δ в каждом конкретном случае определения места судна остаются неизвестными для судоводителя. Однако ориентировочная величина этой погрешности может предполагаться равной 1—3′. Если секстан прошел выверку, а при наблюдениях использовался наклономер, то значение Δ можно не учитывать.

Случайная погрешность обсервованной высоты характеризуется величиной средней квадратичной погрешности m_h. Для наблюдателя, имеющего достаточный опыт, ориентировочные значения m_h измерения одной высоты в благоприятных условиях составляют: для Солнца и Луны 0,4—0,9′, для звезд и планет — 0,6—1,2′.

На практике не следует измерять менее трех высот каждого светила. При трех измерениях погрешности среднего арифметического уменьшаются по сравнению с погрешностями одного измерения и могут приниматься равными:

для Солнца и Луны

$$m_{h_{ср}} = \frac{m_h}{\sqrt{N}} = \pm 0{,}4';$$

для звезд и планет

$$m_{h_{ср}} = \frac{m_h}{\sqrt{N}} = \pm 0{,}6',$$

где N — число измерений.

Погрешности в счислимой высоте h_c имеют только случайный характер. Их величина зависит от принятого способа решения параллактического треугольника. Исследования показали, что как при вычислении по формулам сферической тригонометрии (по пятизначным таблицам логарифмов), так и при расчетах с помощью специальных таблиц (ВАС — 58, ТВА — 57) средняя квадратичная погрешность в счислимой высоте не превышает $\pm 0{,}3'$:

$$m_{h_c} \leqslant \pm 0{,}3'.$$

Средняя квадратичная погрешность в переносе, или, что то же, в линии положения, включает в себя погрешность обсервованной и счислимой высот. Ее величина выражается формулой [1]

$$m_{лп} = \pm \sqrt{m_h^2 + m_{h_c}^2}.$$

Для средних условий наблюдений, если измерялось не менее трех высот светила, величина $m_{лп}$ может приниматься равной:
для Солнца и Луны

$$m_{лп} = \pm \sqrt{0{,}4^2 + 0{,}3^2} = \pm 0{,}5';$$

для звезд и планет

$$m_{лп} = \pm \sqrt{0{,}6^2 + 0{,}3^2} = \pm 0{,}7'.$$

Результирующая погрешность в линии положения будет зависеть от систематической погрешности в обсервованной высоте $\Delta_{лп}$ и случайной погрешности переноса $m_{лп}$.

Случайные погрешности в переносе свидетельствуют о наличии рассеивания линии около действительной линии положения. Поэтому и проложенная на карте линия положения $I—I$ не будет ей соответствовать. Действительная линия положения будет располагаться где-то рядом с линией $I—I$, в пределах некоторой *полосы положения*.

Ширина полосы положения принимается обычно равной двойной величине предполагаемой средней квадратичной погрешности в переносе $m_{лп}$, причем ее осью является линия $I—I$ (рис. 96). Вероятность нахождения действительной линии положения в пределах полосы составляет около 68%. Для повышения вероятности до 95% ширину полосы положения следует увеличить в два раза. Если же принимать в расчет предельную погрешность переноса $m_{пред} = 3\, m_{лп}$, то вероятность нахождения действительной линии положения в пределах полосы составит 99,7%.

[1] Эта формула выводится в теории ошибок и показывает, что погрешности двух или более независимых величин складываются в квадрате.

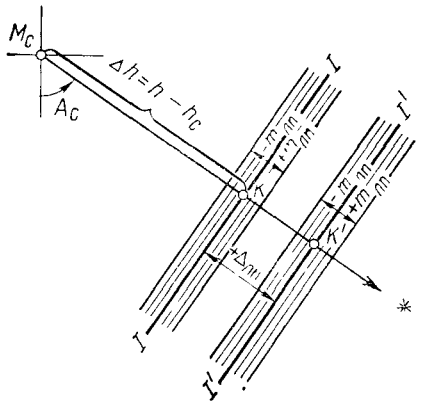


Рис. 96. Понятие о полосе положения

Если в обсервованной высоте содержится систематическая погрешность, то действительная линия положения сместится по линии азимута на расстояние $+\Delta_{лп}$ или $-\Delta_{лп}$. Поэтому для учета одновременного действия систематической погрешности полоса положения также должна быть смещена в обе стороны на предполагаемую величину $\Delta_{лп}$ (см. рис. 96).

Нанесением линий положения на карту еще не заканчивается работа по определению места судна в море. Необходимо провести анализ определения, т. е. учесть действие предполагаемых систематических и случайных погрешностей в линиях положения. Методы проведения такого анализа приведены в последующих разделах учебника при рассмотрении каждого случая определения места судна в море.

Глава 16

Определение места судна по одновременным наблюдениям светил

§ 58. Подготовка и проведение астрономических наблюдений в сумерки

Для получения надежной обсервации необходимо обеспечить качественное проведение астрономических наблюдений. Наблюдение заключается в основном в измерении высот светил, подобранных для получения обсервации, с одновременным фиксированием момента по хронометру. Хорошее выполнение этих операций, особенно при получении обсервации в сумерки, требует от судоводителя высокой квалификации, которая достигается систематическими тренировками.

Важным условием, обеспечивающим надежность измерений, является также тщательная подготовка к астрономическим наблюдениям.

Практикой судовождения и теоретическими исследованиями выработаны основные положения, которыми необходимо руковод-

ствоваться при подготовке и измерении высот ночных светил — звезд и планет.

1. Для успешного проведения сумеречных наблюдений светил обязательно заранее подобрать с помощью звездного глобуса шесть — восемь ярких звезд и планет (последние предварительно наносятся на глобус) и составить схему их расположения относительно диаметральной плоскости судна. Выполнение этого требования позволит при наблюдениях располагать двумя, тремя и четырьмя подходящими светилами даже в случае, если часть неба будет закрыта облаками.

2. При подборе светил по глобусу не забывать, что их высоты должны быть в пределах от 10 до 70° и по возможности близкими по величине.

3. Никогда не следует пренебрегать измерениями высот планет, особенно Венеры и Юпитера, яркость которых всегда больше, чем у звезд.

4. Весь объем работы по подбору звезд и планет с помощью звездного глобуса необходимо выполнять заново только в тех случаях, если наблюдения ночных светил примерно в тех же широтах не производились долгое время. Проделав эту работу один раз, на следующие сутки примерно в то же время можно наблюдать те же светила по близким пеленгам и на высотах, мало отличающихся от рассчитанных накануне. Поэтому при недостатке времени допустимо использовать результаты установки глобуса в течение 2—3 сут, подправляя лишь установку $S_м$ (на каждые сутки $t_{гр}$ возрастает примерно на 1°, а $\lambda_с$ — в зависимости от курса судна).

5. Предварительно установленный глобус полезно держать в штурманской рубке или на палубе, вблизи места наблюдений, и по ходу работ корректировать его установку по $S_м$. Для этого глобус поворачивают вокруг оси мира на угол, равный изменению времени от первоначального момента установки (разность времени переводится в дуговы единицы с точностью до ±1° в уме и прибавляется к первому $S_м$).

6. Самое подходящее время для наблюдений звезд и планет — период сумерек, который необходимо обязательно рассчитывать заранее для установки звездного глобуса. Вечерние наблюдения следует начинать сразу после захода Солнца, стараясь сначала обнаружить наиболее яркие светила через трубку секстана ранее, чем они будут видны невооруженным глазом. Для этих целей используют координаты светил, полученных с помощью звездного глобуса. Соответственно утром измерения высот ярких звезд и планет желательно производить ближе к концу навигационных сумерек. Измеренные при этих условиях высоты будут особенно надежные, так как хорошо видна линия горизонта.

7. В общем случае рекомендуется сначала измерять высоты светил, расположенных на Е-х румбах, так как вечером там скорее пропадает горизонт, а утром скорее исчезают звезды. Однако

это требование вторично по отношению к изложенному выше: вечером высоты ярких светил лучше измерять первыми, а утром — последними, так как в обоих случаях достигается наилучшая видимость горизонта под ними.

8. Достаточно быстрые и надежные измерения высот ночных светил возможны только при работе двух наблюдателей. Один из них располагается рядом с хронометром (или с наблюдателем, измеряющим высоты, если отсчеты берутся по палубным часам) и замечает по команде «ноль!» моменты $T_{хр}$ ($T_ч$). Около моментов $T_{хр}$ записывают соответствующие им отсчеты секстана. Это очень облегчает наблюдения, поэтому рекомендуется подготовить для выполнения данной операции опытного матроса, систематически тренируя его.

9. Измерения высот ночных светил полезно вести двумя или тремя парами наблюдателей, которые используют для определения времени разные хронометры.

Сверка результатов наблюдений позволит обнаружить грубый промах.

10. Нельзя рекомендовать распространенный на практике способ измерения высот звезд и планет одним наблюдателем, когда моменты времени замечаются пуском секундомера на палубе с переходом в штурманскую рубку для взятия отчета по хронометру. Это значительно удлиняет срок наблюдений и может привести к грубым промахам.

Рассмотрим типовой пример по подготовке к измерениям высот ночных светил.

Пример 75. 7 мая 1981 г., следуя в Индийском океане КК=228° (+2°), решили произвести вечерние измерения высот звезд для точки с координатами $\varphi=12°50'$ S и $\lambda=77°40'$ E. Выбрать время наблюдений и подобрать по звездному глобусу подходящие светила.

Решение. 1. Определяем $T_с$ захода Солнца и конца навигационных сумерек:

Заход Солнца

7/V	$T_г$	17ч	47м
	ΔT_φ	−4 (−13м)	
	ΔT_2	0 (+ 1м)	7/V
7/V −	$T_м$	17ч	43м
	λ_E	5	11 7/V
7/V +	$T_{гр}$	12ч	32м
	№E	5	7/V
7/V	$T_с$	17ч	32м

Конец навигационных сумерек

	$T_г$	18ч	35м
	ΔT_φ	− 3 (−11м)	
−	$T_м$	18ч	32м
	λ_E	5	11
+	$T_{гр}$	13ч	21м
	№E	5	
	$T_с$	18ч	21м

Наблюдения возможны в период от $T_с=17^ч32^м$ до $18^ч21^м$. Выбираем для начала наблюдений момент $T_с=17^ч35^м$.

2. По таблице «Видимость планет» в МАЕ (с. 24) находим, что удобными для наблюдений планетами вечером в мае 1981 г. являются Венера, Юпитер и Сатурн.

3. Рассчитываем $t_м^{\Upsilon}$ ($S_м$) для установки глобуса и координаты планет:

7/V — $T_с$	17ч35м
№E	5
7/V $T_{гр}$	12ч35м

	Венера	Юпитер	Сатурн
α	53,0°	181,5°	184,4°
δ	18,7°	1° N	0,9° N

$t_т^{\Upsilon}$	45°14,5
Δt^{Υ}	8 46,4
+ $t_{гр}^{\Upsilon}$	54°00,9
λ_E	77 40,0
$t_м^{\Upsilon}$	131°40,9
	131,5°

Так как Юпитер и Сатурн находятся в непосредственной близости, то для дальнейшей работы выбираем более яркий Юпитер (его звездная величина равна —1,9, против +0,9 у Сатурна). Наносим Венеру и Юпитер на глобус.

4. Устанавливаем глобус по $\varphi \approx 13°S$ и $t_м^{\Upsilon} = 131,5°$.

5. Подбираем яркие звезды и планеты для наблюдений, снимая с глобуса их высоты и азимуты:

α Льва (Регул) $h \approx 58°$; $A \approx NE\ 40° = 40°$; КП = 38° (+2°);
Юпитер $h \approx 38°$; $A \approx NE\ 79° = 79°$; КП = 77° (+2°);
α Девы (Спика) $h \approx 22°$; $A \approx SE\ 83° = 97°$; КП = 95° (+2°);
β Центавра $h \approx 16°$; $A \approx SE\ 29° = 151°$; КП = 149° (+2°);
α Арго (Канопус) $h \approx 41°$; $A \approx SW\ 30° = 210°$; КП = 208° (+2°);
α Большого Пса (Сириус) $h \approx 60°$; $A \approx SW\ 82° = 262°$; КП = 260° (+2°);
Венера $h \approx 5°$; $A \approx SW\ 69° = 291°$; КП = 289° (+2°);
α Возничего (Капелла) $h \approx 13°$; $A \approx NW\ 35° = 325°$; КП = 323° (+2°).

6. Составляем схему расположения звезд относительно диаметральной плоскости судна. Для этого на рис. 97 судно ориентировано по ИК = 230° и показаны направления на все светила. По этой схеме удобно произвести рациональный подбор светил для выполнения того или иного способа обсервации, учитывая при этом наилучшие условия наблюдений и цель обсервации (см. §§ 59 и 61).

Следует иметь в виду, что кроме обеспечения наибольшей в данных условиях точности получения координат судна целью обсервации может явиться контроль бокового смещения судна относительно линии его курса или контроль смещения судна вперед (назад) по курсу.

Например, если в открытом море близко к судну не имеется каких-либо подводных препятствий, то на первом плане может стоять задача хорошего получения места. Наоборот, при подходе к опасному берегу или узкости целесообразно обратить внимание

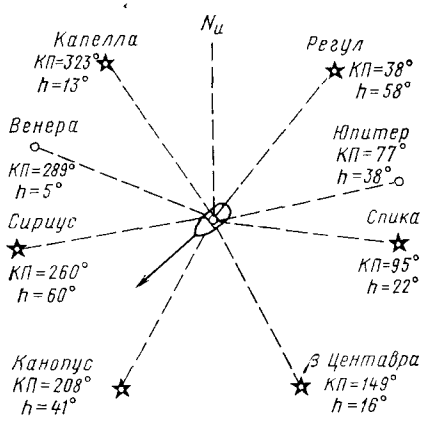


Рис. 97. Подбор звезд для наблюдений

на уточнение своего положения на курсе или самого курса. Выполнение последних требований связано в первую очередь с правильным подбором светил в целесообразных азимутах, а также и по отношению к курсу судна.

§ 59. Определение места судна по одновременным наблюдениям двух светил в сумерки

В зависимости от обстановки для получения обсервации этим способом 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°.

Подбор двух светил для наблюдений в сумерках может производиться непосредственно на звездном небе. Для контроля разности азимутов в этом случае используют компас, по которому получают приближенные пеленги светил. Однако целесообразнее заранее подбирать светила по звездному глобусу. Удачно подобранную пару светил можно использовать для получения места в течение нескольких дней плавания.

Приведение высот светил к одному зениту. Обсервованное место судна принимается в пересечении двух, а иногда и более линий положения, которые вычисляют по результатам наблюдений двух, трех или четырех светил. На практике, чтобы уменьшить влияние случайных погрешностей, измеряют три — пять высот каждого светила, замечая одновременно моменты по хронометру. Высоты и моменты осредняют. Между средними моментами измерений высот светил проходит определенный промежуток времени, который, в зависимости от опытности судоводителя, числа высот в каждой серии и условий наблюдений, может составить от 5 до 15 мин и более. В течение этого времени судно перемещается по поверхности Земли. Вместе с судном перемещаются зенит наблюдателя и связанная с зенитом плоскость горизонта. При этом та его часть, которая лежит в направлении движения судна, наклоняется, а противоположная — поднимается. Следовательно, высоты любого светила, расположенного на носовых курсовых углах движущегося судна, последовательно увеличиваются, а высоты светила, находящегося позади траверза, уменьшаются. В результате нарушается обязательное условие получения обсервации по одновременным наблюдениям светил — соответствие каждой из изолиний одному и тому же положению наблюдателя на поверхности Земли. Для осуществления этого требования осредненные

высоты светил приводят к одному месту наблюдений или, как принято говорить в мореходной астрономии, к одному зениту. Приведение высот производят путем внесения в результаты наблюдений специальной поправки, учитывающей изменение высоты за счет перемещения судна.

После этого все высоты можно будет считать как бы измеренными из одной точки на Земле.

Для нахождения величины поправки рассмотрим рис. 98. Б момент первых измерений T_1 наблюдатель находится в точке C_1, а его зенит в точке Z_1. Измеренная высота светила F равна h_1. В момент вторых измерений T_2, совершив плавание S, наблюдатель оказался в точке C_2, а его зенит — в точке Z_2. Высота светила F теперь равна h_2. Дуга Z_1Z_2 в минутах (′) равна плаванию судна S в морских милях за время между измерениями высот T_2—T_1. Угол $P_NZ_1Z_2$ является ИК судна, угол P_NZ_1F — азимут светила, а угол FZ_1Z_2 — курсовой угол на светило $Q=A$ — ИК.

Поправка Δh_z, учитывающая изменение высоты светила F от перемещения судна, определится как разность зенитных расстояний z_1 и z_2:

$$\Delta h_z=(90^\circ-h_1)-(90^\circ-h_2)=h_2-h_1.$$

Для получения величины Δh_z опустим из точки Z_2 на линию Z_1F сферический перпендикуляр Z_2D. Принимая прямоугольный сферический треугольник Z_1Z_2D по его малости за плоский, найдем, что сторона Z_1D может быть с достаточной для практики точностью принята за искомую разность Δh_z.

Из ΔZ_1Z_2D получаем

$$\Delta h_z=S\cos(A-\text{ИК}) \qquad (75)$$

или

$$\Delta h_z=S\cos Q.$$

Если придать вычисленную по формуле (75) поправку Δh_z к высоте светила h_1, то получим высоту

$$h_2=h_1+\Delta h_z.$$

Другими словами, высота h_1 после введения этой поправки будет приведена к зениту вторых наблюдений.

Знак поправки Δh_z для случая приведения высоты к последующему зениту, т. е. на время второго наблюдения, определяется знаком $\cos Q$. Если Q правого или левого борта меньше 90°, т. е. судно движется к светилу, то поправка положительна, если Q больше 90°, т. е. судно движется от светила, то поправка отрицательна.

Если приведение производится к предыдущему зениту, т. е. на время первых наблюдений, то знаки будут обратными.

Наибольшего значения поправка Δh_z достигает при расположении светила по носу или корме судна, когда она становится равной плаванию судна S за время между наблюдениями. При

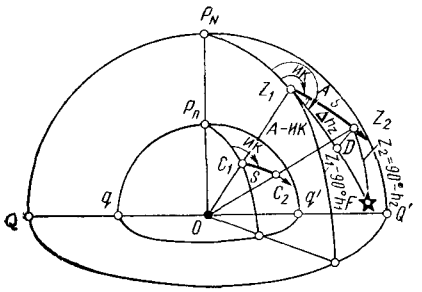


Рис. 98. Приведение высот к одному зениту

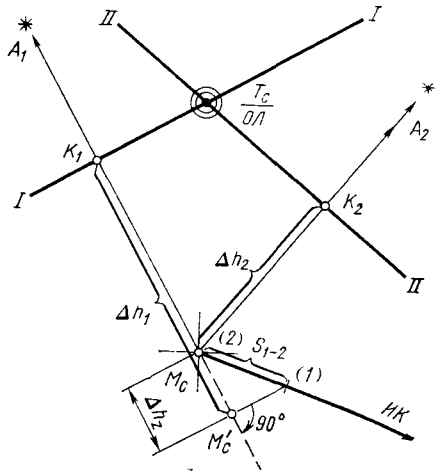


Рис. 99 Графический метод приведения высот к одному зениту

расположении светила по траверзу судна поправка Δh_z равна нулю, так как высота светила не изменяется.

Если в формуле (75) плавание S заменить произведением скорости V в узлах на промежуток времени $(T_2 - T_1)$ в минутах, то формула примет вид

$$\Delta h_z = \frac{V}{60} \cos(A - \text{ИК})(T_2 - T_1). \qquad (76)$$

Множитель

$$\Delta h_V = \frac{V}{60} \cos(A - \text{ИК}) \qquad (77)$$

представляет собой изменение высоты светила на 1 мин плавания судна.

По формуле (77) составлена табл. 16 МТ — 75 «Приведение высот к одному зениту». Аргументами для входа в табл. 16 являются V судна и Q на светило. Последний получают как разность рассчитанного или полученного по компасу A светила (в круговом счете) и ИК (ПУ) судна. Знак поправки Δh_V указывается в таблицах рядом с Q для случая приведения к последующему зениту. Если приведение производится к предыдущему зениту, то поправку берут со знаком, обратным табличному.

Выбранную из табл. 16 поправку Δh_V умножают на $(T_2 - T_1)$:

$$\Delta h_z = \Delta h_V (T_2 - T_1).$$

Пример 76. Следуя ИК = 128°; $V = 18$ уз, измерили высоты двух звезд: $h_1 = 24°59{,}5'$; $T_1 = 01^ч06^м16^с$; $A_1 = 320{,}6°$; $h_2 = 40°22{,}0'$; $T_2 = 01^ч10^м27^с$. Привести h_1 к зениту вторых наблюдений.

A	320,6°	T_2	$01^ч10^м27^с$
ИК	128,0	T_1	$01^ч06^м16^с$
Q	192,6°	$T_2 - T_1$	$4^м11^с4{,}2^м$

Из табл 16 по V и Q;

$$\Delta h_V = -0{,}30';$$

$$\Delta h_z = (-0{,}30') \times 4{,}2^{\text{м}} = -1{,}3';$$

$$h_{\text{пр}_1} = 24°59{,}5' + (-1{,}3') = 24°58{,}2'.$$

На практике первые измерения обычно приводят к зениту последних. Судовое время и отчет лага, необходимые для получения координат счислимого места, также замечают при взятии средней по порядку высоты последнего из наблюдавшихся светил. Линии положения, рассчитанные по φ_c и λ_c выбранной точки и приведенным высотам, можно считать полученными одновременно и принимать обсервованное место в их пересечении. Обсервация будет соответствовать судовому времени измерения высоты, к месту наблюдений которой приведены все высоты.

Кроме аналитического можно применять и графический прием приведения наблюдений к одному зениту. В этом случае за общую расчетную точку обычно также принимают счислимое место, соответствующее моменту последних наблюдений. Переносы вычисляют непосредственно по обсервованным высотам, не вводя в них поправок из табл. 16 МТ — 75.

При прокладке линий положения поступают следующим образом (рис. 99). От расчетной точки M_c прокладывают линию курса. Откладывая по ней в выбранном масштабе плавание судна S между отдельными измерениями, и получают точки, соответствующие этим измерениям. Если наблюдения приводятся к последнему зениту, то эти точки располагаются в направлении, обратном перемещению судна.

Линии азимутов прокладывают из общей расчетной точки M_c. Опуская на линии азимутов перпендикуляры из соответствующих точек на курсе, получают на них вспомогательные точки M_c'. Переносы откладывают из этих вспомогательных точек.

При обработке трех и более линий положения графический прием усложняет прокладку, поэтому применяется редко.

Практическое выполнение определения места судна по наблюдениям двух светил в сумерки. Работа по получению места судна в море складывается из нескольких последовательных действий, в число которых входят подготовка к проведению наблюдений, наблюдения, прокладка и анализ результатов обсервации.

При определении места судна по двум звездам можно руководствоваться следующим порядком работы, который сохраняется и в том случае, если вместо звезды используют планету или Луну. Принципиально этот порядок работы применяют и при определении места по одновременным дневным наблюдениям Солнца и Луны.

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. Если необходимо, произвести сличение палубных часов с хронометром.

3. С наступлением сумерек произвести подбор звезд 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 или 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 гранвичское время наблюдений каждого светила.

5. С помощью МАЕ по $T_{гр}$ наблюдений и $\lambda_с$ получить местные практические часовые углы, а также склонения светил.

6. По формулам сферической тригонометрии с помощью таблиц (ВАС—58, ТВА—57) или ЭКВМ 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.

Прокладка. 1. Произвести прокладку линий положения на карте или бумаге.

2. Произвести анализ результатов обсервации.

3. Полученные обсервованные координаты, невязку, $T_с$ и *ол* записать в судовой журнал.

Анализ обсервации. Систематические и случайные погрешности в обсервованных высотах, а также случайные погрешности счислимых высот приводят к появлению погрешностей в линиях положения. Поэтому полученная 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 (постоянной) погрешности $\Delta_{лп}$ (см. § 57).

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 от взаимного положения наблюдавшихся светил. В § 57 были приведены ориентировочные значения случайных погрешностей в переносах, соответствующие средним условиям наблюдений. Этими цифрами можно руководствоваться при анализе определения, если оно производилось также при средних условиях. Однако следует помнить, что величины 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 величины своих собственных погрешностей, которые и принимать во внимание при анализе обсерваций. 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. 100 из счислимой точки M_c проложены элементы линий положения *I—I* и *II—II*, в пересечении которых получена обсервованная точка M_0. В переносах Δh_1 и Δh_2 предполагаются одинаковые случайные погрешности величиной $m_{лп}$.

Для учета действия случайных погрешностей смещают каждую линию положения в обе стороны на предполагаемую величину 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 недостаточна, то, удвоив полуоси эллипса, можно получить эллипс погрешностей, вероятность нахождения внутри которого составит уже 86%.

Эллипс погрешностей имеет наименьшую площадь, если разность азимутов двух светил равна 90°. В этом случае он превращается в круг. Такая разность азимутов наиболее выгодна для уменьшения влияния случайных погрешностей на точность обсервации. При разности азимутов двух светил, меньшей 30°, площадь эллипса быстро увеличивается. В этом случае влияние случайных погрешностей на точность обсервации оказывается столь большой, что полученному месту доверять нельзя. По этой причине не следует подбирать светила с $\Delta A < 30°$.

Если линии положения подвержены также систематическим погрешностям, то обсервованное место судна M_0 вместе с эллипсом погрешностей будет смещено скачком в новое положение, соответствующее значению систематической погрешности $\Delta_{лп}$ при данных измерениях. Ни величина, ни знак этого смещения судо-

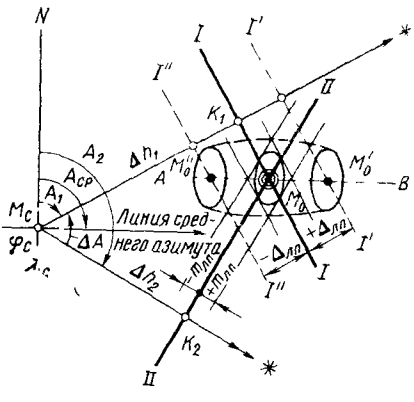


Рис. 100. Графический анализ обсервации

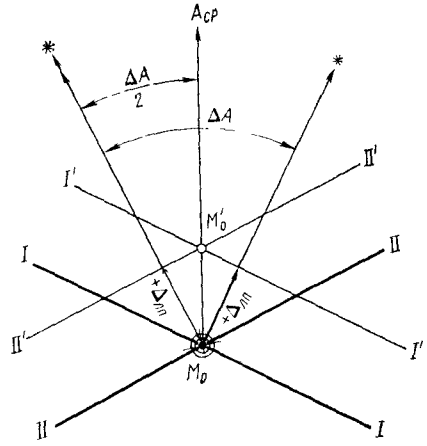


Рис. 101. Понятие об астрономической биссектрисе

водителю неизвестны, так как неизвестны величины систематических погрешностей в переносах. Однако если наблюдения светил производились в равных условиях, то можно полагать, что систематические погрешности в каждой из линий положения приблизительно одинаковы. Поэтому смещение обсервованного места произойдет по линии среднего азимута (на рис. 100 линия AM_0B), проведенной через обсервованное место M_0.

Действительно, если, например, линии положения *I—I* и *II—II* (рис. 101) одинаково смещены по направлениям своих азимутов на величину погрешности $+\Delta_{лл}$, то полученное в пересечении смещенных линий *I'—I''* и *II'—II'* обсервованное место M_0' оказывается вынесенным по направлению, параллельному линии среднего азимута. Линию, параллельную среднему азимуту, проведенную через точку пересечения линий положения, называют *астрономической биссектрисой.*

Астрономическую биссектрису можно рассматривать как новую линию положения, свободную от систематических погрешностей. Заметим, что величина смещения обсервованной точки при данной $\Delta_{лл}$ будет зависеть от разности азимутов наблюдавшихся светил. Смещение оказывается тем большим, чем больше ΔA. По этой причине, если только в наблюдениях возможны систематические ошибки, не следует подбирать светила с разностью азимутов, большей 90°.

Для нахождения сдвига обсервованного места по астрономической биссектрисе AM_0B смещаем одну из линий положения в обе стороны на предполагаемую величину $\Delta_{лл}$ (см. рис. 100). В точках пересечения сдвинутых линий с астрономической биссектрисой 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, а затем обвести все три эллипса замкнутой кривой, то последняя очертит общую площадь возможного положения места судна при предполагаемых величинах случайных и систематических погрешностей 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_o.

После усвоения метода изображения эллипса погрешностей и некоторой тренировки все построения при анализе обсервации можно делать на глаз от руки.

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 большой величиной 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 погрешностям счисления.

Пример 77. 15 июля 1981 г. Атлантический океан. $T_c = 22^ч28^м$; ол = 24,1 мили; $\varphi_c = 30°18{,}0'$ N; $\lambda_c = 71°51{,}0'$ W; ИК = 292; $V = 20$ уз; $e = 10{,}0$ м; $i = -2{,}2'$; $U_{хр} = -4^м02^с$; $s_1 = +0{,}1'$; $s_2 = +0{,}3'$; $t = +15{,}0$; $B = 765$ мм. Условия наблюдений хорошие, наклономер не использовался.

Измерили высоты двух звезд:

Арктур (α Волопаса). $ос_{ср} = 35°48{,}3'$; $T_{хр\,ср} = 03^ч28^м11^с$; Антарес ($\alpha$ Скорпиона): $ос_{ср} = 27°47{,}0'$; $T_{хр\,ср} = 03^ч31^м47^с$.

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

Решение.

1)

15/VII	T_c	$22^ч28^м$
	№W	5
16/VII	$T_{гр}$	$03^ч28^м$

2)

	Арктур	Антарес
$T_{хр}$	$03^ч28^м11^с$	$03^ч31^м47^с$
$u_{хр}$	— 4 02	— 4 02
$T_{гр}$	$03^ч24^м09^с$	$03^ч27^м45^с$
$t_т^\curlyvee$	338°52,0′	338°52,0′
$\Delta t^\curlyvee$	6 03,2	6 57,4
$t_{гр}^\curlyvee$	344°55,2′	345°49,4′
— λ_W	71 51,0	71 51,0
$t_м^\curlyvee$	273°04,2′	273°58,4′
τ_*	146 17,9	112 55,9
$t_м^*$	59°22,1′ W	26°54,3′ W
$t_{пр}$	59 22,1 W	26 54,3 W
δ_*	19°17,0′ N	26°23,5′ S

3. Расчет h_c и A_c светил производим по таблицам ВАС—58. Для звезды Арктур находим поправку для приведения к зениту вторых наблюдений.

	Арктур	$h_т$	$A_т$
		35°46,1′	87,3°
φ_c	30° + 18,0′ N	+0,8	+0,2
δ	19° + 17,0′ N	+6,9	−0,3
$t_м$	59° +22,1′ W	−19,1	−0,2
		+0,1	
	$q_т = 66°$		$A_c = 87,0°$NW
		$h_c = 35°34,8′$	$A_c = 273,0°$

A	273,0°	T_2	$03^ч27^м45^с$
ИК	292,0	T_1	03 24 09
Q	341°,0 = 19°,0 л/б	$T_2 - T_1$	$3^м36^с3,6^м$

$\Delta h_V = +0,31′$ $\Delta h_z = (+0,31′) \times 3,6^м = +1,1′$

	Антарес	$h_т$	$A_т$
		28°19,0′	152,4°
φ_c	30°+18,0′ N	−15,9	+0,1
δ	26°+23,5′ S	−20,8	+0,2
$t_м$	27° − 507 W	+2,3	+0,1
		0,0	
	$q_т = 153°$		$A_c = 152,8°$NW
		$h_c = 27°44,6′$	$A_c = 207,2°$

4. Исправления высот светила произведем по таблицам МТ—75.

	Арктур	Антарес
$oc_{ср}$	35° 48,3′	27° 47,0′
$i + s$	−2,1	−1,9
d	−5,6	−5,6
h_b^*	35° 40,6′	27° 39,5′
Δh_ρ	−1,3	−1,8
$\Delta h_т$	0,0	0,0
Δh_B	0,0	0,0

h	35°	39,3′	27°	37,7′
Δh_z	+	1,1		—
$h_{пр}$	25°	40,4′	27°	37,7′
h_c	35	34,8	27	44,6
Δh	+	5,6′	—	6,9′

5. Выполняем прокладку с использованием углового масштаба (рис. 102). С прокладки на $T_c = 22^ч28^м$; ол = 24,1 (средний момент вторых наблюдений) получаем РШ = 10,0′ к N, РД = 6,1′ к W.

φ_c	30°18,0′ N
РШ	10,0 к N
φ_o	30°28,0′ N
λ_c	71°51,0′ W
РД	6,1 к W
λ_o	71°57,1′ W

$$C = 333{,}0° - 11{,}2'.$$

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

$$A_{ср} = A \pm \frac{\Delta A}{2} = 273{,}1° - \frac{65{,}6^a}{2} = 240{,}3°.$$

При определении места судна по двум линиям положения целесообразным подбором светил можно обеспечить контроль бокового смещения судна относительно его курса или же положения судна на этом курсе. Возможность такого контроля основана на том, что обсервованное место получается более надежно в направлении малой оси эллипса погрешностей. В свою очередь, при наличии систематических погрешностей направление вдоль линии среднего азимута всегда более надежно, так как астрономическая биссектриса является линией, свободной от этих погрешностей.

Заметим, что если разность азимутов двух светил ΔA превышает 90°, то большая ось эллипса погрешностей совпадает по на-

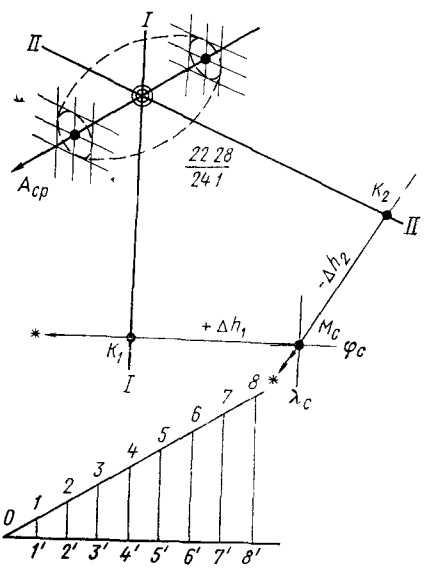


Рис. 102. Пример на определение места по одновременным наблюдениям двух светил

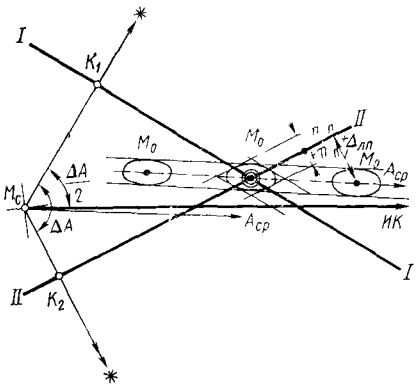


Рис 103 Контроль бокового смещения судна

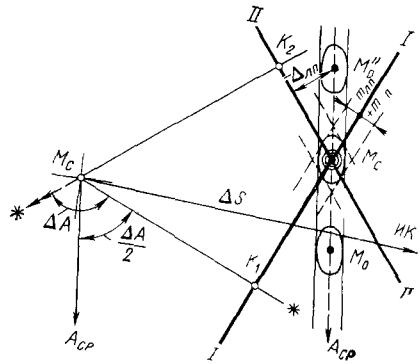


Рис 104 Контроль положения судна на курсе

правлению с астрономической биссектрисой, если $\Delta A < 90°$ (см. рис. 100), то большая ось эллипса оказывается перпендикулярной направлению $A_{ср}$.

Для контроля бокового смещения необходимо подобрать светила так, чтобы разность их азимутов несколько превышала 90°, а сами светила располагались по обоим бортам судна (рис. 103). Тогда линия среднего азимута $A_{ср}$ окажется приблизительно параллельной линии курса, причем в этом же направлении расположится большая ось эллипса погрешностей. Получится надежная узкая полоса положения судна, в пределах которой располагается его место при любых величинах, систематических погрешностей. Смещение полученной полосы относительно линии курса указывает направление и величину бокового сноса судна.

Для контроля смещения судна вперед или назад по курсу светила должны быть подобраны симметрично по отношению к траверзу судна (рис 104). Разность азимутов светил также должна быть больше 90°. Тогда линия среднего азимута $A_{ср}$ расположится почти перпендикулярно линии курса. В этом же направлении будет располагаться большая ось эллипса рассеивания. Смещение полученной узкой полосы положения относительно счислимой точки укажет на величину и знак погрешности в плавании судна.

§ 60. Определение места по одновременным наблюдениям Солнца и Луны

При нахождении Луны в первой и последней четвертях создаются благоприятные условия для проведения одновременных наблюдений этого светила с Солнцем.

Если фаза Луны соответствует первой четверти, то ее восход происходит около полудня. Следовательно, одновременные наблюдения проводят в этом случае после полудня. При нахождении Луны в последней четверти она восходит около полуночи, а верх-

няя кульминация происходит около 06 00 утра. Поэтому совместные наблюдения Солнца и Луны возможны до полудня.

В течение месяца для одновременных наблюдений Солнца и Луны можно использовать 4—6 дней. Эти дни соответствуют датам первой и последней четвертей, а также ближайшим к ним. Разность азимутов двух светил при этом обычно будет приемлемой для наблюдений.

Для ориентировочного определения дней, когда удобно производить одновременные наблюдения, можно воспользоваться МАЕ. Более точно задача решается на звездном глобусе, на котором в этом случае требуется наносить Луну и Солнце на время наблюдений.

Наблюдения, вычисления и прокладка производится в том же порядке, как и при сумеречных определениях по двум светилам.

Для уменьшения случайных погрешностей обычно измеряют по три высоты Солнца и Луны.

Высоты светил необходимо приводить к зениту вторых наблюдений.

Анализ точности полученного места и нахождения площади вероятного положения судна производят по тем же правилам, по которым определяют место по двум звездам При этом величины случайных и систематических погрешностей, принимаемые в расчет, должны соответствовать фактическим условиям производства наблюдений.

Пример 78. 5 ноября 1981 г, Бенгальский залив Провели одновременные наблюдения Луны и Солнца при $\Delta A > 90°$ (Луна в первой четверти)

В $T_c = 15^ч06^м$, ол=25,8 мили, $\varphi_c = 12°35{,}0'$ N, $\lambda_c = 89°10{,}0'$ E, получили

$$oc_{cp_{\overline{\odot}}} = 31°29{,}0'; \qquad T_{xp_{cp}} = 09^ч02^м02^с;$$

$$oc_{cp_{\odot}} = 33°02{,}7'; \qquad T_{xp_{cp}} = 09^ч06^м12^с;$$

$i+s_1 = -1{,}0'$, $i+s_2 = -0{,}8'$; $u_{xp} = +0^м21^с$; $e = 15$ м, ИК=185°; $V = 16$ уз.

Определить φ_0 и λ_0 на момент вторых наблюдений и проверить боковой снос судна относительно линии пути.

1)

5/XI	T_c	$15^ч06^м$
—	$№_E$	6
5/XI	$T_{гр}$	$09^ч06^м$

2)

	Луна	Солнце
T_{xp}	$09^ч02^м02^с$	$09^ч06^м12^с$
u_{xp}	+ 021	+ 0 21
$T_{гр}$	$09^ч02^м23^с$	$09^ч06^м33^с$
$t_г$	219°48,8′	319°05,6′
$\Delta_1 t$	0 34,1	1 38,1
$\Delta_2 t$	0,5	0,1
$t_{гр}$	220°23,4′	320°43,8′
+ λ_E	89 10,0	89 10,0
$t_м$	309°33,4′ W	49°53,8′ W
$t_{пр}$	50 26,6 E	49 53,8 W

$\overline{\Delta}/\Delta$	$+11{,}0'/-7{,}2'$	$+1{,}0'/+0{,}8'$
$\delta_г$	17°35,9′ S	15°42,0′ S
$\Delta\delta$	— 0,3	+ 0,1
δ	17°35,6′ S	15°42,1′ S

3)

δ	17°35,6′ S	$T(\delta)$	60749					
$t_м$	50°26,6′ E	+ $S(t)$	3920	$T(t)$	72385			
x	26°28,3′ S	$T(x)$	64669	− $S(\tau)$	962			
$\varphi_с$	12°35,0′ N			$T(p)$	71423			
y	129°03,3′			+ $S(y)$	4012	$T(y)$	72541	
$A_с$	59°49,4′ SE ≈ 120°,2			$T(A)$	75425	− $S(A)$	5975	
$h_с$	31 46,8					$T(h)$	66566	

4)

T_2	$09^ч06^м12^с$	A	120,2°
T_1	09 02 02	ИК	185,0
T_2-T_1	$04^м10^с \approx 4{,}2^м$	Q	295,2°

$$\Delta h_V = +0{,}11'; \quad \Delta h_z = (+0{,}11') \times 4{,}2^м \approx +0{,}5'.$$

5)

δ	15°42,1′ S	$T(\delta)$	59703					
$t_м$	49°53,8′ W	+ $S(t)$	3820	$T(t)$	72217			
x	23°34,6′ S	$T(x)$	63523	+ $S(x)$	757			
$\varphi_с$	12°35,0′ N			$T(p)$	71460			
y	126°09,6′			+ $S(y)$	4582			
				$T(A)$	76042			
$A_с$	61°32,0′ SW = 241,5°					$T(y)$	73449	
$h_с$	33°06,8′					− $S(A)$	6436	
						$T(h)$	67013	

6) Исправления высот производим с помощью табл. МТ—75.

	Луна	Солнце	
ос $\frac{}{\mathbb{C}}$	31°29,0′	33°02,7′	ос $\frac{}{\odot}$
$i+s$	— 1,0	— 0,8	$i+s$
d	— 6,8	— 6,8	d
$h^{в}_{\mathbb{C}}$	31°21,1′	32°55,1′	$h^{в}_{\odot}$
Δh_{10}	+ 31,0	+ 14,8	Δh_8
Δh_{14}	0,0	0,0	Δh_{14}
h	31°52,2′	33 09,9	h
Δh_z	+ 0,5	—	—
$h_{пр}$	31°52,7′	33°09,9′	$h_{пр}$
h_c	31 46,8	33 06,8	h_c
Δh	+ 5,9′	+ 3,1′	Δh

$p^{\mathbb{C}}_0 = 56{,}2'$

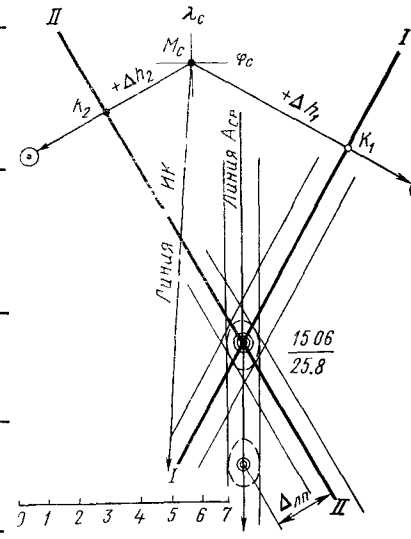


Рис 105 Определение места по одновременным наблюдениям Солнца и Луны

В результате прокладки (рис. 105) получаем:

РШ = 9,3′ к S; ОТШ = 1,3′ к E; РД = 1,3′ к E.

φ_c	12°35,0′ N	λ_c	89°10,0′ E
РШ	9,3 к S	РД	1,3 к E
φ_0	12°25,7′ N	λ_0	89°11,3′ E

$$C = 170° - 9{,}4'.$$

8 Принимая $m_{лп} = \pm 0{,}6'$ и $\Delta_{лп} = 2'$, получили полосу положения судна. Убедись, что судно имеет снос влево от линии курса:

$$A_{ср} = A_1 + \frac{\Delta A}{2} = 120{,}2° + \frac{121{,}3°}{2} = 180{,}8°.$$

§ 61. Определение места по одновременным наблюдениям трех и четырех светил

Способ определения места судна по одновременным наблюдениям двух светил отличается сравнительной простотой. Однако полученная по двум линиям положения обсервованная точка при наличии систематических погрешностей не получается достаточно определенной.

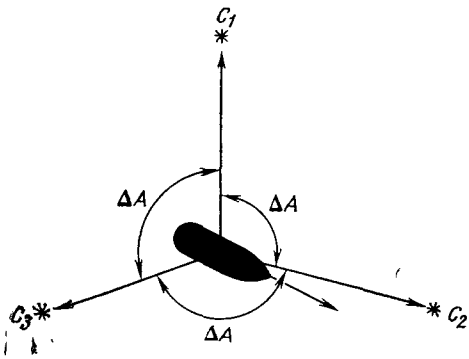


Рис. 106. Подбор трех звезд для обсервации

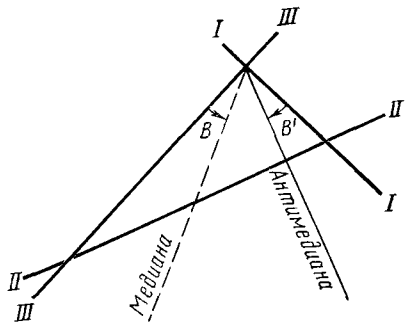


Рис. 107. Построение антимедианы

каются в одной точке. Образованный ими треугольник носит название *ложного треугольника*, или *треугольника погрешностей*.

Причиной появления треугольника погрешностей может быть также промах в наблюдениях или вычислениях. Поэтому на недопущение промахов должно быть обращено особое внимание.

Задачей судоводителя является отыскание наиболее вероятного места судна, т. е. такой обсервованной точки, которая ближе всего располагается к его действительному месту. Теоретические исследования показывают, что положение обсервованного места

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 исключения из результатов обсервации систематических погрешностей наблюдения. Для этого при подборе звезд по глобусу желательно выполнить требование, заключающееся в том, чтобы разность азимутов между каждой звездой составляла величину, близкую к 120°. Подобранные для наблюдений звезды будут располагаться по всему горизонту, как это показано на рис. 106. По возможности подбирают звезды с близкими по величине высотами (объектом наблюдения могут являться также планеты).

Подготовку к наблюдениям, сами наблюдения, вычисления и прокладку производят в том же порядке, как и при определении места по двум светилам.

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 будут присутствовать систематические и случайные погрешности, то при прокладке на карте или бумаге эти линии, как правило, не пересе

судна зависит от характера погрешностей в линиях положения, а также от взаимного расположения наблюдавшихся светил.

Если треугольник погрешностей образовался в результате действия только случайных погрешностей, величины которых в каждой из линий приблизительно одинаковы, то при любых азимутах светил наиболее вероятное место находится внутри треугольника, в точке пересечения его антимедиан.

Для построения антимедианы сначала соединяют какую-либо вершину треугольника с серединой противоположной ему стороны, т. е. проводят медиану (рис. 107). Затем измеряют угол B, образованный медианой с примыкающей к ней стороной треугольника. Под этим же углом B', но уже по отношению ко второй стороне треугольника, образующего его вершину, проводят антимедиану. Таким же образом строят антимедиану еще одного угла.

Наиболее вероятное место судна, полученное в точке пересечения антимедиан M_1, всегда располагается ближе к меньшей стороне треугольника и углу, близкому к 90° (рис. 108).

При разности азимутов между соседними звездами в 120° треугольник погрешностей оказывается равносторонним и антимедианы пересекаются в его центре.

Если предположить, что в переносах присутствуют только систематические погрешности, то действительное место судна, свободное от этих погрешностей, будет находиться на пересечении линий, представляющих собой внутренние или внешние биссектрисы вершин треугольника в точке M_2 (рис. 109). Эти линии являются астрономическими биссектрисами, свойства которых рас-

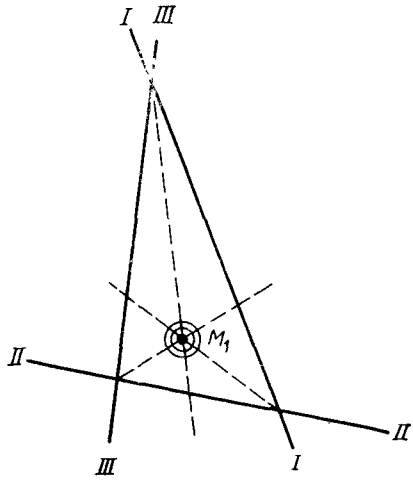


Рис. 108. Нахождение счислимого места при учете случайных ошибок в высотах

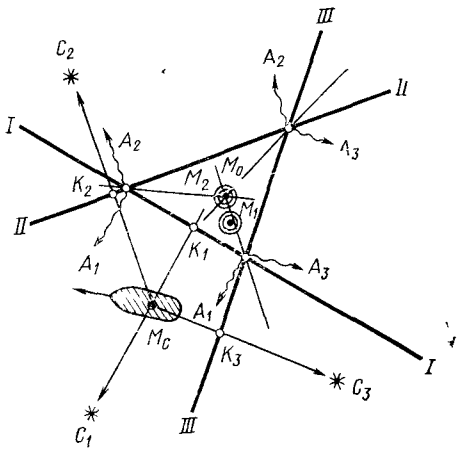


Рис. 109. Нахождение обсервованного места при учете систематических ошибок в высотах, когда светила расположены по всему горизонту

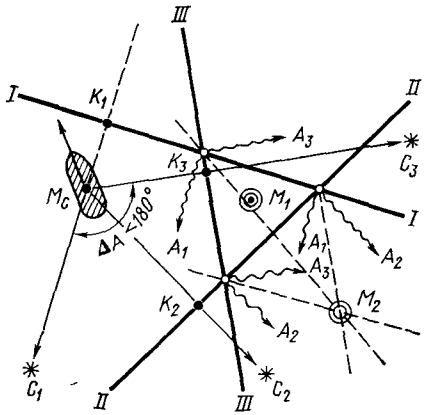


Рис. 110. Нахождение обсервованного места при учете систематических ошибок в высотах, когда светила расположены по одну сторону горизонта

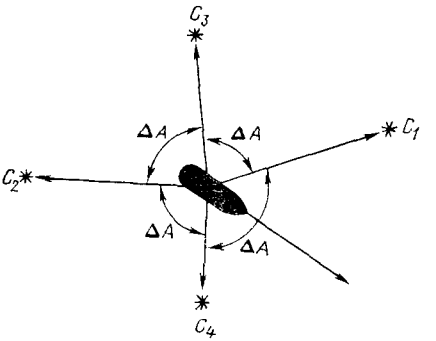


Рис 111 Подбор светил при определении места по четырем звездам

смотрены в § 59. В результате нанесения астрономических биссектрис получают три новые линии положения, свободные от систематических погрешностей.

Чтобы выбрать углы, биссектрисы которых следует провести, у каждой вершины треугольника указывают стрелками направления на светила (см. рис. 109). При этом каждый раз берут два таких светила, высотными линиями которых образована данная вершина. Биссектрисы проводят внутри углов, образованных стрелками. Из рисунка видно, что если светила относительно судна располагались по всему горизонту (разность азимутов между парами близка к 120°), то обсервованное место M_2 оказывается внутри треугольника погрешностей. Если же светила наблюдались над одной половиной горизонта, т. е. в пределах 180° (рис. 110), то точка M_2 оказывается вне треугольника.

На практике треугольник погрешностей образуется всегда в результате совместного действия случайных и систематических погрешностей и судоводитель не знает, какими из этих погрешностей обусловлено в основном его появление. Поэтому решение вопроса о выборе обсервованного места в условиях работы на мостике оказывается затруднительным. Исключением является случай, когда светила для наблюдений были подобраны равномерно по всему горизонту и их попарные разности азимутов равны или близки к 120°. Тогда точки M_1 и M_2 (см. рис. 109) совпадают или находятся близко одна от другой и внутри треугольника. В этих условиях обсервованное место принимается в точке M_2 на пересечении биссектрис треугольника, чем достигается исключение систематической погрешности и уменьшение влияния случайных. Точность принятого обсервованного места, т. е. оценку площади рассеивания, можно получить путем построения круга по-

грешностей с центром в обсервованной точке. Радиус круга погрешностей принимается равным 1,3 $m_{лп}$ предполагаемой величины средней квадратической погрешности переносов:

$$M = \pm 1{,}3 \; m_{лп}.$$

Вероятность нахождения места судна в пределах этого круга составляет около 65%. Так как при расположении светил по всему горизонту обсервованное место определяется наиболее просто и надежно, то этим требованием и следует руководствоваться, подбирая светила для определения по трем линиям положения.

В рассматриваемом способе, как и при определении места по двум звездам, мелкие и средние промахи не обнаруживаются. Поэтому для контроля надежности полученной обсервованной точки следует привлекать для одновременного определения места судна второго наблюдателя.

Если по метеорологическим или другим условиям оказалось невозможным наблюдать светила с разностью азимутов, близкой к 120°, и высоты трех звезд были измерены над одной половиной горизонта, то при анализе обсервации точки M_1 и M_2 не совпадут (см. рис. 110). В этом случае рекомендуется принимать за обсервованную точку, которая лежит ближе к опасности. Если стороны треугольника меньше 3′, то обсервованное место следует принять внутри него.

Способ определения места судна по одновременным наблюдениям четырех светил является еще более точным и надежным, так как при его применении оказывается возможным не только исключить влияние систематических погрешностей высот, но также и обнаружить допущенные в наблюдениях или вычислениях промахи.

Преимущество способа проявляется, однако, при условии правильного подбора светил для наблюдений. Для возможности исключения систематических погрешностей и обнаружения промахов звезды должны подбираться по всему горизонту, чтобы разность азимутов между соседними светилами была близкой к 90° (рис. 111). Высоты «противоположных» звезд должны быть по возможности близкими по величине.

Подбор звезд делают заблаговременно по звездному глобусу. Подобрав звезды, снимают и записывают их приблизительные высоты и азимуты. Объектом наблюдения могут быть также планеты, которые должны наноситься на глобус.

Наблюдения, вычисления и прокладку при определении по четырем светилам выполняют в обычном порядке. Для уменьшения случайных погрешностей рекомендуется измерять по три высоты каждого светила, замечая моменты по хронометру или палубным часам. Высоты первых трех звезд приводят обычно к зениту четвертых наблюдений. Судовое время и отсчет лага в этом случае записывают при измерении средней по порядку высоты четвертой звезды.

В результате вычислений получают элементы четырех линий положения, которые прокладывают на карте или бумаге (бланке)

Под действием случайных и систематических погрешностей четыре линии положения, как правило, не пересекаются в одной точке, образуя *четырехугольник погрешностей.*

При преобладающем действии случайных погрешностей наиболее вероятное место судна принимается в середине четырехугольника

Если в переносах содержатся только систематические погрешности, причем одинаковые по величине и знаку, а светила расположены по всему горизонту, то все линии получают одинаковое смещение по отношению к действительному месту судна. Например, на рис 112 все линии смещены от точки M_0 по направлениям к светилам, в результате чего и образовался четырехугольник погрешностей. Обсервованное место судна M_2, свободное от систематических погрешностей, принимается в этом случае на пересечении двух астрономических биссектрис, проведенных между попарно взятыми линиями положений При этом в каждой паре берутся линии, вычисленные по наблюдениям светил, разность азимутов которых была близка к 180°, и, следовательно, почти параллельные друг другу.

При правильном подборе светил, когда четырехугольник погрешностей близок к квадрату, обсервованную точку M_2 находят проще, принимая ее в пересечении линий, соединяющих середины противоположных сторон В реальных условиях систематические и случайные погрешности действуют совместно Так как при правильном подборе светил наиболее вероятное место судна и точка M_2 практически очень близки, то обсервованное место M_0 принимают в точке M_2, полученной методом биссектрис.

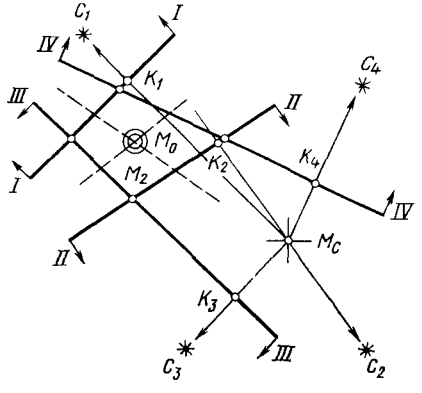


Рис. 112. Нахождение обсервованного места при определении по четырем светилам

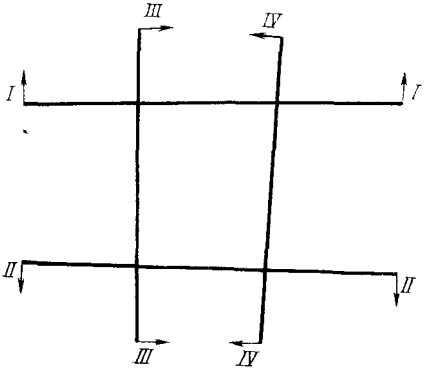


Рис 113. Выявление промаха при определении по четырем светилам

Точность выбранного обсервованного места судна оценивается площадью круга погрешностей, радиус которого при хорошем подборе светил принимается равным предполагаемой величине средней квадратической погрешности переносов $M = \pm m_{лп}$. Вероятность нахождения места судна в пределах этого круга составляет около 65%.

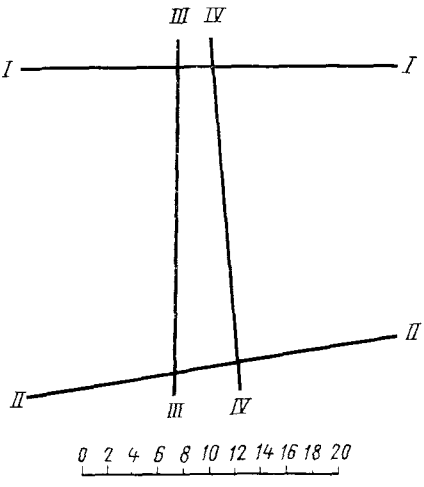


Рис 114 Другой случай выявления промаха при определении по четырем светилам

При определении места по четырем звездам возможно проведение анализа полученной обсервации на промахи в наблюдениях или вычислениях. Для этого у каждой линии расставляют стрелки, соответствующие азимутам, т. е направлениям на те светила, по наблюдениям которых данные линии вычислены. Так как во всех переносах предполагаются одинаковые по знаку и величине систематические погрешности $\Delta_{лп}$, то по отношению к обсервованному месту все линии должны быть сдвинуты одинаково в направлении к светилам или от светил.

Если обнаружится, что одна пара линий сдвинута к светилам, а другая от светил, а размеры четырехугольника превышают возможную величину случайных погрешностей (рис. 113), то в одной или нескольких линиях возможен промах. Признаком промаха может служить также чрезмерная (в 4—5 раз) вытянутость четырехугольника (рис. 114). При этом следует считать, что промахи более вероятны в тех линиях, которые образуют короткие стороны четырехугольника.

В случае обнаружения промахов необходимо произвести проверку вычислений Анализ на промахи целесообразен, если размеры меньшей стороны четырехугольника превышают 2—3′. В меньшем по размерам четырехугольнике, по-видимому, действовали только случайные погрешности

Пример, иллюстрирующий порядок вычислений и прокладки при определении места по одновременным наблюдениям трех светил, приведен в § 66.

Определение места судна днем по Солнцу

§ 62. Обоснование метода определения места судна по разновременным наблюдениям Солнца

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 трех-четырех часов.

Чтобы обосновать метод получения обсервованного места по разновременным наблюдениям Солнца, рассмотрим рис. 115. Предположим, что в момент первых наблюдений счислимое место судна находилось в точке M_{c1}. Его обсервованное место в этот же момент должно располагаться на линии положения *I—I*, элементы которой A_{c1} и Δh_1 были получены по координатам M_{c1}. Через некоторое время, совершив плавание S, на судне провели вторые наблюдения Солнца и получили линию положения *II—II*. Элементы этой линии A_{c2} и Δh_2 были рассчитаны по координатам второй счислимой точки M_{c2}. 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.

Перенос линии положения *I—I* можно производить от любой произвольной взятой на ней точки. Например, как показано на рис. 115, точка K_1 смещена по пути и плаванию в точку K_1', через которую и проведена линия *I′—I′*, параллельная линии *I—I*. Так как отрезки $M_{c2}K_1'$ и $M_{c1}K_1$ равны и параллельны, то точ-

ку K_1' можно получить, проложив элементы первой линии A_{c1} и Δh_1 непосредственно из второго счислимого места M_{c2}. Это обстоятельство позволяет производить прокладку обеих разновременных линий положения из одной счислимой точки M_{c2} 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 также и погрешности в счислении за время между наблюдениями. В результате неправильного нанесения линии $I'—I'$ дополнительные погрешности возникнут и в полученном обсервованном месте M_0.

Рассмотрим, от чего будет зависеть влияние погрешностей счисления на точность счислимо-обсервованного места. Погрешности в линиях положения, вызванные погрешностями в измерении и вычислении высот, в данном случае во внимание принимать не будем.

На рис. 116 показаны первая M_{c1} и вторая M_{c2} счислимые точки судна. Из точек M_{c2} произведена прокладка линий положения $I—I$ и $II—II$, полученных разновременно. Если в пути судна и его плавании S за время между наблюдениями не возникало погрешности, то положение точки M_{c2} было определено правильно и полученная в пересечении линий $I—I$ и $II—II$ точка M_0 соответствует действительному обсервованному месту судна. Однако на практике вследствие погрешностей в пути и плавании второе счислимое место оказывается обычно нанесенным неправильно. В зависимости от величины и знаков погрешностей в элементах счисления вторая счислимая точка может оказаться в пределах окружности вероятного места судна с центром в точке M_{c2}. Радиус окружности, как известно из навигации, определяется по формуле

$$\rho = \frac{S}{100}\sqrt{3\,(m_к)^2 + (m_{\Delta л})^2}\,, \qquad (78)$$

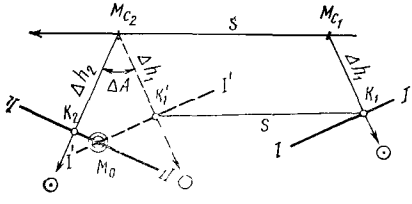


Рис. 115. Получение обсервованного места при разновременных наблюдениях Солнца

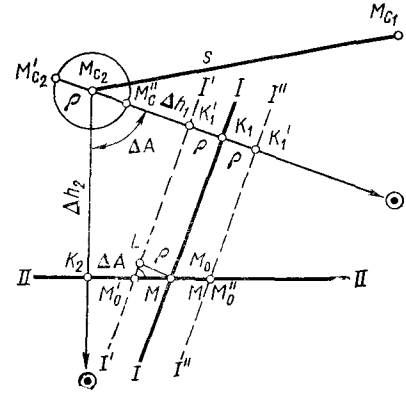


Рис. 116 Ошибки в обсервованном месте из-за ошибки счисления

ред 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.

Для уменьшения погрешностей счисления при плавании в средних и особенно малых широтах рекомендуется делать расчет наивыгоднейшего времени выхода на первые и вторые наблюдения. При этом можно использовать таблицы ВАС-58, руководствуясь, в зависимости от обстоятельств, следующей методикой.

Если судоводитель не связан необходимостью получить обсервованное место в какой-то определенный момент, то первые и вторые наблюдения выгодно производить за одинаковое время до и после кульминации Солнца. В этом случае интервал между наблюдениями оказывается наименьшим. Методика расчета времени выхода на первые и вторые наблюдения по таблицам ВАС — 58 понятна из примера.

Пример 79. 3 сентября 1981 г., Атлантический океан. Приблизительные координаты на полдень $\varphi_c \approx 41°$ N и $\lambda_c \approx 16°$ W.

Определить время выхода на первые и вторые наблюдения по судовым часам. Желаемая разность азимутов Солнца 40° (по 20° до и после кульминации).

Решение 1. С помощью МАЕ рассчитываем T_c верхней кульминации Солнца и выбираем его приближенное склонение:

3/IX	$T_{к(м)}$	$11^ч59^м$	
	+		
	λ_W	1 04	
3/IX	$T_{гр}$	$13^ч03^м$	$\delta_\odot \approx 7{,}5°$ N
	—		
	№$_W$	1	
3/IX	$T_{к(с)}$	$12^ч03^м$	

2 Войдя в основные таблицы ВАС—58 по φ_c и $\delta_\odot$ (одновременные), необходим местный часовой угол, соответствующий азимуту, ближайшему к 160° NE, так как в момент кульминации $A_\odot = 180°$ и 180°—20°=160°;

$$t_м^\odot = 11° \quad \text{или} \quad 0^ч44^м.$$

3 Определяем время выхода на первые наблюдения:

$$T_{к(с)} - t_м^\odot = 12^ч03^м - 0^ч44^м = 11^ч19^м.$$

4 Определяем время выхода на вторые наблюдения

$$T_{к(с)} + t_м^\odot = 12^ч03^м + 0^ч44^м = 12^ч47^м.$$

Промежуток времени между наблюдениями составит $01^ч28^м$.

На практике вторые наблюдения часто проводят в какой-либо заранее выбранный момент времени В этом случае расчет времени выхода на первые наблюдения также делают от момента кульминации.

Пример 80. 18 апреля 1981 г, Атлантический океан. Предполагая определить место судна приблизительно к 11ч по судовому времени, рассчитать время выхода на первые наблюдения Ориентировочная разность азимутов 40°. На полдень $\varphi_c \approx 21° S$; $\lambda_c \approx 38{,}5° W$.

Решение

18/IV	$T_{к(м)}$	$11^ч59^м$	
	+ λ_W	2 34	
18/IV	$T_{гр}$	$14^ч33^м$	$\delta_\odot \approx 10{,}9° N$
	— $№_W$	3	
18/IV	$T_{к(с)}$	$11^ч33^м$	

По таблицам ВАС—58 находим, что за 30 мин ($t_м^\odot = 7{,}5°$) до кульминации, т. е. около 11ч, $A_\odot = 166°$ SE. Первые наблюдения проводим при $A_\odot = 126°$ (166°—40°), что соответствует $t_м^\odot = 39°$ или $2^ч36^м$. Таким образом, первые наблюдения следует произвести в приблизительно в $T_c = 11^ч33^м — 02^ч36^м = 08^ч57^м$

Если по метеорологическим условиям или другим причинам время выхода на первые наблюдения заранее не рассчитывалось и первые наблюдения удалось провести в какой-то удобный для этого момент, то время выхода на вторые наблюдения наиболее просто можно определить, если наблюдать за изменением азимута Солнца по компасу.

§ 64. Практическое выполнение определения места по разновременным наблюдениям Солнца

При определении места судна по разновременным наблюдениям Солнца можно руководствоваться следующим порядком работы

Подготовка к наблюдениям. 1. Заблаговременно рассчитать 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 к 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 Если необходимо, произвести сличение палубных часов с хронометром

Наблюдения. 1. Измерить три — пять высот Солнца, замечая при каждом измерении моменты по хронометру или палубным часам.

$T_{хр_{ср}}$	06ч32м15с	$ос_{ср}$	46°43,2′
$u_{хр}$	+ 8 42	$i + s$	— 0,8
$T_{гр}$	06ч40м57с	d	— 6,3
$t_{т}^{\odot}$	269°54,7′ (+1,2′)	$h^{в}_{\odot}$	46°36,1′
$\Delta_1 t$	10 13,6	Δh_8	+ 15,1
$\Delta_2 t$	0,8	Δh_{14}	+ 0,1
$t_{гр}^{\odot}$	280°09,1′	h	46°51,3′
+ λ_E	59 24,5	h_c	46 49,3
$t_{м}^{\odot}$	339°33,6′ W	Δh	+ 2,0′
$t_{пр}$	20 26,4 E		
$\delta_{т}^{\odot}$	08°40,0′ N (— 0,9′)		
$\Delta\delta$	— 0,6		
$\delta_{\odot}$	08°39,4′ N		

Расчет h_c и A_c на ЭКВМ «Электроника-18А» [см. § 49, формулы (63), (64)].

Перевод минут в доли градуса:

φ_c : 47 [÷] 60 [=] (0,783)
$t_м$: 26,4 [÷] 60 [=] (0,44)
δ : 39,4 [÷] 60 [=] (0,657)

Расчет на ЭКВМ «Электроника-18А» (для контроля даны промежуточные результаты по этапам решения):

1. 29,783 [F] [tg] [F] [ЗАП] (0,572311)
2. 20,44 [F] [cos] [×] [/—/] [F] [ИП] [=] [F] [ЗАП] (—0,5362777)
3. 8 657 [F] [tg] [/—/] [F] [П+] [F] [ИП] [F] [ЗАП] (—0,688530)
4. 29,783 [F] [cos] [×] [F] [ИП] [=] [F] [ЗАП] (—0,5975847)
5. 20,44 [F] [sin] [÷] [F] [ИП] [=] (—0,5843958)
6. [F] [ARC] [tg] (—30,30184) [+] 180 [=] (149,69816 ≈ 149,7° SE)
7. [F] [sin] [F] [ЗАП] (0,504555)
8. 8,657 [F] [cos] [÷] [F] [ИП] [=] [F] [ЗАП] (1,9593641)
9. 20,44 [F] [sin] [×] [F] [ИП] [=] (0,6842608)
10. [F] [ARC] [cos] (46,82249) [—] 46 [=] (0,82249) [×] 60 [=] (49,3)

Ответ: $h_c = 46°49,3'$; $A_c = 149,7°$ SE.

2. Расчет вторых счислимых координат: S = рол = 69,4—10,7 = 58,7 мили; ИК = 259°.

φ_{c_1}	29°47,0′ S	ОТШ = 57,6′ к W		λ_{c_1}	59°24,5′ E
РШ	11,2 к S	РД = 66,5′ к W		РД	1 06,5 к W
φ_{c_2}	29°58,2′ S			λ_{c_2}	58°18,0′ E
$\varphi_{ср}$	29,9° S				

3. Обработка вторых наблюдений:

31/VIII	T_c	$13^ч29^м$
	$№_E$	4
31/VIII	$T_{гр}$	$09^ч29^м$

$T_{хр_{ср}}$	$09^ч20^м27^с$	$oc_{ср}$	46°27,0′
$u_{хр}$	+ 8 42	$i+s$	− 0,4
$T_{гр}$	$09^ч29^м09^с$	d	− 6,4
$t_1^\odot$	314°55,3′ (+ 1,2′)		
$\Delta_1 t$	7 16,8	$h^в_\odot$	46°20,2′
$\Delta_2 t$	0,6	Δh_8	+ 15,1
		Δh_{14}	+ 0,1
$t^\odot_{гр}$	322°12,7′	h	46°35,4′
+ λ_E	58 18,0	h_c	46°40,0′
$t^\odot_м$	20°30,7′ W	Δh	− 4,6′
$t_{пр}$	20 30,7 W		
$\delta_1^\odot$	08°37,3′ N (−0,9′)		
$\Delta\delta$	− 0,4		
$\delta_\odot$	08°36,9′ N		

Расчет h_c и A_c на ЭКВМ «Электроника-18А».
Перевод минут в доли градуса:
φ_c : 58,2 [÷] 60 [=] (0,97)
$t_ч$: 30,7 [÷] 60 [=] (0,512)
δ : 36,9 [÷] 60 [=] (0,615)
Расчет по этапам.
1. 29,97 [F] [tg] [F] [ЗАП] (0,576652)
2 20,512 [F] [cos] [×] [/—/] [F] [ИП] [=] [F] [ЗАП] (—0,5400916)
3 8,615 [F] [tg] [/—/] [F] [П+] [F] [ИП] [F] [ЗАП] (—0,6915946)
4 29,97 [F] [cos] [×] [F] [ПП] [=] [F] [ЗАП] (—0,5991194)
5 20,512 [F] [sin] [—] [F] [ИП] [=] (—0,5848633)
6 [F] [ARC] [tg] (—30,3218) [+] 180 [=] (149,6782 ≈ 149,7° SW)
7 [F] [sin] [F] [ЗАП] (0,504857)
8 8,615 [F] [cos] [÷] [F] [ИП] [=] [F] [ЗАП] (1,95841)
9 20,512 [F] [sin] [×] [F] [ИП] [=] (0,6862327)
10. [F] [ARC] [cos] (46,66736) [—] 46 [=] (0,66736) [×] 60 [=] 40,0
Ответ: $h_c = 46°40,0′$; $A_c = 149,7°$ SW.

Выполняем прокладку с использованием углового масштаба (рис. 119). В результате прокладки получаем РШ = 1,4′ к N; РД = 7,7′ к Е.

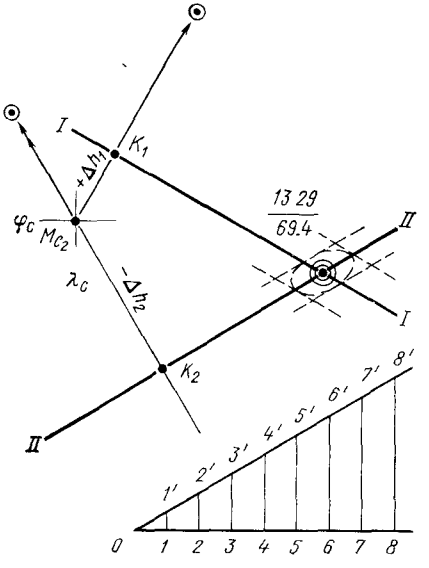


Рис. 119. Пример на определение места по разновременным наблюдениям Солнца

φ_{c_2}	29°58,2′ S
РШ	1,4 к S
φ_0	29°59,6′ S

$C = 102° - 6{,}7'$

λ_{c_2}	58°18,0′ E
РД	7,7 к E
λ_0	58°25,7′

$T_c = 13^ч29^м$; ол = 69,4 мили

Принимая для условий наблюдений $m_{лп1} = \pm 0{,}8'$ и $m_{лп2} = \pm 0{,}5'$, построили средний квадратический эллипс погрешностей. Систематическую погрешность не учитывали, так как наклонение горизонта было измерено наклономером.

§ 65. Использование одной высотной линии положения

Использование одной линии положения для уточнения счисления и суждения о безопасности движения судна. Если по каким-либо причинам удалось получить только одну высотную линию положения, то она может быть использована для уточнения своего счислимого места.

В общем случае (рис. 120, *а*), когда счислимое место вызывает большие сомнения и нет уверенности в правильной работе ком-

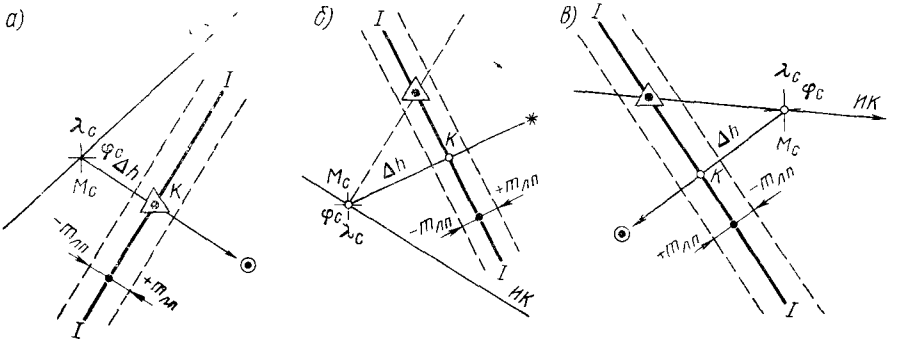


Рис 120 Уточнение счислимого места судна:

а — при получении одной линии положения (общий случай), *б* — при вероятной ошибке в курсе; *в* — при вероятной ошибке в плавании

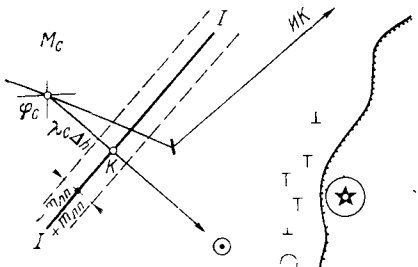


Рис. 121. Контроль счисления при приближении к опасности

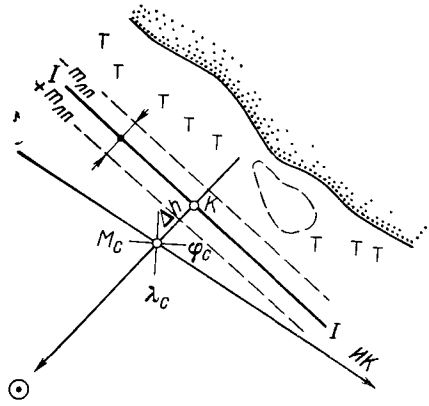


Рис. 122. Контроль счисления при следовании вдоль опасности

паса и лага, счисление следует перенести в определяющую точку К.

Если нет уверенности в правильной работе компаса или возможен боковой снос судна, а лаг работает достаточно надежно, то целесообразно принять уточненное счислимое место не в точке К, а в пересечении линии положения с перпендикуляром, восстановленным в счислимой точке у линии пути судна (рис. 120, *б*).

Если боковой снос судна не предполагается, но нет уверенности в правильной работе лага, то уточненное счислимое место целесообразнее принять в пересечении линий положения с линией пути судна (рис. 120, *в*).

В некоторых случаях одна линия положения может служить достаточно надежным контролем при суждении о безопасности пути судна.

Например (рис. 121), если курс судна располагается в направлении к опасности, то линия положения, полученная по светилу, находящемуся по носу или корме судна, может указать расстояние до точки поворота.

Если курс судна располагается вдоль опасностей, то следует подобрать для наблюдений светило, расположенное близко к траверзу судна (рис.122). Тогда линия положения будет приблизительно параллельной линии пути и укажет расстояние от опасности.

В открытом море одна линия положения может помочь составить суждение о величине погрешностей в счислении. Если Солнце наблюдалось по носу или по корме, то перенос $\Delta h = h - h_c$ покажет снос судна по курсу. Если же Солнце наблюдалось по траверзу, то направление и величина переноса укажут сторону и величину бокового сноса судна.

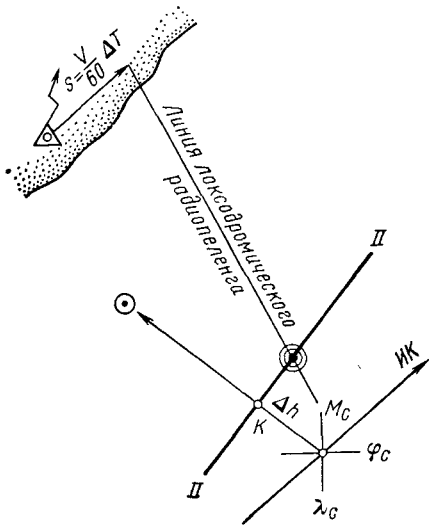


Рис. 123. Определение места по линии положения и радиопеленгу

Во всех этих случаях как при уточнении счислимого места, так и при суждении о безопасности движения судна необходимо помнить, что действительное место судна располагается не на самой высотной линии, а в пределах некоторой полосы положения, ширина которой определяется величиной случайных погрешностей наблюдений. Если в наблюдениях возможна и систематическая погрешность, то полоса положения будет дополнительно сдвинута на ее величину.

Определение места судна по высоте Солнца и радиопеленгу. При плавании в относительной близости к берегу высотная линия может комбинироваться с навигационной линией положения, например с визуальным пеленгом отдаленного берегового предмета или, чаще, радиопеленгом. К этому способу следует прибегать в тех случаях, когда в данных условиях место судна нельзя получить более простыми навигационными методами.

Для образования хорошего угла в пересечении астрономической и навигационной линий положения необходимо, чтобы светило располагалось по направлению на береговой объект или в противоположном от него направлении (рис. 123).

Последовательность наблюдений обычно устанавливается в зависимости от конкретной обстановки плавания (расписания работы радиомаяков и т. д.).

Если первой измеряют высоту светила, то судовое время для снятия с карты φ_c и λ_c замечают при взятии радиопеленга. Высоту светила в этом случае приводят к зениту вторых наблюдений с помощью табл. 16 МТ — 75 или графически.

Если первым измеряют радиопеленг, то счислимые координаты снимают на судовое время измерения высоты светила, а линию радиопеленга приводят графически к месту вторых наблюдений. Для этого линию пеленга сдвигают по курсу судна на величину плавания за время между наблюдениями $S=\frac{V}{60}\Delta T^{м}$ (см. рис. 123).

При плавании в высоких широтах следует учитывать ортодромическую поправку при прокладке как радиопеленга, так и визуального пеленга отдаленного предмета.

Глава 18

Методы ускоренной обработки астрономических наблюдений

§ 66. Применение метода перемещенного места

Для определения места судна методом высотных линий положения судоводителю в зависимости от числа полученных линий необходимо затратить 35—60 мин. При сложной навигационной обстановке вахтенный штурман не располагает таким временем, его внимание, необходимое для безошибочных вычислений, будет отвлечено выполнением других штурманских обязанностей. Кроме того, при современных скоростях судов полученная обсервация оказывается в 10—20 милях позади фактического места судна, что резко снижает ее ценность. Эти обстоятельства вызвали необходимость в разработке таких методов организации наблюдений и вычислений, которые позволяют значительно сократить время, необходимое на получение обсервации после завершения наблюдений светил. Наряду с применением электронных вычислительных машин к таким методам относятся перемещение счислимого места и прием предвычисления элементов линий положения, рассмотренный в следующем параграфе.

Возможность применения метода перемещенного места основывается на том, что положение высотной линии, нанесенной по методу Сент-Илера, не зависит от выбора счислимой точки (см. § 55). Этим пользуются при расчете h_c и A_c по таблицам ВАС—58, принимая для каждой линии в качестве расчетной точки вместо счислимых координат судна координаты так называемого перемещенного места (ПМ), т. е. $\varphi_{ПМ}$ и $\lambda_{ПМ}$. При этом $\varphi_{ПМ}$ берется равной табличной широте, т. е. счислимой, округленной до целого градуса, а $\lambda_{ПМ}$ подбирается так, чтобы получить табличный местный часовой угол, также составляющий целое число градусов.

Получение табличного $t_м$ светил обычно производят путем добавления к вычисленному по обычной схеме местному часовому углу некоторой разности долгот $\Delta\lambda$. При этом берется $\Delta\lambda_E$, если нужно дополнить $t_м$ до целого числа градусов, и $\Delta\lambda_W$, если необходимо снять с $t_м$ избыток сверх градуса (в пределах 30′).

В результате замены координат счислимой точки на координаты ПМ число поправок при работе с таблицами ВАС—58 уменьшается до двух, время, необходимое для вычисления элементов линий положения, сокращается.

Применение метода при одновременных наблюдениях светил. Выборка из МАЕ $t_м$ и δ светил производится в обычном порядке.

Подобрав $\varphi_{пм}$ и $\lambda_{пм}$, переходят к расчету h_c и A_c наблюдавшихся светил.

По табличным $\varphi_{пм}$, $t_{пм}$ и δ светила из основных таблиц ВАС-58 выбирают $h_т$, $A_т$ и $q_т$, а также определяют знак ΔA_δ. Из табл. 1 по $h_т$, $\Delta\delta$ и $q_т$ выбирают поправки Δh_δ и ΔA_δ, которые складывают соответственно с $h_т$ и $A_т$, получая в результате счислимую высоту и азимут. Прокладка каждой полученной линии положения должна производиться из своего перемещенного места.

Недостатком метода является усложнение прокладки. Кроме того, при замене счислимых координат координатами перемещенных мест обычно возрастают величины переносов. Это обстоятельство вызывает дополнительные погрешности в обсервованной точке за счет увеличения влияния замены ортодромического азимута локсодромическим и замены дуги круга равных высот прямой линией. Однако проведенные исследования показали, что расхождения в обсервованных координатах, полученных обычными способами и с применением метода перемещенного места, только в редких случаях превышают 0,5′.

Прокладку линий положения следует выполнять на карте или карте-сетке.

Пример 82. 8 мая 1981 г., Индийский океан $T_с = 17^ч35^м$, ол = 78,8 мили; $\varphi_с = 12°50{,}0'$ S; $\lambda_с = 77°40{,}0'$ E; ИК = 230°; $V = 16$ уз; $e = 11$ м;

$i = +1{,}3'$, $u_{хр} = +0^м11^с$; $S_1 = -0{,}2'$; $S_2 = -0{,}1'$; $S_3 = -0{,}1'$; $t = +20°C$; $B = 765$ мм

Видимость горизонта хорошая. Измерили по три высоты светил, вычислив среднее ос и $T_{хр}$:

эв.Капелла: $ос_{ср} = 15°06{,}7'$, $T_{хр_{ср}} = 00^ч26^м17^с$;

пл.Юпитер: $ос_{ср} = 38°49{,}2'$, $T_{хр_{ср}} = 00^ч30^м53^с$;

эв.Канопус: $ос_{ср} = 40°45{,}2'$, $T_{хр_{ср}} = 00^ч35^м03^с$.

Определить обсервованное место на момент третьих наблюдений, пользуясь методом перемещенного места.

1)

8/V	$T_с$	$17^ч35^м$
	$№_Е$	5
8/V	$T_{гр}$	$12^ч35^м$

2)

	Капелла	Юпитер	Канопус
$T_{хр_{ср}}$	$00^ч26^м17^с$	$00^ч30^м53^с$	$00^ч35^м03^с$
$u_{хр}$	+ 0 11	+ 0 11	+ 0 11
$T_{гр}$	$12^ч26^м28^с$	$12^ч31^м04^с$	$12^ч35^м14^с$
$t_т / t_г$	46°13,6′	224°42,5′ (+3,6′)	46°13,6′
Δt	6 38,1	7 47,4	8 49,9

$t_{гр}\vee / t_{гр}^{24}$	52°51,7′	232°29,9′	55°03,5′
+ λ_E	77 40,0	77 40,0	77 40,0
$t_м\vee / t_м^{24}$	130°31,7′	310°09,9′	132°43,5′
+ τ_*	281 11,1	—	264 07,4
$t_м$	51°42,8′ W	310°09,9′ W	36°50,9′ W

δ	45°58,8′ N	0°59,3′ N (0,0′)	52°41,4′ S
$\Delta\delta$	—	0,0	—
δ^{24}	—	0°59,3′ N	—

3) Расчет h_c и A_c светил производим по таблицам ВАС—58 с применением метода перемещенного места.

$\varphi_{пм1,2\ и\ 3}$ принимаем равной 13°00,0′ S Вычисляем табличные $t_м$, а также $\lambda_{пм_1}$, $\lambda_{пм_2}$ и $\lambda_{пм_3}$.

	Капелла	Юпитер	Канопус
$t_м$	51°42,8′ W	310°09,9′ W	36°50,9′
$\Delta\lambda$	+ 17,2 к E	— 9,9 к W	+ 9,1 к E
$t_{пм}$	52°00,0′ W	310°00,0′ W	37°00,0′ W
$t_{пм_{пр}}$	—	50 00,0 E	—
$\lambda_{пм}$	77°57,2′ E	77°30,1′ E	77°49,1′ E

Капелла

$\varphi_{пм}$	13° S	$h_т$	14°46,0′	$A_т$	145,5° SW
δ	46° — 01,2′ N	$\Delta h\delta$	+ 0,7	$\Delta A\delta$	0,0
$t_{пм}$	52° W	h_c	14°46,7′	A_c	145,5° SW

$q_т = 127°$ $A_c = 325{,}5°$

A	325,5°	T_3	$12^ч35^м14^с$	$\Delta h_V = -0{,}03′$
— ИК	230,0°	— T_1	12 26 28	$\Delta h_z = (-0{,}03′) \times 8{,}8^м \approx$
Q	95,5°	$T_3 - T_1$	$08^м46^с \approx 8{,}8^м$	$\approx -0{,}3′$

Юпитер

$\varphi_{\text{ПМ}}$	13° S	$h_{\text{т}}$	38°29,0′	$A_{\text{т}}$	101,9° SE
δ	1° — 0,7′ N	$\Delta h\delta$	+ 0,2	$\Delta A\delta$	0,0
$t_{\text{ПМ}}$	50° E	$h_{\text{с}}$	38°29,2′	$A_{\text{с}}$	101,9° SE

$q_{\text{т}} = 108°$ $A = 78{,}1°$

A	78,1°	T_3	12ч35м14с	$\Delta h_V = -0{,}23′$
— ИК	230,0	T_2	12 31 04	$\Delta h_z = (-0{,}23′) \times 4^{\text{м}},2 \approx -10′.$
Q	208,1°	$T_3 - T_2$	$4^{\text{м}}10^{\text{с}} \approx 4{,}2^{\text{м}}$	

Канопус

$\varphi_{\text{ПМ}}$	13° S	$h_{\text{г}}$	40°42,4′	$A_{\text{г}}$	28,9° SW
δ	52°30′+11,4′ S	$\Delta h\delta$	— 7,2	$\Delta A\delta$	— 0,1
$t_{\text{ПМ}}$	37° W	$h_{\text{с}}$	40°35,2′	$A_{\text{с}}$	28,8° SW

$q_{\text{г}} = 129°$ $A_{\text{с}} = 208{,}8°$

4)

	Капелла	Юпитер	Канопус
$\text{ос}_{\text{ср}}$	15°06,7′	38°49,2′	40°45,2′
$i + s$	+ 1,1	+ 1,2	+ 1,2
d	— 5,8	— 5,8	— 5,8
$h_{\text{в}}$	15°02,0′	38°44,6′	40°40,6′
$\Delta h_{\text{Л—а}}$	— 3,6	— 1,2	— 1,1
Δh_{9-6}	—	0,0	—
Δh_{14}	+ 0,1	0,0	0,0
h	14°58,5′	38°43,4′	40°39,5′
Δh_z	— 0,3	— 1,0	—

$h_{\text{ир}}$	14°58,2′	38°42,4′	40°39,5′
$h_{\text{с}}$	14 46,7	38 29,2	40 35,2
Δh	+ 11,5′	+ 13,2′	+ 4,3′

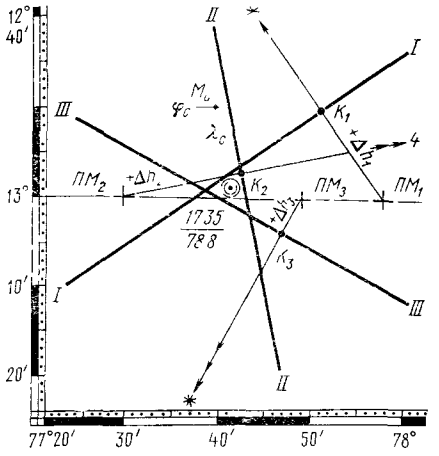


Рис. 124. Пример на определение места судна по трем светилам с использованием метода перемещенного места

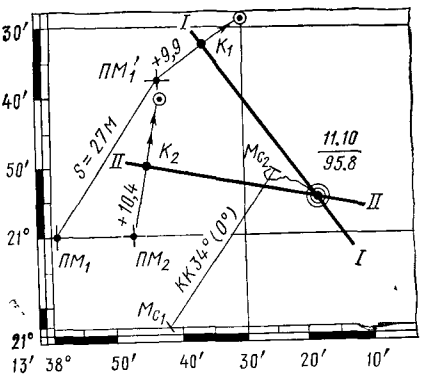


Рис. 125. Пример на определение места по разновременным наблюдениям Солнца с использованием метода перемещенного места

Прокладку выполняем на карте-сетке (рис. 124). Обсервованное место судна приняли в центре треугольника. С прокладки на $T_c = 17^ч35^м$, ол = 78,8 м получаем

$$\varphi_o = 12°59{,}2' \text{ S}; \quad \lambda_o = 77°41{,}5' \text{ E};$$

$$C = 175° - 9{,}0 \text{ м}.$$

Применение метода при разновременных наблюдениях Солнца. Применяют следующий порядок вычислений высот и азимутов светила и прокладки линий положения (рис. 125).

1. Ориентируясь на счислимые координаты судна при первых наблюдениях (точка M_{c1}) выбирают перемещенное место, по координатам которого делают расчет элементов первой линии положения. Перемещенное место $ПМ_1$ наносят на карту.

2. Продолжают вести прокладку от счислимой точки M_{c1}. По счислимым координатам при вторых наблюдениях (точка M_{c2}) выбирают и наносят на карту второе перемещенное место $ПМ_2$, по координатам которого делают расчет элементов второй линии положения.

3. Первое перемещенное место $ПМ_1$ переносят по курсу и плаванию судна и из полученной точки $ПМ_1'$ прокладывают первую линию положения *I—I*. Вторую линию положения *II—II* прокладывают из второго перемещенного места $МП_2$. В пересечении двух линий положения принимают обсервованное место судна.

Порядок работы рассмотрим на примере.

Пример 83. 18 апреля 1981 г. В $T_c = 08^ч56^м$; ол = $68{,}8^м$; $\Delta_л = 0\%$; $\varphi_{c_1} = 21°13{,}0'$ S; $\lambda_{c_1} = 38°41{,}6'$ W. В результате обработки первых наблюдений Солнца получили:

$$h = 39°34{,}4'; \quad \delta\odot = 10°51{,}7' \text{ N}; \quad t^{\odot}_{м} = 320°17{,}9' \text{ W}$$

В $T_c = 11^ч10^м$, ол = 95,8 м; провели вторые наблюдения. При прокладке на карте по ИК = 34° и S = 27 миль $\varphi_{c_2} = 20°50{,}9'$ S; $\lambda_{c_2} = 38°25{,}4'$ W. В результате обработки вторых наблюдений получили:

$$h = 57°44{,}3'; \quad \delta_{\odot} = 10°53{,}7' \text{ N}; \quad t^{\odot}_{м} = 354°21{,}7' \text{ W}.$$

Определить φ_o и λ_o на момент вторых наблюдений, применяя метод перемещенного места.

Решение

1 Для расчета h_c и A_c при первых наблюдениях принимаем $\varphi_{пм_1} = 21°$ S. Ориентируясь на $t^{\odot}_{м}$, вычислим табличный часовой угол $t_{пм_1}$ и $\lambda_{пм_1}$.

$t^{\odot}_{м}$	320°17,9 W
$\Delta\lambda_W$	— 17,9 к W
$t_{пм_1}$	320°00,0′ W = 40° E
$\lambda_{пм_1}$	38°59,5′ W

$\varphi_{пм_1}$	21° S	h_t	39°19,2′	A_t	125,4° SE
δ	11°—8,3′ N	$\Delta h\delta$	+ 5,3′	$\Delta A\delta$	— 0,1′
$t_{пм_1}$	40° E	h_c	39°24,5′	A_c	125,3° SE

$q_t = 129°$ $\qquad A_c = 54{,}7°$

$$\Delta h_1 = 39°34{,}4' - 39°24{,}5' = +9{,}9'$$

2. Для расчета h_c и A_c при вторых наблюдениях принимаем $\varphi_{пм_2} = 21°$ S, вычисляем $t_{пм_2}$ и $\lambda_{пм_2}$

$t^{\odot}_{м}$	354°21,7′ W
$\Delta\lambda$	— 21,7 к W
$t_{ПМ_2}$	354° W = 6° E
$\lambda_{ПМ_2}$	38°47,1′ W

$\varphi_{ПМ_2}$	21° S	h_t	57°27,6′	A_t	169,0° SE
δ	11° — 6,3′ N	$\Delta h\delta$	+ 6,2′	$\Delta A\delta$	0,0°
$t_{ПМ_2}$	6° E	h_c	57°33,9′	A_c	169,0° SE

$q_t = 170°$ $\qquad A_c = 11{,}0°$

$$\Delta h_2 = 57°44{,}3' - 57°33{,}9' = +10{,}4'$$

Прокладку производим на карте-сетке (см. рис. 125). Первая линия положения прокладывается из точки $ПМ'_1$, вторая — из точки $ПМ_2$. В результате получаем

$$\varphi_o = 20°54{,}6' \text{ S}; \quad \lambda_o = 38°17{,}8' \text{ W}; \quad C = 117° - 8{,}2'.$$

При определении места по Солнцу с применением рассмотренного метода перемещенных мест выполнение прокладки становится довольно сложным. Поэтому первую линию положения иногда рассчитывают обычным порядком по φ_c и λ_c, вторую — по координатам перемещенного места.

§ 67. Применение метода предвычисления элементов линии положения

Этот метод наиболее часто применяют при определении места судна по разновременным наблюдениям Солнца. В этом случае предвычисляются элементы только второй линии положения. Использование метода позволяет получить обсервованное место уже через 2—3 мин после вторых наблюдений, причем на заранее выбранный момент, например, на конец вахты или на намеченное время изменения курса. Предвычисление второй линии производится заблаговременно, в спокойной обстановке. Эту работу целесообразно проводить после первых наблюдений одновременно с их обработкой.

При получении обсервации применяют следующий порядок работы.

Намечают время вторых наблюдений T_{c2}. Задавшись разностью азимутов Солнца, рассчитывают наивыгоднейшее время выхода на первые наблюдения T_{c1}, как указано в § 63.

Первые наблюдения выполняют в обычном порядке. Одновременно с расчетом элементов первой линии положения h_{c_1} и A_{c_1} проводят предвычисление второй линии. Для этого по средней скорости судна прокладкой на карте или письменным счислением рассчитывают вторые счислимые координаты φ_{c_2} и λ_{c_2} на заданное T_{c_2}. На гринвичское время вторых наблюдений $T_{гр_2}=T_{c_2}\mp№^{E}_{W}$ и дату выбирают из МАЕ $t^{\odot}_{м}$ и $\delta_{\odot}$, после чего предвычисляют h_{c_2} и A_{c_2}. По h_{c_2} (вместо oc_2) выбирают из таблиц ВАС—58 или МТ-75 поправку исправления высоты $\Sigma\Delta h$ (алгебраическая сумма $i+s$, d, ρ, p и R). Эту поправку вводят с обратным знаком в h_{c_2} и получают предвычисленный отсчет секстана $Пр.oc_2=h_{c_2}-\Sigma\Delta h$. Предвычисляют момент вторых наблюдений по хронометру $Пр.T_{хр_2}=T_{гр_2}-u_{хр}$.

За несколько минут до намеченного времени T_{c_2} начинают измерять высоты Солнца (3—5 измерений), фиксируя моменты по хронометру. В намеченный момент обсервации T_{c_2} замечают $ол_2$. Осреднением результатов измерений получают фактические oc_2 и $T_{хр_2}$. Рассчитывают второй перенос по формуле $\Delta h_2=oc_2-Пр.oc_2$.

Выполняют на карте или бумаге прокладку линий азимутов A_{c_1} и A_{c_2} и откладывают по ним переносы Δh_1 и Δh_2.

Определяют разность между фактическим и предвычисленным моментами вторых измерений $\Delta T=T_{хр_2}-Пр.T_{хр_2}$. Вторая линия положения при наличии такой разности должна быть приведена к намеченному времени измерений T_{c_2}.

Интервалу ΔT соответствует изменение часового угла Солнца Δt. Полюс освещения и круги равных высот светил при их суточном движении перемещаются к западу. Поэтому, если фактические наблюдения были выполнены позже намеченного времени, то вторая линия положения (или, что все равно, точка K_2) смещается по параллели к W на величину $\Delta\lambda$, равную Δt (см. рис. 126). Если фактические наблюдения выполнены раньше намеченного времени, то вторая линия положения (или точка K_2) смещается по параллели к E. Величину $\Delta t'$ определяют по $\Delta T^{м}$ из основных интерполяционных таблиц МАЕ в колонке «Солнце и планеты».

Так как за время ΔT судно перемещается, то должно быть выполнено также приведение к зениту наблюдений. Для этого смещенную точку K_2 переносят по курсу судна на величину плавания S за время ΔT: вперед, если наблюдения выполнены раньше, и назад, если наблюдения выполнены позже. Если ΔT меньше $1^{м}$, то приведение к зениту можно не выполнять.

Вторую линию положения прокладывают из смещенной точки K'_2 перпендикулярно азимуту. Место судна получают на намеченное T_{c_2}.

Пример 84. 20 декабря 1981 г. Предполагая определить место судна по разновременным наблюдениям Солнца в $12^{ч}00^{м}$ по судовому времени, рассчитали время выхода на первое наблюдение, приняв ориентировочную разность азимутов 45°. На полдень $\varphi_c \approx 37{,}0°$ N и $\lambda_c \approx 10{,}5°$ E.

Расчет времени выхода на первое наблюдение:

20/XII	$T_{к(м)}$	$11^{ч}58^{м}$	
	$-\ \lambda_E$	0 42	
20/XII	$T_{гр}$	$11^{ч}16^{м}$	$\delta_\odot \approx 23{,}5°$ S
	$+\ №_E$	1	
20/XII	$T_{с(к)}$	$12^{ч}16^{м}$	

По таблицам ВАС—58 по φ_c и δ (разноименные) находим, что за $16^{м}$ ($t^{\odot}_{м}=4°$) до кульминации, т. е. около $T_c=12^{ч}$, $A_\odot = 176°$ NE. Первые наблюдения проводим при $A_\odot = 131°$ (176°—45°), что соответствует $t^{\odot}_{м} = 53°$ или $3^{ч}32^{м}$. Таким образом, первые наблюдения следует произвести приблизительно в $12^{ч}16^{м} - 3^{ч}32^{м} = 8^{ч}44^{м}$.

Первые наблюдения: в $T_{c_1} = 8^{ч}40^{м}$; $ол_I = 42{,}5$; $\Delta л = 0\%$, $\varphi_{c_1} = 36°50{,}0'$ N; $\lambda_{c_1} = 11°25{,}0'$ E; ГКК = 302°; $\Delta ГК = +1°$. Измерили три высоты Солнца: $ос_{ср_\odot} = 11°52{,}2'$; $T_{хр_{ср}} = 7^{ч}29^{м}39^{с}$; $i = -0{,}5'$; $s_I = -0{,}5'$; $u_{хр} = +10^{м}41^{с}$; $t = +8°$ C; $B = 765$ мм; $e = 11$ м, $V = 19{,}2$ уз.

Расчет плавания и вторых координат:

$$\Delta T = 12^{ч}00^{м} - 8^{ч}40^{м} = 3^{ч}20^{м}.$$

При средней скорости 19,2 уз. $S = 64$ м. С карты $\varphi_{c_2} = 37°24{,}0'$ N, $\lambda_{c_2} = 10°17{,}0'$ E.

Обработка первых наблюдений и предвычисление элементов второй линии положения:

$T_{хр_{ср}}$	$7^ч29^м39^с$	$12^ч00^м00^с$	$T_{с_2}$
$u_{хр}$	+10 41	1	N_E
20/XII $T_{гр}$	$7^ч40^м20^с$	$11^ч00^м00^с$	$T_{гр}$
$t_т$	285°37,2′ (+0,7′)	345°36,0′	
$\Delta_1 t$	10 04,3		
$\Delta_2 t$	0,5		
$t_{гр}^{\odot}$	295°42,0′		
+			
λ_E	11 25,0	10 17,0	
$t_м^{\odot}$	307°07,0′ W	355°53,0′ W	
$t_{пр}$	52 53,0 E	4 07,0 E	
$\delta_т^{\odot}$	23°25,8′ S (0,0)		
$\Delta\delta$	0,0		
$\delta_{\odot}$	23°25,8′ S	23°25,9′ S	

	I линия	$h_т$	$A_т$
		11°57,8′	131,3°
φ_c	37° — 10,0′ N	+ 6,6	0,0
δ	23° + 25,8′ S	— 19,4	+ 0,3
$t_м$	53° — 07,0′ E	+ 4,2	+ 0,1
		0,0	
$q_т = 139°$		$h_{c_1} = 11°49,2′$	$A_{c_1} = 131,7°$ NE $A_{c_1} = 131,7°$

	II линия	$h_т$	$A_т$
		29°52,9′	175,8°
φ_c	37° + 24,0′ N	— 23,9	0,0
δ	23° + 25,9′ S	— 25,8	0,0
$t_м$	4° + 07,0′ E	— 0,4	— 0,1
		0,0	
$q_т = 176°$		Пр. $h_{c_2} = 29°02,8′$	$A_c = 175,7°$ NE Пр. $A_{c_2} = 175,7°$

Вычисляем перенос при первых наблюдениях и предвычисляем $ос_2$ при вторых (используем таблицы ВАС—58)

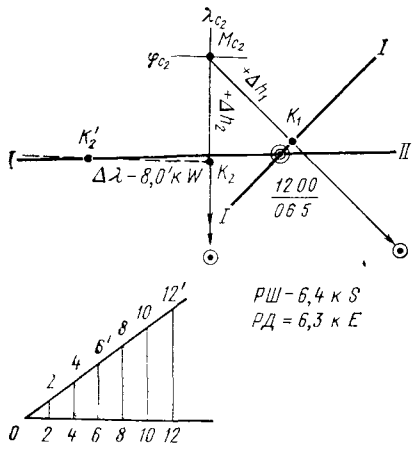


Рис 126 Пример на определение места по разновременным наблюдениям Солнца с предвычислением второй линии положения

$ос_{ср_1}$	11°52,2′	29°02,8′	Пр. h_{c_2}
$i + s$	— 1,0	— 0,8	$i + s$
$h'_{\odot}$	11°51,2′		
Δh_d	— 5,9	— 5,9	
$h_{в\odot}$	11°45,3′		
Δh_{p+p}	— 4,4	— 1,6	
$R_{\odot}$	+ 16,3	+ 16,3	
Δh_{tB}	0,0	0,0	
h_1	11°57,2′	+ 8,0′	$\sum \Delta h$
h_{c_1}	11 49,2	— 8,0	$-\sum \Delta h$
Δh_1	+ 8,0′	28°54,8′	Пр $ос_2$

Поправка s_2 по h_{c_2}; $s_2 = -0{,}3'$

Вторые наблюдения:

$$\text{Пр.}\, T_{\text{хр}_2} = 11^{\text{ч}}00^{\text{м}}00^{\text{с}} - (+\, 10^{\text{м}}41^{\text{с}}) = 10^{\text{ч}}49^{\text{м}}19^{\text{с}}$$

$ос_2$	29°01,7′	$T_{\text{хр}_2}$	$10^{\text{ч}}49^{\text{м}}51^{\text{с}}$
Пр. $ос_2$	28 54,8	Пр. $T_{\text{хр}_2}$	10 49 19
Δh_2	+ 6,9′	ΔT	+ 32,0$^{\text{с}}$

Наблюдения проведены позже намеченного времени на 32,0$^{\text{с}}$

$$\Delta t_{\odot} = \Delta\lambda = 8{,}0'\ \text{к W}.$$

В результате произведенной прокладки (рис 126) получаем

$$\varphi_0 = 37°17{,}0'\text{N}; \quad \lambda_0 = 10°23{,}3'\ \text{E}$$
$$C = 143° - 8{,}0'$$

При обработке как первой, так и второй линий положения может быть применен метод перемещенного места В этом случае описанным выше приемом при прокладке смещают вместо точки K_2 перемещенное место $ПМ_2$. Из точек $ПМ_1$ и смещенной точки $ПМ_2$ прокладку линий положения производят как указано в § 66.

Частные случаи определения координат судна или его места

§ 68. Определение широты места по меридиональной (наибольшей) высоте Солнца

Обоснование метода. На рис. 127 изображена небесная сфера для наблюдателя, расположенного в некоторой широте φ_N. На сферу нанесены параллели трех светил — B, D и F,— склонения которых имеют самые различные соотношения с широтой наблюдателя.

Светило B (см рис. 127, *а*) имеет склонение, одноименное с широтой наблюдателя, причем величина его склонения меньше широты ($\delta_N < \varphi_N$). Верхняя кульминация светила B располагается в точке b.

Светило D (см рис. 127, *б*) имеет склонение, разноименное с широтой наблюдателя и меньшее дополнения широты ($\delta_S < 90° - \varphi_N$). Его верхняя кульминация обозначена точкой d.

Светило F (см. рис. 127, *в*) имеет склонение, одноименное с широтой наблюдателя и по величине больше 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 точку f', так и нижнюю точку f кульминации светила F.

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 H до $90°$, т. е. $Z = 90° - H$, носит название *меридионального зенитного расстояния* и имеет наименование, обратное H.

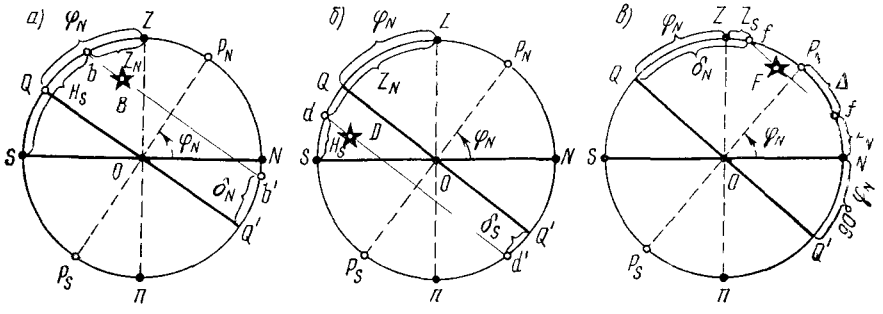


Рис 127 Вывод формул для определения φ_0 по меридиональным высотам

Если при измерении меридиональных высот заметить моменты гринвичского времени, то из МАЕ можно получить склонения светил.

Установим с помощью рис. 127 соотношения между известными H и δ каждого светила и широтой наблюдателя φ_N.

Для светила B из рис. 127, *а* получим

$$\smile Qz = \smile Qb + \smile zb$$

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

$$\varphi_N = \delta_N + (90^\circ - H_S) = \delta_N + Z_N. \quad (80)$$

Для светила D (см. рис. 127, *б*) найдем, что

$$\smile Q_z = \smile zd - \smile Qd$$

или

$$\varphi_N = (90^\circ - H_S) - \delta_S = Z_N - \delta_S. \quad (81)$$

Для светила F (см. рис. 127, *в*) получим

$$\smile Q_z = \smile Qf - \smile zf$$

или

$$\varphi_N = \delta_N - (90^\circ - H_N) = \delta_N - Z_S. \quad (82)$$

Равенства (80), (81), (82) позволяют написать обобщенную формулу, которую применяют для получения широты места по высотам светил, измеренным в момент верхней кульминации,

$$\varphi_0 = Z \pm \delta. \quad (83)$$

Широта равна алгебраической сумме склонения светила и его меридионального зенитного расстояния.

При использовании формулы знак «+» следует брать в том случае, если Z и δ одноименны. Широта в этом случае получает наименование слагаемых величин. Если же Z и δ разноименны, то для получения φ_0 в правой части формулы вычитают из большей величины меньшую; широте приписывают наименование большей величины.

Установим теперь из рис. 127, *в* соотношение между меридиональной высотой светила F в нижней кульминации (H'), склонением этого светила и широтою наблюдателя:

$$\smile NP_N = \smile Nf' + \smile P_N f'$$

или

$$\varphi_N = H_N + (90^\circ - \delta_N).$$

Заменив дополнение склонения через полярное расстояние $\Delta = 90^\circ - \delta$, получим формулу для определения широты места по высотам светил, измеренным в момент нижней кульминации,

$$\varphi_0 = H' + \Delta. \quad (84)$$

Нижняя кульминация может наблюдаться только над точкой горизонта, одноименной с широтой наблюдателя, при φ и δ одноименных. Поэтому в формуле всегда следует брать знак «+».

Широту места в море принято определять 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. На практике меридиональной высотой считают наибольшую высоту Солнца при его верхней кульминации или наименьшую — при нижней. Приемы измерения наибольшей или наименьшей высоты были рассмотрены в § 38.

Последовательность действий при определении высоты по меридиональным высотам рассмотрим для случая, когда Солнце наблюдалось в верхней кульминации; в момент нижней кульминации порядок работы при определении φ_o 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. Привести поправку хронометра к моменту наблюдений. Если надо, то произвести сличение палубных часов с хронометром.

6. Измерить, если возможно, наклонение горизонта.

Наблюдения. 1. За 5—7 мин до рассчитанного момента кульминации Солнце 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 $\varphi_o = Z \pm \delta$ получить обсервованную широту судна.

Анализ точности полученной широты. Погрешность в широте будет зависеть только от погрешностей в измеренной высоте. Погрешность в высоте складывается из случайных, характеризуемых величиною m_h и систематических погрешностей наблюдений. Средняя квадратичная погрешность при изменении высоты Солнца может быть принята равной $\pm 0{,}6$. На эту величину и следует сместить в обе стороны параллель обсервованной широты, получив полосу положения. Систематическая погрешность, величина которой

в основном зависит от погрешностей табличного наклонения горизонта и инструмента, может приниматься равной от 1 до 3′.

При наличии систематической погрешности полоса положения дополнительно смещается на эту величину. Если при наблюдениях наклонение горизонта было измерено с помощью наклономера, а секстан периодически выверялся, то влиянием систематической погрешности в высоте можно пренебречь.

Пример 85. 9 сентября 1981 г., Японское море. Рассчитали T_c верхней кульминации Солнца, предвычислив на полдень $\lambda_c \approx 132°$ E.

В $T_c = 12^ч10^м$, ол = 17,5 мили, $\varphi_c = 41°37{,}1'$ N; $\lambda_c = 131°58{,}5'$ E, наибольший $\text{ос}_{\underline{\odot}} = 52°32{,}2'$ к S; $i+s = +0{,}5'$; $e = 12$ м; определить φ_o.

Решение. 1. Расчет T_c кульминации:

9/IX	$T_{к(м)}$	$11^ч57^м$
	λ_E	8 48
9/IX	$T_{гр}$	$3^ч09^м$
	$№_E$	9
9/IX	T_c	$12^ч09^м$

2.

δ_1	5°23,3′ (— 0,9′)
$\Delta\delta$	— 0,1
$\delta_{\odot}$	5°23,2′ N

3.

$\text{ос}_{\underline{\odot}}$	53°32,2′ к S
$i+s$	+ 0,5
d	— 6,1
$H^в_{\underline{\odot}}$	53°26,6′
Δh_8	+ 15,3
$H_{\odot}$	53°41,9′ S
$+Z_{\odot}$	36 18,1 N
$\delta_{\odot}$	5 23,2 N
φ_o	41°41,3′ N
φ_c	41 37,1 N
$\Delta\varphi$	4,2′ к N

Пример 86. В ночь с 1 на 2 августа 1981 г., Море Лаптевых. Рассчитали T_c нижней кульминации Солнца, предвычислив на полночь $\lambda_c = 108°$ E.

1 августа в $T_c = 23^ч55^м$; ол = 45,5 мили; $\varphi_c = 79°52{,}0'$ N; $\lambda_c = 108°03{,}0'$ E, наименьший $\text{ос}_{\underline{\odot}} = 7°49{,}9'$ к N; $i+s = -1{,}2'$; $e = 12$ м; $t = +5°$C; $B = 770$ мм. Определить φ_o.

Решение. 1. Расчет T_c кульминации:

2/VIII	$T_{к(м)}$	$00^ч06^м$
	λ_E	7 12
1/VIII	$T_{гр}$	$16^ч54^м$
	$№_E$	7
1/VIII	T_c	$23^ч54^м$

2.

$\delta_г^{\odot}$	17°55,8′ N(—0,6′)
$\Delta\delta$	— 0,5
$\delta_{\odot}$	17°55,3′ N
$\Delta_{\odot}$	72°04,7′ N

3.

$\underline{\text{ос}_{\odot}}$	7°49,9′ к N
$i+s$	— 1,2
d	— 6,1
$\underline{H^{в}_{\odot}}$	7°42,6′
Δh_8	+ 9,2
Δh_{14}	— 0,2
$H'_{\odot}$	7°51,6′ N
$\Delta_{\odot}$	72°04,7
φ_o	79°56,3′ N
φ_c	79 52,0 N
$\Delta\varphi$	4,3′ к N

Разность между наибольшей и меридиональными высотами и ее учет. При определении широты за меридиональную высоту принимают наибольшую (при нижней кульминации — наименьшую) из измеренных высот. В действительности же из-за перемещения судна и наличия у Солнца собственного движения его наибольшая и наименьшая высоты наблюдаются в моменты, когда светило еще не достигло меридиана или уже прошло кульминацию. Кроме того, измеренные наибольшая или наименьшая высоты отличаются по величине от соответствующей меридиональной высоты. Для объяснения этого явления рассмотрим рис. 128, на котором изображена южная часть горизонта и участок суточной параллели Солнца.

Предположим, что наблюдения производились около полудня в северной широте при увеличивающемся северном склонении Солнца, а курс судна располагался в направлении на кульминирующее светило (ИК = 180°).

Так как Солнце находится на носовых курсовых углах, то его высота из-за перемещения судна увеличивается. Приращение высоты, вызванное этой причиной, обозначим через Δh_z, а величину приращения за счет увеличения склонения — через Δh_δ. Приращение высоты Солнца за счет суточного вращения сферы будем обозначать $\Delta h_т$. До момента кульминации $\Delta h_т$ положительна. В момент, когда светило пересекает мериди-

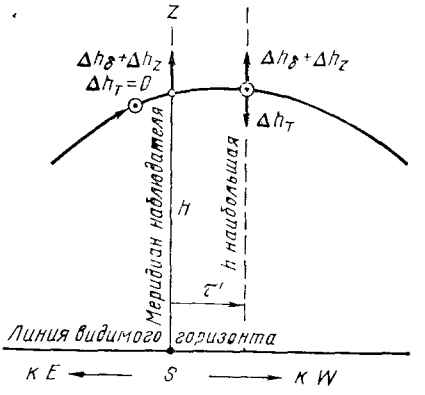


Рис. 128. Несовпадение наибольшей и меридиональной высот

ан наблюдателя, $\Delta h_т = 0$, а непосредственно после кульминации значение $\Delta h_т$ становится отрицательным.

При движении Солнца вблизи меридиана изменение его высоты $\Delta h_т$, обусловленное вращением сферы, происходит медленно. Поэтому в течение некоторого времени после кульминации положительное приращение высоты Солнца за счет перемещения судна Δh_z и увеличения склонения Δh_δ будет преобладать над отрицательным значением $\Delta h_т$. В результате высота Солнца возрастает и после пересечения меридиана. Уменьшение высоты начнется при некотором значении часового угла t после того, как суммарная скорость приращений Δh_z и Δh_δ окажется равной возрастающей скорости уменьшения высоты от суточного движения $\Delta h_т$.

Аналогичными рассуждениями можно доказать, что если суммарное действие приращений Δh_z и Δh_δ будет уменьшать высоту (например, судно движется от светила, имея большую скорость), то наибольшая высота светила будет наблюдаться до момента кульминации.

Таким образом, момент измерения наибольшей высоты Солнца не совпадает с моментом прохождения его через меридиан наблюдателя. Как и любое измерение, выполненное вне меридиана, измеренная наибольшая высота оказывается к тому же меньше меридиональной для данных φ и δ. Поэтому замена в формуле $\varphi_o = Z \pm \delta$ меридиональной высоты наибольшей приводит к появлению ошибки в рассчитанной φ_o. Как показывают исследования, величина ошибки оказывается тем больше, чем больше широта наблюдателя. В тропиках этой ошибкой можно пренебречь. Но уже в средних широтах при большей скорости судна и курсах, близких к 0 или 180°, ошибка может достигать нескольких минут.

Для получения верного значения широты в φ_o, полученную по наибольшей высоте, следует вводить специальную поправку $\Delta\varphi$, учитывающую разность между меридиональной высотой и полученным из наблюдений наибольшим отсчетом.

Эта поправка может быть вычислена по формуле

$$\Delta_\varphi = \left(\frac{\Delta' - \varphi'}{21{,}7}\right)^2 (\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\delta), \qquad (85)$$

где Δ' — часовое изменение склонения, которое получают по МАЕ; имеет знак «+», если в собственном движении светило приближается к повышенному полюсу, и знак «—», если удаляется;

ψ' — часовое изменение широты, которое получают из табл. 24 МТ—75 по курсу и скорости судна; имеет знак «+», если РШ одноименно с φ, и знак «—», если разноименно,

φ_1 — широта, полученная по наибольшей высоте Солнца.

Окончательно

$$\varphi_o = \varphi_1 - \Delta\varphi. \qquad (86)$$

На практике вычисление $\Delta\varphi$ производят с помощью табл. 19 МТ—75 «Поправка широты, рассчитанной по наибольшей высоте светила». Из этой таблицы поправку $\Delta\varphi$ выбирают по разностям $(\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\delta)$ и $(\Delta' - \Psi')$. Разность $\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\delta$ для входа в табл. 19

рассчитывают по табл. 6-а МТ—75 с округлением до второго знака после запятой, принимая $\operatorname{tg}\varphi_1$ всегда положительным, а $\operatorname{tg}\delta$ положительным при φ_1 и δ одноименных и отрицательным — при φ_1 и δ разноименных. Правила получения Δ' и Ψ' указаны выше.

Пример 87. 15 августа 1981 г., Баренцево море. Имея на полдень $\varphi_c \approx$ $\approx 70°20'$ N, $\lambda_c \approx 45°15'$ E, подготовились к определению φ_o, ИК=181°, V=20 уз. В результате проведенных наблюдений и вычислений получили по наибольшей высоте Солнца $\varphi_1 = 70°19{,}7'$ N. Найти поправку $\Delta\varphi$ и исправленную обсервованную широту φ_o.

Решение. 1. Из МАЕ время кульминации:

15/VIII	$T_{к(м)}$	$12^ч04^м$
—	λ_E	3 01
15/VIII	$T_{гр}$	$9^ч03^м$
+	№$_E$	3
15/VIII	T_c	$12^ч03^м$

2. Из МАЕ по $T_{гр}$ кульминации

$$\delta_\odot = 14°02{,}1' \text{ N}; \quad \Delta' = -0{,}8'.$$

3. Из табл. 24 МТ—75 по ИК и V

$$\psi' = -20'.$$

4. Из табл. 6-а МТ—75 по φ_1 и δ

$\operatorname{tg}\varphi_1$	2,80
$\operatorname{tg}\delta$	0,25
$\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\delta$	2,55

5. Из табл. 19 МТ—75 по разностям $\Delta' - \psi' = +19{,}2'$ и $\operatorname{tg}\varphi - \operatorname{tg}\delta = 2{,}55$ находим $\Delta\varphi = 2{,}0'$.

6. Окончательно

$$\varphi_o = \varphi_1 - \Delta\varphi = 70°19{,}7' \text{ N} - 2{,}0 = 70°17{,}7' \text{ N}.$$

Исправленная широта соответствует моменту измерения наибольшей высоты

Параллель обсервованной широты иногда используется при определении места судна по Солнцу взамен высотной линии положения. При этом достигается некоторый выигрыш во времени вычислений, так как трудоемкость обработки меридиональной высоты значительно меньше, чем расчет элементов линии положения. В зависимости от времени проведения наблюдений этот прием носит название «утро — полдень» или «полдень — вечер».

Если применяется случай «утро — полдень», то первые наблюдения Солнца выполняют до полудня. По этим наблюдениям рассчитываются элементы линии положения *I—I*. В полдень измеряют меридиональную (наибольшую) высоту Солнца, по которой вычис-

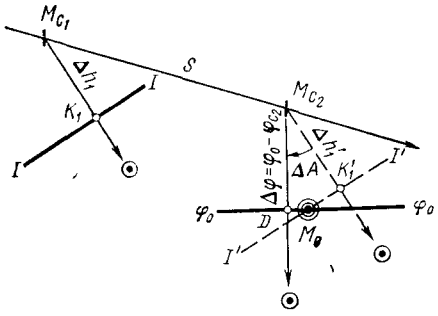


Рис. 129. Определение места приемом «утро — полдень»

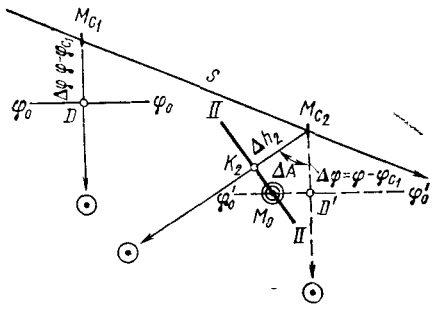


Рис. 130. Определение места приемом «полдень — вечер»

ляют обсервованную широту φ_0 судна. Полученную по утренним наблюдениям линию положения *I—I* переносят по курсу и плаванию *S* во вторую счислимую точку M_{c_2}, соответствующую судовому времени полуденных наблюдений. В пересечении перенесенной линии положения *I—I* с параллельно обсервованной широты φ_0 принимается место судна M_0 (рис. 129). На практике все построения при прокладке выполняют из второй счислимой точки M_{c_2}.

В случае применения способа «полдень — вечер» первой в полдень определяют обсервованную широту φ_0 и рассчитывают разность широт $\Delta\varphi=\varphi_0-\varphi_{c_1}$. После того как азимут Солнца изменится на нужную величину, проводят вторые наблюдения, по результатам которых вычисляют элементы линии положения *II—II*. Всю прокладку выполняют из второй счислимой точки M_{c_2}, строго увязанной с первой.

Обычно счислимые координаты на полдень не исправляют полученной обсервованной широтой и вторую счислимую точку M_{c_2} рассчитывают по координатам φ_{c_1} λ_{c_1} (рис. 130). В таком случае параллель φ_0, полученную в полдень, прокладывают к N или S от счислимой точки M_{c_2} (φ_{c_2}, λ_{c_2}) по величине разности широт $\Delta\varphi=\varphi_0-\varphi_{c_1}$. Линию положения *II—II* прокладывают, как обычно.

§ 69. Определение широты по высоте Полярной звезды

Обоснование метода. Высота повышенного полюса 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 Полярной. Склонение этой звезды составляет величину, большую 89°N, т. е. ее полярное расстояние меньше 1°. Вследствие этого в суточном движении звезда описывает параллель с небольшим сферическим радиусом $\Delta_*\approx 51'$ (рис. 131). В мо-

менты верхней и нижней кульминации (точки a и a') 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 других случаях

$$\varphi_0 = h_* \pm x, \tag{87}$$

где x — поправка к высоте Полярной звезды, представляющая собой разность между высотой звезды в какой-либо момент и высотой повышенного полюса.

Для вычисления поправки x проведем через место звезды C ее меридиан P_NC и альмукантарат bb'. Принимая полученный треугольник P_NCB по малости за плоский, можем написать

$$x = \Delta_* \cos t_м^* . \tag{88}$$

Подставив в формулу (88) значение $t_м^*$, найденное из основной формулы времени

$$t_м^* = S_м - \alpha_*,$$

получим

$$x = \Delta_* \cos (S_м - \alpha_*).$$

Координаты звезды Δ_* и α_* меняются незначительно. Поэтому заменим их величины среднегодовыми значениями Δ_0 и α_0. Тогда

$$x = \Delta_0 \cos (S_м - \alpha_0). \tag{89}$$

В полученной формуле (89) величина x является функцией только одной переменной $S_м$. По формуле вычислена табл. 1 «Широта по высоте Полярной», помещенная в МАЕ. Из этой таблицы по аргументу $S_м$ выбирают первую (основную) поправку к высоте Полярной.

При выводе формулы (89) были сделаны два допущения: треугольник P_NCB принят за плоский; вместо текущих значений Δ_* и α_* взяты их среднегодовые величины. Поэтому из табл. 2 выбирается дополнительно вторая поправка к высоте Полярной, учитывающая сферичность треугольника, из табл. 3 — третья поправка, учитывающая разность между среднегодовыми и текущими значениями Δ_* и α_*. Аргументами для входа в табл. 2 являются $S_м$ и h_*, в табл. 3 — $S_м$ и дата наблюдений. В таблицах приводятся указания о знаках поправок.

Окончательно обсервованная широта места рассчитывается по формуле

$$\varphi_0 = h_* + I_{попр} + II_{попр} + III_{попр}.$$

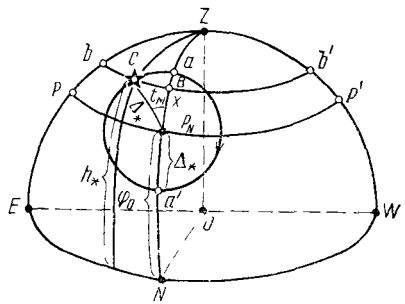


Рис. 131. Определение широты по высоте Полярной звезды

Практическое выполнение определенной широты по высоте Полярной звезды. Определение широты по высоте Полярной возможно при плавании в широтах от 5N до 75° N, однако практически звезду удобно наблюдать при высотах не более 70°. Наблюдения проводят в вечерние или утренние сумерки, когда горизонт четко обозначен. Последовательность действий при определении φ_o сводится к следующему.

Подготовка к наблюдениям. 1. Подготовить секстан к ночным наблюдениям и определить поправку индекса по звезде.

2. Если надо, то произвести сличение палубных часов с хронометром.

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 $\text{ос}_{\text{ср}}$ и $T_{\text{хр}_{\text{ср}}}$.

2. Исправить $\text{ос}_{\text{ср}}$ всеми поправками, получив h_*.

3. Рассчитать приближенное и точное $T_{\text{гр}}$. Выбрать из МАЕ $S_{\text{м}}=t_{\text{м}}$.

4. Выбрать из МАЕ I, II и III поправки по соответствующим аргументам со своими знаками.

5. Получить обсервованную широту по формуле

$$\varphi_o = h_* + I_{\text{попр}} + II_{\text{попр}} + III_{\text{попр}}.$$

Анализ точности полученной широты. Погрешность в рассчитанной широте будет равна погрешностям, допущенным при измерении высоты. Влияние случайных погрешностей наблюдений уменьшают путем измерения трех — пяти высот звезды с последующим их осреднением. Заметим, что высоты Полярной меняются очень медленно.

Для получения представления о полосе положения смещают параллель обсервованной широты в обе стороны на величину m_h, соответствующую условиям наблюдений. Кроме того, полоса может сместиться на предполагаемую величину систематической ошибки Δ_h.

Пример 88. 20 марта 1981 г., Средиземное море, $T_c=05^{\text{ч}}55^{\text{м}}$; ол = 70,5 мили. Находясь в $\varphi_c=33°50{,}0'$ N и $\lambda_c=23°30{,}0'$ E, измерили три высоты Полярной, заметив моменты по хронометру: $\text{ос}_{\text{ср}_*}=33°27{,}6'$; $i+s=-1{,}5'$; $T_{\text{хр}}=03^{\text{ч}}50^{\text{м}}40^{\text{с}}$; $u_{\text{хр}}=+3^{\text{м}}44^{\text{с}}$; $e=8$ м; $t=+9°$ C; $B=755$ мм. Определить φ_o.

Решение.

1. 20/III	T_c	$05^{\text{ч}}55^{\text{м}}$	2.	$T_{\text{хр}}$	$03^{\text{ч}}50^{\text{м}}40^{\text{с}}$
	$-\,№_E$	2		$u_{\text{хр}}$	+3 44
20/III	$T_{\text{гр}}$	$03^{\text{ч}}55^{\text{м}}$		$T_{\text{гр}}$	$03^{\text{ч}}54^{\text{м}}24^{\text{с}}$

$t_\Gamma \curlyvee$	222°33,6′
$\Delta t \curlyvee$	13 38,2
$t \curlyvee$	236°11,8′
$+\ \lambda_E$	23 30,0
$t_M \curlyvee$	259°41,8′

3.

oc_{cp}	33°27,6′
$i+s$	— 1,5
d	— 5,0
$h_{в}*$	33°21,1′
Δh_{9-a}	— 1,5
Δh_{14}	0,0
$h_{\star}$	33°19,6′
I	+ 34,1
II	+ 0,1
III	— 0,3
φ_o	33°53,5′ N
φ_c	33 50,0 N
$\Delta\varphi$	3,5′ к N

В тех случаях, когда при определении места судна в сумерки удобно наблюдать Полярную звезду в комбинации с другими звездами или планетами, полученная по ее высоте параллель обсервованной широты может заменить собой одну из линий положения. При этом достигается некоторый выигрыш во времени, так как снижается трудоемкость вычислений.

Подбор звезд или планет при определении места по двум, трем или четырем светилам, когда одно из них — Полярная звезда, производится по правилам, изложенным в § 59 и 61. Например, при определении места по высотам Полярной и еще двух светил последние должны располагаться по азимутам, близким к 120 и 240°.

По измеренной высоте Полярной делается расчет обсервованной широты φ_o, а по остальным светилам — элементов линий положения.

Высоты светил должны приводиться к зениту последних наблюдений. Если Полярная наблюдалась не последней, то для расчета ее курсового угла, необходимого для входа в табл. 16 МТ—75 при вычислении Δh_z, берется разность $Q = 360° - ИК$.

При прокладке на карте отрезок параллели обсервованной широты наносится в рассчитанной φ_o.

Если прокладку выполняют на бумаге, то делают расчет разности широт $\Delta\varphi = \varphi_o - \varphi_c$, которую откладывают к N или S от счислимого места, и через полученную точку проводят параллель.

§ 70. Особенности применения метода высотных линий положения при определении места по Солнцу в малых широтах

При наблюдениях Солнца в малых широтах в его суточном движении обнаруживаются характерные особенности. В частности, от момента восхода и почти до момента кульминации азимут Солнца изменяется очень медленно. Наоборот, около меридиана он за короткое время изменяется на значительную величину. Рис. 132, на котором изображена небесная сфера для наблюдателя в небольшой северной широте и показана параллель Солнца, наглядно поясняет это обстоятельство.

Из сравнения азимутов Солнца видно, что после восхода и около первого вертикала изменения его азимута ΔA_1 небольшие. Напротив, около кульминации изменение азимута ΔA_2 происходит с очень большой скоростью.

Неравномерность скорости изменения азимута Солнца становится тем заметнее, чем большую высоту оно имеет в полдень.

В определенные дни склонение Солнца и широта наблюдателя могут оказаться равными или близкими по величине и одноименными. В подобных случаях Солнце при своей кульминации будет проходить через зенит наблюдателя, если $\varphi = \delta_\odot$, или же будет иметь меридиональное зенитное расстояние, близкое к 0°. При этом величина последнего легко определяется из соотношения

$$Z_\odot = \varphi - \delta_\odot.$$

Например, если в $\varphi = 20°$ N склонение Солнца составит 15° N, то в полдень его меридиональное зенитное расстояние и высота соответственно будут равны:

$$Z_\odot = 20 - 15 = 5°$$

и $$H_\odot = 90° - Z_\odot = 85°.$$

При меридиональных высотах, больших 85°, значения изменения азимута Солнца за 1 мин при его движении вблизи меридина показаны в табл. 4.

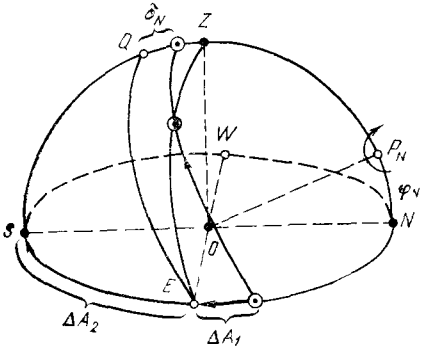


Рис 132. Характер изменения азимута при одноименных φ и δ, когда δ Солнца близко к φ

Из приведенных в табл. 4 данных следует, что скорость изменения азимута особенно велика при $H_\odot > 88°$.

Рассмотренные особенности в суточном движении Солнца необходимо учитывать при определении места по разновременным наблюдениям этого светила. В частности, при использовании в малых широтах метода высотных линий положения необходимо соблюдать следующие ограничения.

1. Не следует проводить первые наблюдения сразу или спустя некоторое время после восхода Солнца. В этом случае приходится ожидать 5—6 ч, чтобы азимут изменился хотя бы на 30—40°. Накопившиеся за это время погрешности счисления внесут в переносимую высотную линию столь большие погрешности, что полученному месту нельзя будет доверять. Первые наблюдения следует проводить около полудня, когда для изменения азимута на нужную величину потребуется промежуток времени всего лишь от 1 ч до 3—5 мин. Следовательно, определение места по Солнцу в малых широтах должно выполняться по его высотам, измеренным около кульминации. При этом наблюдения можно проводить как симметрично по отношению к моменту кульминации, что значительно выгоднее, так и по одну сторону от меридиана. В последнем случае одну из линий положения иногда заменяют параллелью обсервованной широты, полученной по меридиональной высоте Солнца. Для определения времени выхода на первые и вторые наблюдения можно применять метод расчета по таблицам ВАС—58 (см. § 63).

2. Высоты Солнца, измеряемые в сравнительной близости к моменту кульминации, как правило, оказываются большими. При $h>80°$ и больших переносах в обсервованных координатах появляются существенные погрешности от замены кривых равных высот прямыми линиями. Величины этих погрешностей возрастают с увеличением высот светил. Поэтому при высотах Солнца, превышающих 85°, если ожидаются большие переносы, использовать для получения места судна прием Сент-Илера не рекомендуется.

3. Если высоты Солнца превышают 73°, то для расчета элементов линии положения не рекомендуется пользоваться таблицами ВАС—58, так как в этом случае они требуют применения метода перемещенного места. Применение этого метода обычно ведет к увеличению переносов и, как следствие, к увеличению погрешности в обсервованных координатах. Для получения h_C в указанных условиях целесообразно использовать, например, таблицы ТВА—57.

Таблица 4

$H_\odot$	$\delta_\odot$			
	0°	10°	20°	24°
86°	3,6°	3,5°	3,4°	3,3°
87	4,8	4,7	4,5	4,4
88	7,2	7,1	6,7	6,6
88°20′	8,6	8,5	8,1	7,8
88 40	10,7	10,6	10,1	9,8
89	14,3	14,1	13,5	13,1
89 20	21,5	21,2	20,2	19,6
89 40	43,0	42,4	40,4	39,3
89 50	85,8	84,6	80,7	78,4

Особенности в суточном движении Солнца при плавании в малых широтах позволяют также использовать специальные приемы наблюдений и их обработки. Так, при меридиональных высотах Солнца от 75 до 87—88° для получения своего места можно применять способ соответствующих высот, сущность которого рассмотрена в следующем параграфе. При высотах, превышающих 88°, применяют специальный графический прием прокладки кругов равных высот непосредственно на карте (§ 72).

§ 71. Определение места по соответствующим высотам Солнца

При меридиональных высотах от 75° и больше азимут Солнца вблизи кульминации меняется настолько быстро, что это позволяет получить около полудня не только широту, но и обсервованную долготу своего места. Принцип определения координат по таким высотам показан ниже.

Определение широты. В рассматриваемом способе обсервованная широта определяется по меридиональной (наибольшей) высоте Солнца. Ее получают, как обычно, при определении φ_o данным способом, выбирая из серии высот, измеренных вблизи момента кульминации в промежутке между соответствующими высотами.

Поправку $\Delta\varphi$, учитывающую отличие наибольшей высоты от меридиональной, в малых широтах во внимание не принимают и широту получают по формуле

$$\varphi_o = Z \pm \delta.$$

Определение долготы. В момент прохождения Солнца через меридиан наблюдателя, когда его $t_м = 0°$, гринвичский часовой угол светила оказывается равным западной долготе места. Это вытекает из формулы

$$t^{\odot}_{гр} = t^{\odot}_{м} + \lambda_W,$$

откуда

$$\lambda_W = t^{\odot}_{гр} - t^{\odot}_{м}$$

и при $t^{\odot}_{м} = 0°$

$$\lambda_W = t^{\odot}_{гр}.$$

Величина $t^{\odot}_{гр}$ может быть при этом получена из МАЕ по $T_{гр}$, замеченному в момент наступления истинного полдня.

Получение долготы по рассмотренной схеме осложняется трудностью фиксирования момента прохождения Солнца через меридиан. Поэтому для определения λ_o был предложен способ, при котором для получения $T_{гр}$ наступления истинного полдня замечают моменты измерения двух, так называемых соответствующих высот.

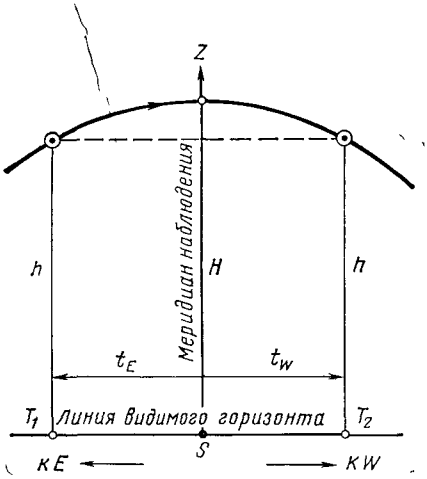


Рис. 133 Объяснение метода определения места по соответствующим высотам Солнца

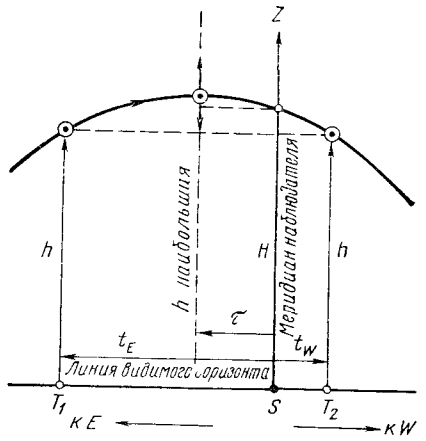


Рис. 134 Объяснение метода определения места по соответствующим высотам Солнца

Сущность способа заключается в следующем. Предположим, что судно неподвижно и склонение Солнца не меняется. В этом случае суточный путь светила оказывается симметричным по отношению к меридиану наблюдателя (рис. 133).

Измерим за некоторое время до кульминации высоту Солнца h и заметим по хронометру момент $T'_{\text{хр}}$. Когда высота Солнца после кульминации вновь станет равной h, заметим момент по хронометру $T''_{\text{хр}}$. Теперь

$$T_{\text{гр}_{\text{ср}}} = \frac{T'_{\text{хр}} + T''_{\text{хр}}}{2} + u_{\text{хр}}$$

будет соответствовать моменту истинного полдня, а выбранный из МАЕ по $T_{\text{гр ср}}$ гринвичский часовой угол Солнца $t^{\odot}_{\text{гр}}$ численно равен западной долготе наблюдателя.

На практике из-за перемещения судна и изменения склонения Солнца суточный путь светила будет симметричным не относительно меридиана наблюдателя, а относительно наибольшей высоты (рис. 134). При этом Солнце достигнет наибольшей высоты за некоторое время до или после истинного полдня (см. § 68). Если в этих реальных условиях измерить по обе стороны от меридиана две равные соответствующие высоты h, заметив моменты по хронометру, то среднее гринвичское время наблюдений $T_{\text{гр ср}}$ будет соответствовать уже не истинному полдню, а моменту наибольшей высоты Солнца.

Вследствие этого выбранный из МАЕ по $T_{\text{гр ср}}$ гринвичский часовой угол Солнца не будет равен долготе наблюдателя, так как в этот момент $t^{\odot}_{\text{м}}$ не равен нулю.

Для получения λ_o оказывается необходимым привести $t^{\odot}_{гр}$ к истинному полдню, для чего в него вводят поправку, равную местному часовому углу Солнца в момент его наибольшей высоты.

Поправка вычисляется по формуле

$$\tau' = 3{,}82\,(\operatorname{tg}\varphi - \operatorname{tg}\delta)\,(\Delta' - \psi'). \qquad (90)$$

Значения и правила вычислений входящих в формулу величин приведены в § 68.

Поправка τ' имеет знак «минус», если светило достигает наибольшей высоты до кульминации, и знак «плюс», если наибольшая высота будет после кульминации.

При получении λ_o поправка должна алгебраически вычитаться из $t_{гр}$, т. е.

$$\lambda_W = t^{\odot}_{гр} - (\pm\,\tau);$$

$$\lambda_E = 360° - \lambda_W, \quad \text{если} \quad \lambda_W > 180°. \qquad (91)$$

Особенностью данного способа определения долготы является то, что λ_o получают при значительном удалении Солнца от первого вертикала. Для уменьшения влияния на точность полученной долготы случайных погрешностей измерения соответствующих высот необходимо проводить наблюдения по крайней мере в азимутах 20—30° по обе стороны от меридиана. Что касается систематических погрешностей наблюдателей, то они исключаются, так как сами высоты в расчете не участвуют, а служат только для фиксации $T'_{хр}$ и $T''_{хр}$.

Практическое выполнение определения места по соответствующим высотам Солнца. При определении места по соответствующим высотам Солнца можно руководствоваться следующим порядком работы.

Подготовка к наблюдениям. 1. Рассчитать T_c верхней кульминации Солнца, предвычислив λ_c на полдень.

2. С помощью таблиц ВАС—58 рассчитать судовое время выхода на первые и третьи наблюдения, задавшись разностями азимутов от меридиана в 20—30° (см. § 63)

$$T_{c_1} = T_к - \Delta T; \quad T_{c_3} = T_к + \Delta T.$$

3. Подготовить секстан и хронометр к наблюдениям.

Наблюдения. 1. В рассчитанное для первых наблюдений T_c измерить $ос_{\odot}$ и заметить $T_{хр_1}$.

2. Около момента T_c кульминации Солнца измерить ряд высот для получения его наибольшей высоты $-ос_{\odot_2}$. Заметить T_c и ол.

3. Около времени T_{c_3} установить на секстане отсчет, равный $ос_{\odot_1}$, и заметить момент $T_{хр_3}$, когда дважды отраженное изображение Солнца, опускаясь, коснется горизонта.

Вычисления. 1. Рассчитать

$$T_{гр_{ср}} = \frac{T_{хр_1} + T_{хр_3}}{2} + u_{хр}. \qquad (92)$$

2. По $T_{гр_{ср}}$ получить с помощью МАЕ

$$t^{\odot}_{гр} \quad \text{и} \quad \delta_{\odot}.$$

3. Исправить отсчет наибольшей высоты Солнца $ос_{\odot_2}$ всеми поправками.

4. По полученной наибольшей высоте, как меридиональной, рассчитать

$$\varphi_0 = Z \pm \delta.$$

5. Рассчитать со своим знаком часовой угол Солнца в момент его наибольшей высоты τ.

6. Получить обсервованную долготу по формулам:

$$\lambda_W = t^{\odot}_{гр} - (\pm \tau); \quad \lambda_E = 360° - \lambda_W.$$

Вычисленные обсервованные координаты относятся к моменту, когда Солнце достигает наибольшей высоты.

Пример 89. 2 июня 1981 г., Желтое море. $\varphi_c \approx 35{,}1°$ N. Следуя ИК=128°, V=17,5 уз., решили определить место судна в полдень. Так как

$$\delta_{\odot} \approx 22{,}2° \text{ N}, \text{ то } H_{\odot} \approx 77° \ (Z = \varphi - \delta = 13°).$$

Подготовились к получению обсервации способом соответствующих высот, так как высоты Солнца большие.

1. Произвели расчет времени выхода на наблюдения, предвычислив на полдень λ_c=124°30,0′ E и задавшись разностью азимутов от меридиана ΔA=20°.

Расчет кульминации:

2/VI	$T_{к(м)}$	$11^{ч}58^{м}$
	$-\lambda_E$	8 18
2/VI	$T_{гр}$	$3^{ч}40^{м}\ldots$ $\delta_{\odot} \approx 22{,}2°$ N
	+ №$_E$	8
2/VI	T_c	$11^{ч}40^{м}$

Расчет T_c первых и третьих наблюдений. Из таблиц ВАС—58 по $\varphi \approx 35°$ и $\delta \approx 22{,}2°$ (одноименные), A=160°(180°—20°) получаем: $t^{\odot}_{м} = 5°$ или $20^{м}$;

$$T_{c_1} = 11^{ч}40^{м} - 0^{ч}20^{м} = 11^{ч}20^{м};$$

$$T_{c_3} = 11^{ч}40^{м} + 0^{ч}20^{м} = 12^{ч}00^{м}.$$

2. Наблюдения:

$$T_{c_1} = 11^{ч}20^{м}; \quad \underline{ос_{\odot}} = 75°03{,}4'; \quad T_{хр_1} = 03^{ч}21^{м}01^{с};$$

$$T_{c_2} = 11^{ч}41^{м}; \quad ол = 17{,}3 \text{ м}; \quad \varphi_c = 35°05{,}5' \text{ N}; \quad \lambda_c = 124°36{,}0' \text{ E};$$

наибольшая высота $\underline{ос_{\odot}} = 76°54{,}0'$ к S;

$$T_{c_3} = 12^{ч}00^{м}; \quad \text{при } \underline{ос_{\odot}} = 75°03{,}4' \text{ получили } T_{хр_3} = 04^{ч}01^{м}07^{с};$$

$$u_{хр} = -0^{м}06^{с}; \quad i + s = -1{,}3'; \quad e = 10 \text{ м}.$$

Определить φ_o и λ_o на момент вторых наблюдений

Решение

1.

	$T_{хр_1}$	$03^ч21^м01^с$
+	$T_{хр_3}$	04 01 07
	$\sum$	$07^ч22^м08^с$
	$T_{хр_{ср}}$	$03^ч41^м04^с$
	$u_{хр}$	— 0 06
2/VI	$T_{гр_{ср}}$	$03^ч40^м58^с$

2.

$t_т^{\odot}$	225°32,6′ (+0,9′)
$\Delta_1 t$	10 13,8
$\Delta_2 t$	0,6
$t_{гр}^{\odot}$	235°47,0′ W
δ_t	22°09,7′ N(+0,3′)
$\Delta\delta$	+ 0,2
$\delta_{\odot}$	22°09,9′ N

3. Расчет φ_o:

$oc_{\odot}$	76°54,0′ к S
$\iota + s$	— 1,3
d	— 5,6
$h_{\odot}^{в}$	76°47,1′
Δh_8	+ 15,7
Δh_{14}	0,0
$H_{\odot}$	77°02,8′ S
$Z_{\odot}$	12 57,2 N
+ $\delta_{\odot}$	22 09,9 N
φ_o	35°07,1′ N

4. Расчет τ.

$\tau' = (3{,}82\ \mathrm{tg}\ \varphi - 3{,}82 \mathrm{tg}\ \delta)\ (\Delta' - \psi')$

Из МАЕ изменение δ за 1 ч, $\Delta' = +0{,}3$

Из табл 24 а МТ—75 по ИК и V изменение φ за 1 ч, $\psi' = -10{,}8'$.

Из табл 6 а МТ—75 по φ_o и δ

$\mathrm{tg}\ \varphi$	0,70
— $\mathrm{tg}\ \delta$	0,41
$\mathrm{tg}\ \varphi - \mathrm{tg}\ \delta$	+0,29

$\tau' = 3{,}82 \times 0{,}29\ (+0{,}3' + 10{,}8') = +12{,}3'$

5 Расчет λ_o

$\lambda_o = t_{гр}^{\odot} - \tau' = 235°47{,}0' - 12{,}3' = 235°34{,}7'$ W, $\lambda_o = 124°25{,}3'$ E.

§ 72. Определение места при высотах Солнца, больших 88°

При плавании в тропиках, когда широта места и склонение Солнца одноименны, а их разность составляет величину, меньшую 2°, полуденная высота Солнца превысит 88°. В этом случае изменение азимута Солнца вблизи меридиана будет происходить очень быстро. Поэтому для получения необходимой разности азимутов в 40—60° потребуется всего 3—6 мин, что обеспечивает краткосрочность наблюдений при определении места по Солнцу. Кроме того, для нанесения места на карту в тропиках можно применять особый графический прием, сокращающий объем вычислений. Этот прием заключается в непосредственном нанесении кругов равных высот на карту в соответствии с рассмотренным в § 54 принципом определения места судна на земном глобусе.

Для нанесения изолиний определяют координаты полюсов освещения. Они принимаются равными экваториальным координатам наблюдавшихся светил, полученным из МАЕ на $T_{гр}$ наблюдений:

$$\varphi_a = \delta_\odot; \quad \lambda_a = t^\odot_{гр}.$$

Полюса наносят на карту. Так как в малых широтах искажения меркаторской проекции весьма незначительны, то изображением кругов равных высот на карте здесь могут служить окружности. При высотах Солнца, больших 88°, радиусы этих окружностей не превысят 2° (120′), следовательно, построения не выйдут за рамки карты. Участки кругов равных высот наносят в районе счислимого места из полюсов освещения радиусами $z = 90° - h$. В точке их пересечения принимают обсервованное место судна.

Если в рассмотренных условиях провести два или три краткосрочных наблюдения Солнца около полудня, то, приведя наблюдения к одному зениту и применив графический прием прокладки кругов равных высот, получим в их пересечении обсервованное место судна. На практике обычно производят три измерения высоты Солнца: до полудня, около полудня и после полудня. Все наблюдения при этом принято проводить к зениту вторых наблюдений.

Для определения времени выхода на наблюдения, а также установления приблизительных азимутов и высот Солнца при каждом из наблюдений можно воспользоваться приемом предварительной прокладки.

Рассчитав момент кульминации Солнца, выбрать по $T_{1р}$ кульминации $\delta_\odot$. На карту нанести параллель $\varphi_a = \delta_\odot$ и предвычисленное на $T_с$ кульминации счислимое место судна $M_с$ (рис. 135). В пересечении параллели φ_a со счислимым меридианом $\lambda_с$ принять положение полюса освещения Солнца на момент кульминации. Отложив вправо и влево по параллели отрезки $\Delta\lambda = 15' = 1^м$, получить несколько полюсов освещения, соответствующих 1, 2, 3 .. мин до и после кульминации. Соединив полученные точки со счисли-

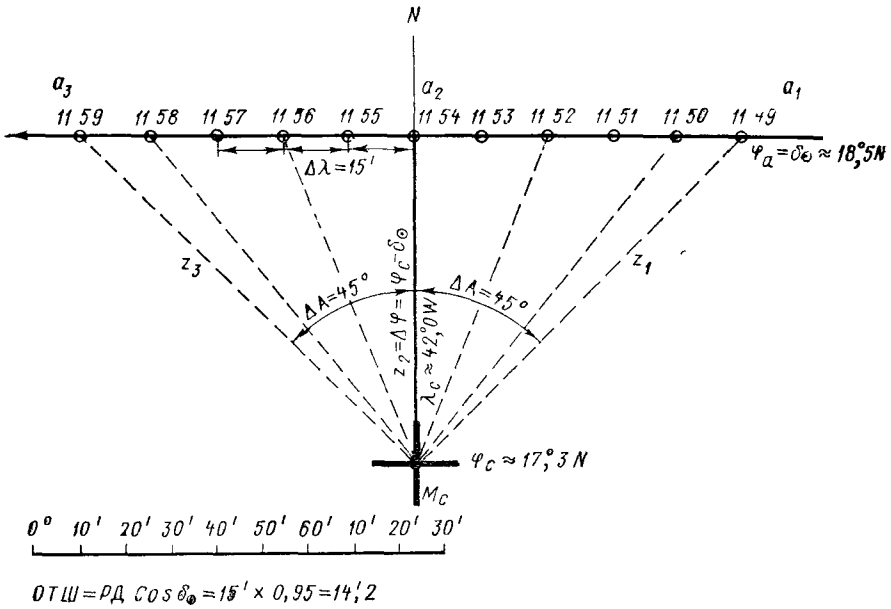


Рис 135 Расчет времени наблюдений при определении места, когда $H_\odot > 88°$

мым местом M_c, выбрать желаемые ΔA (40—60°) между полуденным наблюдением и двумя другими. При этом записать T_c намеченных наблюдений, снять приблизительные азимуты A и зенитные расстояния z, которые перевести в h. При практическом выполнении способа можно руководствоваться следующим порядком работы

Подготовка к наблюдениям. 1. Сравнением φ_c и $\delta_\odot$ на полдень убедиться, что меридиональная высота Солнца превышает 88°. Рассчитать T_c кульминации.

2. Рассмотренным выше приемом получить моменты судового времени и приблизительные A и h Солнца для каждого из наблюдений.

3. Подготовить к наблюдениям секстан и хронометр, определив их поправки.

Наблюдения. 1. В рассчитанные моменты судового времени измерить по намеченным азимутам три высоты Солнца и заметить моменты по хронометру. При вторых наблюдениях заметить ол и точку горизонта N и S, над которой измерялась высота.

Изменяя высоты, близкие к 90°, необходимо ориентировать секстан по компасу, располагая его каждый раз в вертикале Солнца по полученному для данного наблюдения азимуту. Секстан удерживают в плоскости вертикала на глаз; покачивания секстана при этом не делают.

Вычисления 1 Исправить измеренные высоты всеми поправками и рассчитать зенитные расстояния.

2. Рассчитать приближенное и точное гринвичское время каждого из моментов наблюдений.

3. Из МАЕ по $T_{гр}$ каждого из наблюдений выбрать практические гринвичские часовые углы $t^{\odot}_{гр}$ и $\delta_{\odot}$ (последнее — для момента вторых наблюдений).

Выбранное $\delta_{\odot}$ принять за общую широту полюсов освещения, а $t'^{\odot}_{гр}$ — за их долготы.

4. Рассчитать плавание судна за время между первым и вторым ΔS_{1-2} и вторым и третьим ΔS_{2-3} наблюдениями. При этом можно пользоваться приложением II к МТ—75.

Прокладка. 1. Провести на карте параллель $\varphi_a = \delta_a$, на которой нанесены полюсы освещения a_1, a_2 и a_3 по их долготам.

2. Полюсы первый a_1 и третий a_3 привести к зениту вторых наблюдений. Для этого точку a_1 перенести вперед по курсу судна на величину плавания ΔS_{1-2}, точку a_3 сдвинуть по курсу назад на расстояние ΔS_{2-3}.

3. С помощью циркуля или длинной полоски плотной бумаги из полюсов освещения, как из центров, нанести в районе счислимого места дуги кругов равных высот, снимая их радиусы z_1, z_2 и z_3 с боковой рамки карты.

Обсервованное место судна принять в точке пересечения трех дуг или в центре появившегося треугольника погрешностей.

Если масштаб карты мал (в 1 миле менее 3 мм), то прокладку выполняют в нужном масштабе на большом листе бумаги. Обычно для этого используется обратная сторона какой-либо карты или миллиметровка. На бумаге наносят параллель $\varphi_a = \delta_{\odot}$ и меридиан второго полюса освещения $\lambda_{a_2} = t^{\odot}_{гр_2}$ (рис. 136). Полюсы освещения a_1 и a_3 наносят по их отшествиям от полюса a_2.

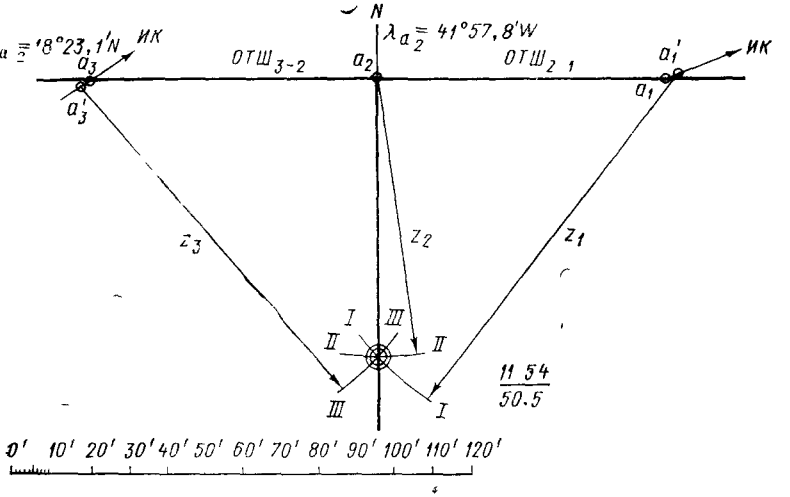


Рис 136 Пример на определение места, когда $H\odot > 88°$

Для получения отшествий по разности второго и первого ΔT_{2-1} третьего и второго ΔT_{3-2} моментов наблюдений определяют разности долгот полюсов, которые умножают затем на $\cos\delta_\odot$:

$$\text{ОТШ}_{2-1}=\text{РД}_{2-1}\cos\delta_\odot;\quad \text{ОТШ}_{3-2}=\text{РД}_{3-2}\cos\delta_\odot.$$

Приведя полюсы освещения a_1 и a_3 к зениту вторых наблюдений, наносят дуги кругов равных высот к N, если Солнце кульминировало на S, или к S — при кульминации Солнца на N — от параллели φ_a.

Координаты обсервованного места вычисляют по его РШ и РД от второго полюса освещения. Разность долгот получают по ОТШ с помощью табл. 25 МТ—75:

$$\varphi_0=\varphi_{a_2}\pm\text{РШ};\quad \lambda_0=\lambda_{a_2}\pm\text{РД},$$

где

$$\varphi_{a_2}=\delta_\odot;\quad \lambda_{a_2}=t^\odot_{\text{гр}_2}.$$

Пример 90. 30 июля 1981 г, Атлантический океан, ГКК=70°; ΔГК=0°; V=20 уз Предвычислили на полдень $\varphi c\approx 17{,}3°$ N, $\lambda_c=42{,}0°$ W; $\delta_\odot=18{,}5°$ N.

Меридиональная высота Солнца около 88,8° к N ($Z=17{,}3°-18{,}5°=-1{,}2°$). Решили определить место по трем высотам

1. Расчет времени выхода на наблюдения, приблизительных азимутов и высот Солнца

30/VII	$T_{к(м)}$	$12^ч06^м$
	+ λ_W	2 48
30/VII	$T_{гр}$	$14^ч54^м\ldots\ \delta_\odot=18{,}4°$ N
	− №$_W$	3
30/VII	T_c	$11^ч54^м$

Получив T_c кульминации Солнца, построили на карте рассмотренным выше приемом (см. рис. 134) параллель $\varphi_a=\delta_a$, нанесли счислимое место M_c и ряд полюсов освещения Приняли разность азимутов между наблюдениями в 45° Из построений получили, что A изменяется на 45° приблизительно за 5 мин

Следовательно,

$$T_{c_1}=11^ч49^м;\quad A_1\approx 45°;\quad Z\approx 1°{,}42';\quad h_1\approx 88°18';$$

$$T_{c_2}=11^ч54^м;\quad A_2\approx 0°;\quad Z_2\approx 1°12';\quad H_2=88°48';$$

$$T_{c_3}=11^ч59^м;\quad A_3\approx 315°;\quad Z_3\approx 1°42';\quad h_3=88°18';$$

2. Наблюдения:

$$T_{c_1}=11^ч49^м;\quad \text{ос}_\odot=88°04{,}0'\text{ к N};\quad T_{\text{хр}_1}=02^ч48^м42^с;$$

$$T_{c_2}=11^ч54^м;\quad \text{ос}_\odot=88°39{,}1'\text{ к N};\quad T_{\text{хр}_2}=02^ч53^м03^с;$$

$$\text{ол}=50{,}5;\quad \varphi_c=17°19{,}3'\text{ N};\quad \lambda_c=42°02{,}8'\text{ W};$$

$$T_{c_3}=11^ч59^м;\quad \text{ос}_\odot=88°08{,}4'\text{ к N};\quad T_{\text{хр}_3}=02^ч58^м13^с;$$

$$i+s=-2{,}1';\quad u_{\text{хр}}=+01^м10^с;\quad e=12\text{ м}.$$

3 Вычисления (с учетом, что прокладка будет выполнена на бумаге). Из табл. 11 и 8 МТ—75 $\Delta h_{общ} = +9{,}8'$.

$i + s = -2{,}1'$

$\Delta h = +7{,}7'$

ос$_{\odot}$	88°04,0′ к N	88°39,1′ к N	88°08,4′ к N
Δh	+ 7,7	+ 7,7	+ 7,7
$h_{\odot}$	88°11,7′	88°46,8′	88°16,1′
$z_{\odot}$	1 48,3	1 13,2	1 43,9
$z_{\odot}$	108,3′	73,2′	103,9′

30/VII T_{c_2}	11^{ч}54^{м}	$T_{хр_2}$	02^{ч}53^{м}03^{с}
+ №$_W$	3	$u_{хр}$	+ 1 10
30/VII $T_{гр_2}$	14^{ч}54^{м}	$T_{гр_2}$	14^{ч}54^{м}13^{с}

$\delta_t^{\odot}$	18°26,8′N (— 0,6′)	$t_t^{\odot}$	28°24,8′ (+ 1,0′)
$\Delta\delta$	— 0,5	$\Delta_1 t$	13 32,3
		$\Delta_2 t$	0,9
$\varphi_a = \delta_{\odot}$	18°26,3′ N	$t_{гр_2}^{\odot}$	41°58,0′ W
		λ_{a_2}	41°58,0′ W

$T_{хр_2}$	02^{ч}53^{м}03^{с}	$T_{хр_3}$	02^{ч}58^{м}13^{с}
$T_{хр_1}$	02 48 42	$T_{хр_2}$	02 53 03
T_{2-1}	4^{м}21^{с}	T_{3-2}	5^{м}10
РД$_{2-1}$	65,2′	РД$_{3-2}$	77,5
ОТШ$_{2-1}$	РД·cos δ = 61,9′ к E	ОТШ$_{3-2}$	РД·cos δ = 73,6′ к W
S_{1-2}	$\frac{20}{60} \times 4{,}4^{м} \approx 1{,}5'$	S_{2-3}	$\frac{20}{60} \times 5{,}2^{м} = 1{,}7'$

В результате прокладки (см рис 136) получили небольшой треугольник погрешностей Место приняли в центре треугольника С прокладки (от второго полюса освещения до обсервованного места)

РШ = 72,0′ к S; ОТШ = 0,1′ к W; РД = 0,1′ к W

φ_{a_2}	18°26,3′ N	λ_{a_2}	41°58,0′ W
РШ	1 12,0 к S	РД	0,1 к W
φ_o	17°24,3′ N	λ_o	41°58,1′ W

Перспективы развития астрономических методов определения места судна

Применяемые в настоящее время астрономические методы определения места судна позволяют получать обсервованные координаты с точностью, достаточной для целей судовождения. Мореходная астрономия не утрачивает своей роли и с появлением современных радиотехнических средств. Это объясняется автономностью и скрытностью астрономических методов определения места, простотой и надежностью используемых инструментов, а также тем, что точность астрономических определений не зависит от расстояния до берега. Во многих районах астрономические методы получения обсервации продолжают оставаться основными, а задача определения поправок судовых компасов в открытом море в настоящее время вообще решается только методами астрономии. В дальнейшем значение мореходной астрономии не уменьшится. Однако для этого необходимы поиски новых путей в ее развитии.

Автоматизация астрономических вычислений. Радиосекстан. Современное состояние науки и техники позволило определить некоторые пути, ведущие к преодолению основных недостатков астрономических методов определения места судна. К этим недостаткам относят значительные затраты времени на вычисления при получении обсервации, а также невозможность определения места судна при плохих метеорологических условиях, препятствующих визуальным наблюдениям светил или горизонта.

На судах морского флота все более широкое распространение получают отечественные и зарубежные небольшие электронные клавишные вычислительные машины настольного и карманного типов (ЭКВМ). Внедрение ЭКВМ в практику судовождения обеспечивает экономию времени при астрономических вычислениях и уменьшает вероятность промахов.

На крупнотоннажных судах в последние годы устанавливаются также специальные навигационные комплексы отечественного и зарубежного производства. Навигационные комплексы состоят из датчиков информации (курса и скорости судна, данные от РЛС, спутниковых систем, высот светил и т. д.), электронно-вычислительной машины и устройства для вывода результатов решения задачи на индикатор. ЭВМ имеют определенные или сменные программы для решения ряда навигационных задач, в том числе и астрономических.

В последние годы была разработана радиоастрономическая аппаратура, применение которой позволяет проводить наблюдения Солнца и Луны при любой погоде. К таким системам относится радиосекстан, устройство которого основано на достижениях в области радиоастрономии и электронно-вычислительной техники.

Принципиальная возможность использования радиосекстана, опытные образцы которого прошли испытания еще в начале 50-х годов, появилась с открытием в 1932 г. явления радиоизлучения, источником которого являются космические объекты. К середине 40-х годов получила широкое развитие радиоастрономия, задачей которой является исследование радиоизлучения Солнца, Луны, планет и других внеземных источников, таких, как туманности, удаленные от нас галактики и т. д.

Для определения координат судна в море в настоящее время практически используется радиоизлучение только сильных космических источников, что позволяет устанавливать на судах сравнительно простую радиоаппаратуру. Следует также учитывать, что к земной поверхности из космоса беспрепятственно могут проходить электромагнитные волны лишь в диапазоне от 3 см до 10 м. Более короткие миллиметровые волны значительно поглощаются в тропосфере, а электромагнитные волны с длиной волны свыше 10 м отражаются от ионосферы. Сравнительно мощное излучение в диапазоне миллиметровых и сантиметровых волн имеют Солнце и Луна, которые по этой причине и являются наиболее подходящими объектами для целей судовождения. Для того чтобы габариты приемных антенн судовых радиоастрономических приборов были небольшими, их в большинстве случаев конструируют для работы на частотах 0,8—2 см. В этом диапазоне электромагнитные волны проходят сквозь атмосферу и толщу облаков с относительно небольшими потерями.

Радиосекстан представляет собой радиоастрономическую систему, состоящую из параболической антенны, приемного устройства, следящей системы, панели с аппаратурой, вычислительной машины и стабилизированной платформы. Он предназначается для измерения углов (высот и азимутов), под которыми с судна наблюдаются небесные светила, и определения координат судна. Ось вращения диаграммы направленности антенны радиосекстана совмещается с направлением на космический источник излучения и в дальнейшем автоматически его сопровождает. Принимаемый радиосигнал поступает с антенны в приемное устройство, где усиливается и преобразуется. Этот сигнал осуществляет управление двигателями следящей системы, назначение которой заключается в обеспечении работы радиосекстана в режиме слежения за космическим источником излучения.

Двигатели следящей системы изменяют азимут и угол высоты оси вращения диаграммы направленности антенны до тех пор, пока направление оси не совпадает с направлением на источник радиоизлучения. Положение антенны по высоте и азимуту одновременно передается на их указатель. С помощью полученных h и A Солнца или Луны могут быть рассчитаны координаты судна.

Практически радиосекстан работает в сочетании с электронной вычислительной машиной, в которую автоматически вводятся цифровые данные наблюдений h и A, элементы счисления судна, а также моменты времени. Эти данные преобразуются в цифровой код машины. В соответствии с заданной ей программой вычислительная машина выполняет нужные математические действия и выдает готовые результаты. На получение обсервованных координат судна уходит несколько секунд.

На точность работы радиосекстана большое влияние оказывает качка судна. Поэтому антенное устройство располагают на гиростабилизированной платформе, что значительно повышает точность определения координат.

На показания радиосекстана кроме ошибок стабилизации влияют также атмосферная радиация и радиорефракция. Их влияние уменьшают путем введения соответствующих поправок. По данным иностранной печати, средняя квадратичная погрешность в высоте, определяемой с помощью радиосекстана, составила ± 2—$3'$. В соответствии с этим точность определения места судна составляет величину около 2—3 миль.

Радиосекстаны пока еще не получили распространение на флоте вследствие сложности устройства, больших габаритов и высокой стоимости.

Список рекомендуемой литературы

1. Гаврюк М. И. Использование малых вычислительных машин при решении задач судовождения. М.: Транспорт, 1980. 237 с.

2. Дьяконов В. Ф. Мореходная астрономия. Л.: Морской транспорт, 1963. 587 с.

3. Кондрашихин В. Т. Определение места судна. М.: Транспорт, 1981. 206 с.

4. Кондрашихин В Т., Раховецкий А. Н. Астрономические определения места судна и поправки компаса. М.: Транспорт, 1971. 111 с.

5. Красавцев Б. И. Инструменты и методы мореходной астрономии. М.: Транспорт, 1972. 88 с

6. Красавцев Б. И. Мореходная астрономия. М.: Транспорт, 1978 304 с.

7. Мореходные приборы и инструменты/Под общ. ред. А. И. Щетининой. М.: Транспорт, 1970. 208 с.

8. Сборник задач по мореходной астрономии/Под ред. Л. Ф. Черниева. М.: Транспорт, 1977. 288 с.