Библиотека журнала
„КАТЕРА
и ЯХТЫ"

Б. Г. МОРДВИНОВ
В. Т. КОНДРАШИХИН
Р. А. СКУБКО

Средства навигации малых судов

СПРАВОЧНИК

Ленинград
«Судостроение»
1986

Рекомендовано редколлегией журнала «Катера и яхты»

Рецензент канд. техн. наук **Ю. С. Дубинко**

Научный редактор докт. воен. наук, проф. **Р. А. Скубко**

Мордвинов Б. Г., Кондрашихин В. Т., Скубко Р. А.

М79 Средства навигации малых судов. Л., Судостроение, 1986, 168 с, ил.— (Б-ка журнала «Катера и яхты»).

ИСБН

Рассмотрены принципы действия и устройства основных средств навигации малых судов, их применение с использованием программируемых электронных микрокалькуляторов. Даны основные понятия навигации, необходимые для уяснения принципов работы средств, предназначенных для измерения времени, направлений и расстояний на море.

Особое внимание уделено повышению безопасности плавания малых судов путем применения оптимальных методов обработки поступающей к судоводителю навигационной информации с помощью программируемых микрокалькуляторов типа «Электроника» БЗ-34. Изложены вопросы комплексного решения задач навигации на малых судах на основе внедрения микроЭВМ в сочетании со спутниковой навигационной системой.

Предназначена для судоводителей малых судов морского, промыслового и спортивного флотов и всех лиц, интересующихся современным мореплаванием.

39.471—5

троение», 1986 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Одним из главных требований, предъявляемых к судовождению, является обеспечение его безопасности. От выполнения этого требования в значительной мере зависит эффективность работы транспортного и промыслового флотов, охрана жизни на море, охрана природной среды от загрязнения, возникающего при авариях судов. Большую роль в обеспечении безопасности мореплавания играют навигационные средства, которые позволяют выбирать оптимальные методы вождения судов, определять местонахождение, направление, скорость и другие параметры их движения.

Судовождение может рассматриваться как эргатическая система, образованная совокупностью имеющихся на борту судна технических средств навигации, непрерывно изменяющихся условий внешней среды и деятельности судоводителя. Наименее надежным звеном в этой системе является последнее. Судоводитель несет ответственность за полноту обобщения получаемой от технических и иных средств навигационной информации, за правильные и своевременные выводы о целесообразности и безопасности дальнейшего движения судна по намеченному пути.

Полная и своевременная обработка навигационной информации является проблемой на малых судах. Ее решение может быть в значительной степени облегчено внедрением электронных клавишных вычислительных машин (микрокалькуляторов), как специализированных навигационных, так и универсальных. В настоящее время появились универсальные и специализированные вычислительные машины, сравнительно дешевые и малогабаритные, применение которых на малых судах вполне целесообразно. Это отечественные специализированные электронные клавишные вычислительные машины (ЭКВМ) типа «Контакт-Н» (их модификации «Клейстер-Н», «Спика»); универсальный программируемый электронный микрокалькулятор (ПЭМК) типа «Электроника» БЗ-34 (его модификации МК-52, МК-61 и др.). Из зарубежных ЭКВМ используется навигационный микрокалькулятор «Тамайя» NC-77 и универсальная ЭКВМ «Хьюлет-Паккард» HP-97.

Использование электронных микрокалькуляторов, особенно программируемых, например типа «Электроника» БЗ-34, МК-56, МК-54, МК-52 позволяет автоматизировать обработку навигационной информации и тем самым избежать возможности неполного или неверного ее анализа, который мог бы привести к опасной ситуации. Это особенно важно на малых судах, где функции управления не дублируются несколькими судоводителями.

Эффективность использования технических средств навигации на малых судах может быть существенно повышена за счет применения более строгих в научном отношении, но сложных мате-

матических методов решения навигационных задач, что также возможно только при использовании вычислительной техники.

Вместе с тем внедрение таких методов и вычислительной техники предъявляет к судоводителю новые требования. Традиционное личное искусство судоводителя в ведении навигационной прокладки на карте является ныне недостаточным. Современная навигационная техника требует от него знания теоретических основ судовождения на уровне, обеспечивающем понимание существа заложенных в алгоритмы методов, что позволит ему сохранить за собой творческое начало в постановке и решении задач судовождения на ЭВМ, принимать оптимальные решения на основе машинной обработки навигационной информации.

Внедрение ЭКВМ освобождает судоводителя от вычислительного труда и позволяет ему сосредоточить усилия на управлении судном. Если при традиционных табличных и графических методах решения задач навигации судоводитель затрачивал на обработку навигационной информации от 40 до 70 % времени несения вахты, то при использовании ЭКВМ он получит результаты в считанные минуты, к тому же более надежные и точные.

Новые возможности для повышения эффективности и надежности судовождения на малых судах появились с созданием миниатюрных ЭВМ, нашедших применение прежде всего в судовой спутниковой навигационной аппаратуре. На базе спутниковых навигационных систем созданы навигационные комплексы, позволяющие в высокой степени автоматизировать судовождение.

При написании книги авторы ставили целью показать методологические связи между принципами работы современных технических средств навигации, понимание которых особенно важно при использовании ЭКВМ; дать основы применения малой вычислительной техники в навигации, обращая внимание на практическую сторону дела; показать ближайшие перспективы применения спутниковых навигационных комплексов на малых судах. Изложение материала предусматривает его самостоятельное изучение и не требует профессиональной штурманской подготовки. В приложениях I и II книги приведены правила пользования микрокалькуляторами типа «Электроника» БЗ-34 и МК-54, а также даны Астронавигационные таблицы, позволяющие решать астронавигационные задачи на малых судах до 2000 г. Б. Г. Мордвиновым написаны гл. 1 (кроме § 4 и 5), 3, 4 (кроме § 13) и 7; В. Т. Кондрашихиным написаны § 4, 5, 13 и гл. 5; Р. А. Скубко написаны гл. 2 и 6, предисловие и приложения. В составлении программ для ПЭМК участвовали И. И. Домашний и Г. Е. Гладков.

Определять свое расположение на местности, координировать движение во времени и в пространстве — объективная необходимость для человека вообще, а для мореплавателя в особенности. Развитие наук, как отметил один из великих основоположников научного коммунизма Ф. Энгельс, началось с астрономии именно в силу практических потребностей в измерении времени, в определении места на земной поверхности и направления движения.

Исходными для ориентирования были выбраны устойчивые природные направления: направление оси вращения Земли P_nP_s и направление силы тяготения G в данном месте M на земной поверхности. Обладая большой массой ($6 \cdot 10^{27}$ г), Земля быстро и в высокой степени равномерно вращается около оси P_nP_s в направлении с запада на восток (против движения часовой стрелки, если смотреть со стороны P_n) и является массивным «гироскопом». Направление ее оси почти постоянно; сейчас оно близко к направлению на звезду α Малой Медведицы, именуемую Полярной (рис. 1). Угловая скорость вращения Земли равна $\omega_{\oplus} = 15°/ч = 15'/мин$; линейная скорость точки на ее экваторе составляет 900 уз (465 м/с). Направление силы тяготения также вполне определенно, и отвес всегда укажет положение отвесной линии Z_MMO' в данном месте M.

Землю для целей навига-

РАЗДЕЛ I

УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ, ВРЕМЕНИ И ПРОЙДЕННОГО РАССТОЯНИЯ

Глава 1

АППАРАТУРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЙ

§ 1. Принципы измерения направления на море

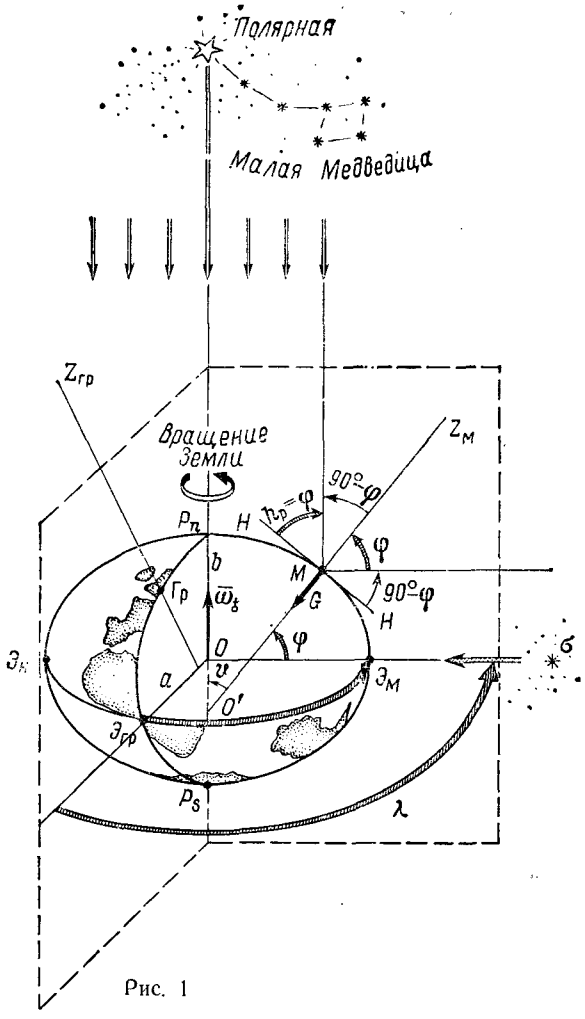


Рис. 1

ции принимают совпадающей с эллипсоидом вращения — фигурой, образуемой вращением эллипса с полуосями a и b около его малой оси P_nP_s. В СССР принят референцэллипсоид Ф. Н. Красновского, имеющий размеры $a = 6378{,}2$ км и $b = 6356{,}9$ км. При решении ряда задач прибрежной навигации Землю приближенно принимают совпадающей с шаром радиусом $R_♁ = 6366{,}7$ км при этом условии длина одной дуговой минуты на поверхности шара равна стандартной морской миле: $1' = 1$ миля $= 1852$ м. Для шара, равного по объему эллипсоиду, $R_♁ = 6371{,}1$ км.

Основной начальной плоскостью для измерения направлений на Земле является плоскость, проходящая через *ось вращения Земли* и *отвесную линию* в данном месте. В пересечении этой плоскости с поверхностью эллипсоида образуется меридианный эллипс $Э_мP_nЭ_нP_s$. Различают полуденную часть меридианного эллипса $P_nЭ_мP_s$ (ее освещает Солнце в момент полудня) и полуночную часть $P_nЭ_нP_s$. Полуденную часть $P_nMЭ_мP_s$ называют *меридианом места M* (от лат. meridies — полдень). На рис. 1 показан также *гринвичский меридиан* $P_nЭ_{гр}P_s$, плоскость которого проходит через Гринвичскую обсерваторию *Гр*. В 1884 г. на основании международного соглашения этот меридиан был принят в качестве начального для определения положения меридианов других мест.

Географической долготой λ называется двугранный угол между плоскостью гринвичского $P_nЭ_{гр}P_s$ и плоскостью местного $P_nЭ_мP_s$ меридианов. Географическая долгота измеряется по экватору — окружности, образованной при пересечении эллипсоида плоскостью $Э_мЭ_{гр}Э_н$, проходящей через центр Земли и перпендикулярной оси ее вращения. Счет долгот ведут от точки $Э_{гр}$ в полукруговой системе — от 0 до 180° к востоку (положительная долгота) или к западу (отрицательная долгота). В некоторых задачах навигации удобнее вести круговой счет долготы — от 0 до 360° в сторону запада. Для наблюдателя, стоящего лицом к Полярной звезде, восток расположен справа, а запад слева.

Долгота равна углу поворота Земли вокруг оси P_nP_s за интервал времени от момента прохождения какой-либо звездой σ плоскости местного меридиана T_1 до момента прохождения ею плоскости гринвичского меридиана T_2: $\lambda = \omega_♁(T_2 - T_1)$.

Географической широтой φ, определяющей положение данного места на меридиане, называется дополнение до 90° угла θ между направлением оси P_nP_s и направлением отвесной линии $Z_мMO'$. Иначе говоря, географическая широта — угол между плоскостью экватора и направлением нормали к поверхности земного эллипсоида. Широта отсчитывается от плоскости экватора в пределах 0—90° к северу (положительная) или к югу (отрицательная).

Плоскость HH, проведенная в месте наблюдений M перпендикулярно отвесной линии $Z_мM$, называется *плоскостью истинного горизонта*. Угол между плоскостью истинного горизонта и направлением оси вращения Земли называется высотой полюса над горизонтом, которая всегда равна географической широте: $h_P = \varphi$. При плавании в Северном полушарии Земли широта места φ может быть определена путем измерения высоты Полярной звезды над горизонтом.

Естественным путем направление меридиана в данном месте M может быть определено по Полярной звезде или по Солнцу

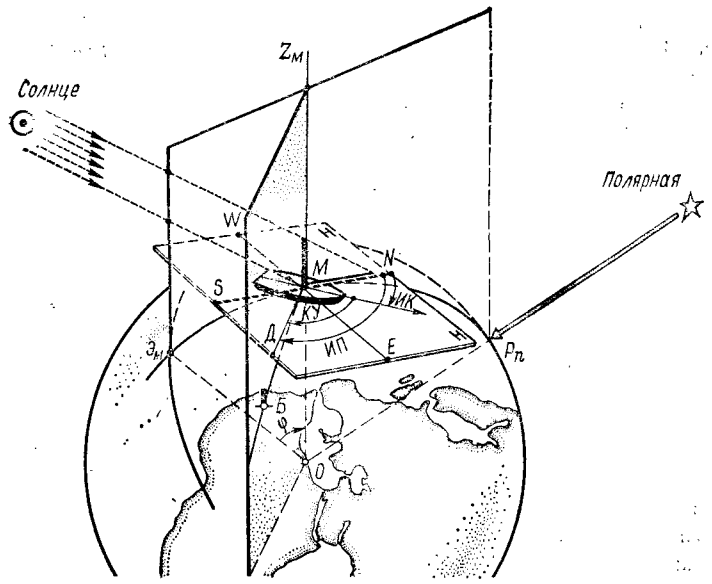


Рис. 2

в тот момент, когда оно наблюдается на наибольшей высоте над горизонтом (момент кульминации, полдень). Полярная смещена примерно на 1° от направления оси вращения Земли в сторону звезды Сегин (ε Кассиопеи). Если Сегин и Полярная наблюдаются в одной вертикальной плоскости, то это направление точно соответствует плоскости меридиана места $P_nMЭ_мP_s$; сказанное справедливо и в том случае, когда в одной вертикальной плоскости наблюдаются звезды Полярная и Бенетнаш (η Большой Медведицы).

Если, пользуясь отвесом, в месте наблюдений *M* установить вертикальный шест, то в полдень тень от него будет кратчайшей длины и расположится в плоскости горизонта по линии *NS*, которую называют *линией истинного меридиана* (истинным меридианом) или *полуденной линией*. Направление полуденной линии определяет положение на горизонте точек севера *N* и юга *S*; точки востока *E* и запада *W* расположены соответственно справа и слева от точки *N* на перпендикуляре к линии *NS*, как это показано на рис. 2.

Направлением с корабля или судна *M* на какой-либо наблюдаемый объект *Б* называется линия *МБ*, образуемая в пересечении вертикальной плоскости *МБО* с земной поверхностью. Пересечение проходящей через наблюдаемый объект вертикальной плоскости и плоскости горизонта образует *линию пеленга МД*.

Положение линии пеленга относительно начального направления — истинного меридиана места *M* — определяет истинный пеленг (ИП), или тождественный ему круговой азимут $A_{кр}$.

Истинным пеленгом называется горизонтальный угол между северным направлением меридиана и направлением на ориентир (или другой объект), измеряемый от точки севера *N* в сторону точки востока *E* в пределах от 0 до 360°. Направление с ориентира *Б* на судно *M* определяет *обратный истинный пеленг* (*ОИП*); если расстояние *БМ* невелико и поверхность Земли можно принять совпадающей с плоскостью горизонта, то *ИП* и *ОИП* отличаются на 180°.

Искусственным путем направление меридиана в данном месте *M* определяют с помощью магнитного или гироскопического компаса.

Направление движения судна также определяют относительно направления истинного меридиана места. *Истинным курсом* (*ИК*) судна называется угол между северным направлением меридиана и носовой частью диаметральной плоскости судна, измеряемый от точки севера *N* в сторону точки востока *E* в пределах от 0 до 360°.

Судно всегда имеет курс, независимо от того, движется оно или нет. Курс и пеленг являются углами; их нельзя отождествлять с линиями курса или соответственно пеленга.

Направление на ориентир может быть измерено относительно направления диаметральной плоскости судна. *Курсовым углом* (*КУ* или *q*) называется горизонтальный угол между носовой частью диаметральной плоскости судна и направлением из точки наблюдения на объект. Курсовой угол измеряется чаще в полукруговом счете: от 0 до 180° в сторону правого (пр/б) или левого (л/б) бортов; при работе с техническими средствами навигации применяется круговой счет *КУ* — от 0 до 360° в сторону правого борта.

Связь между *ИП*, *ИК* и *КУ* выражается формулой

$$ИП = ИК + КУ, \qquad (1)$$

позволяющей найти любую из трех величин по двум заданным. Если вычисления дают значения более 360°, то 360° отбрасывают; если вычисления дают отрицательное значение, то к нему прибавляют 360°.

Курсовой угол, равный 90°, называют *траверзом*; иногда траверзные величины обозначают символом ⊥. Например,

$$ИП_{\perp} = ИК \pm 90^\circ \frac{пр/б}{л/б}. \qquad (2)$$

§ 2. Магнитное поле Земли и его элементы

В любом месте Земли M свободно подвешенная магнитная стрелка устанавливается вполне определенно (рис. 3, *а*) — ее магнитная ось совпадает с направлением силовых линий земного магнитного поля. Вектор напряженности магнитного поля Земли $\bar{T}$ направлен по касательной к силовой линии в сторону северного магнитного полюса P_{N_m}, имеющего координаты $\varphi \approx 72°N$ и $\lambda \approx 96°W$

Плоскость, проходящая через нить подвеса и магнитную ось стрелки $n - s$, называется плоскостью магнитного меридиана (при условии, что на стрелку не действуют искусственные магнитные поля от ферромагнитных материалов и электрических токов). Угол I в вертикальной плоскости между осью магнитной стрелки и плоскостью горизонта называется *магнитным наклонением*; в точке магнитного полюса $I = 90°$. Вектор напряженности поля $\bar{T}$ можно разложить на две составляющие — горизонтальную и вертикальную:

$$H = T \cos I; \; Z = T \sin I. \qquad (3)$$

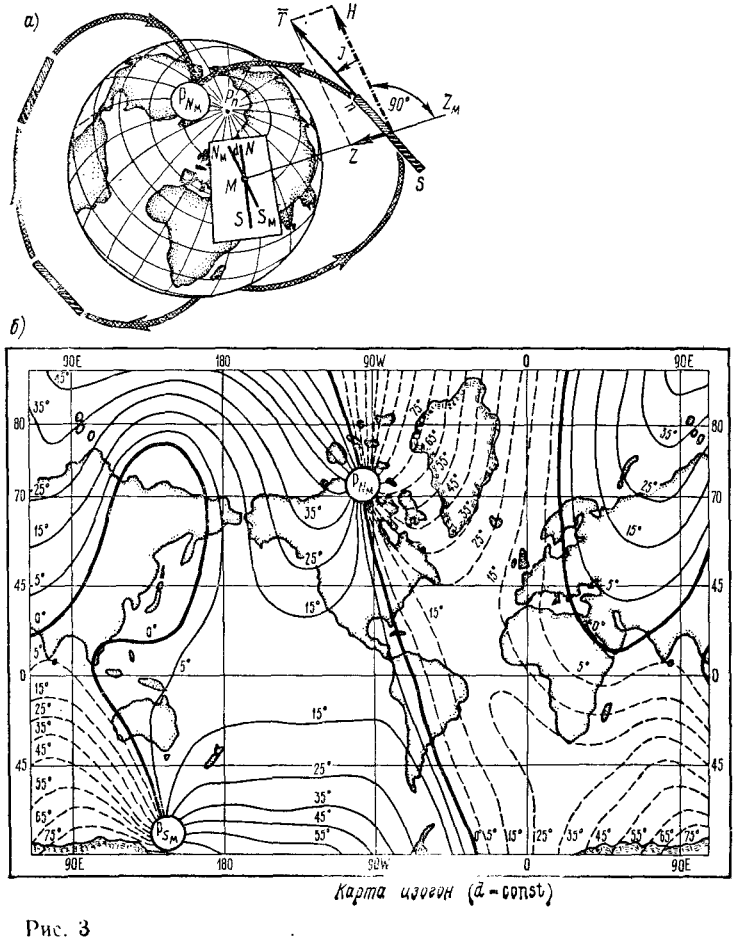


Рис. 3

Для магнитного компаса направляющей силой является горизонтальная составляющая H, поэтому в малых географических широтах, где проходит магнитный экватор ($I = 0$), он работает лучше, чем в высоких широтах. Вблизи магнитных полюсов магнитный компас использовать нельзя.

Плоскость магнитного меридиана в пересечении с плоскостью горизонта образует *магнитный меридиан* $N_м - S_м$. Магнитный меридиан в большинстве мест не совпадает с географическим меридианом $N - S$. Угол между северными направлениями истинного и магнитного меридианов называется *магнитным склонением* d; оно изменяется в пределах от 0 до 180° к востоку (положительное) или к западу (отрицательное). Схема расположения изогон — линий равных значений склонения — показана на рис. 3, *б* (восточное склонение показано сплошными линиями, западное — штриховыми, жирной линией выделена агона, где $d = 0$). Как видно из рисунка, в большинстве районов склонение достигает десятков градусов.

Магнитное склонение имеет вековой ход (до 0,2° за год) и подвержено незначительным суточным и годовым вариациям. Существенные возмущения магнитного поля Земли — магнитные бури — вызываются проявлениями солнечной активности; в период магнитных бурь, длящихся от нескольких часов до нескольких суток, магнитные компасы работают ненадежно.

Сведения о магнитном склонении даются на навигационных картах. в заголовке карты указывается эпоха, к которой приведено магнитное склонение, и годовое изменение склонения. Для приведения склонения к году фактического плавания следует к указанному в районе плавания склонению алгебраически придать величину произведения годового изменения на интервал времени между годом плавания и эпохой. Например, если в районе плавания для 1977 г. указано «Маг. скл. 1,5°W», а в заголовке карты сказано «Годовое уменьшение 0,02°», то в середине 1985 г. надо учитывать $d = 1{,}5° - 0{,}02 \times 8 = 1{,}3°W$.

Необходимо обращать внимание на *магнитные аномалии* в районе плавания, обусловленные залеганием магнитных пород, положение которых обозначается на картах жирными черными штриховыми линиями. В районе аномалий магнитное склонение быстро и значительно изменяется по мере перемещения судна;

пределы изменения указываются на карте. В районе аномалий показания магнитных компасов нуждаются в частой проверке.

§ 3. Магнитные компасы

Магнитный компас — навигационный прибор, предназначенный для измерения курса, пеленга и курсового угла, действие которого основано на использовании горизонтальной составляющей магнитного поля Земли. Трудно назвать другой навигационный прибор, составивший эпоху в развитии мореплавания и не потерявший своего значения для навигации на протяжении нескольких веков. Установка магнитного компаса на любом судне обязательна. Как правило, на верхнем мостике в диаметральной плоскости при условии кругового обзора устанавливают главный магнитный компас, перед рулевым в рубке — путевой компас.

Основной частью магнитного компаса является картушка — его чувствительный элемент, размещаемый в котелке (рис. 4). Картушка *1* представляет собой диск с градусными делениями от 0 до 360° по ходу часовой стрелки, к нижней части которого прикреплена система из нескольких магнитных стрелок, оси которых параллельны линии 0—180° (или $N - S$). Картушка и стрелки *5* монтируются на поплавке *2*, который опирается топкой *6* на шпильку *7* закрепленную в корпусе котелка *4*. Котелок заполняется морозоустойчивой компасной жидкостью; он имеет две камеры, дном нижней камеры является диафрагма *11* с пробкой *10*. Такая конструкция обеспечивает компенсацию изменения объема жидкости при колебаниях температуры, а также позволяет произвести замену шпильки при необходимости.

У концов диаметра котелка, располагаемого при установке компаса параллельно диаметральной плоскости судна, имеются курсовые нити *3*, по которым ведется отсчет курса судна. Линию $N - S$ картушки называют *главной осью компаса*. Если компас установлен на судне, изготовленном из немагнитных материалов, или на берегу и возмущающие искусственные магнитные поля отсутствуют, то главная ось компаса расположится по магнитному меридиану $N_м - S_м$ и можно измерить магнитный курс (*МК*) судна, а зная магнитное склонение d, найти истинный курс:

$$ИК = МК \pm d_W^E \qquad (4)$$

Для измерения пеленгов служит пеленгатор *12* с глазной *14* и предметной *13* мишенями. Котелок в кардановом подвесе устанавливается в нактоузе *8*, который крепится к палубе. Установленный на котелке пеленгатор наводят предметной мишенью на наблюдаемый ориентир и через размещенную у глазной мишени призму получают отсчет пеленга. При соблюдении условий, принятых выше для формулы (4), получится магнитный пеленг (*МП*)

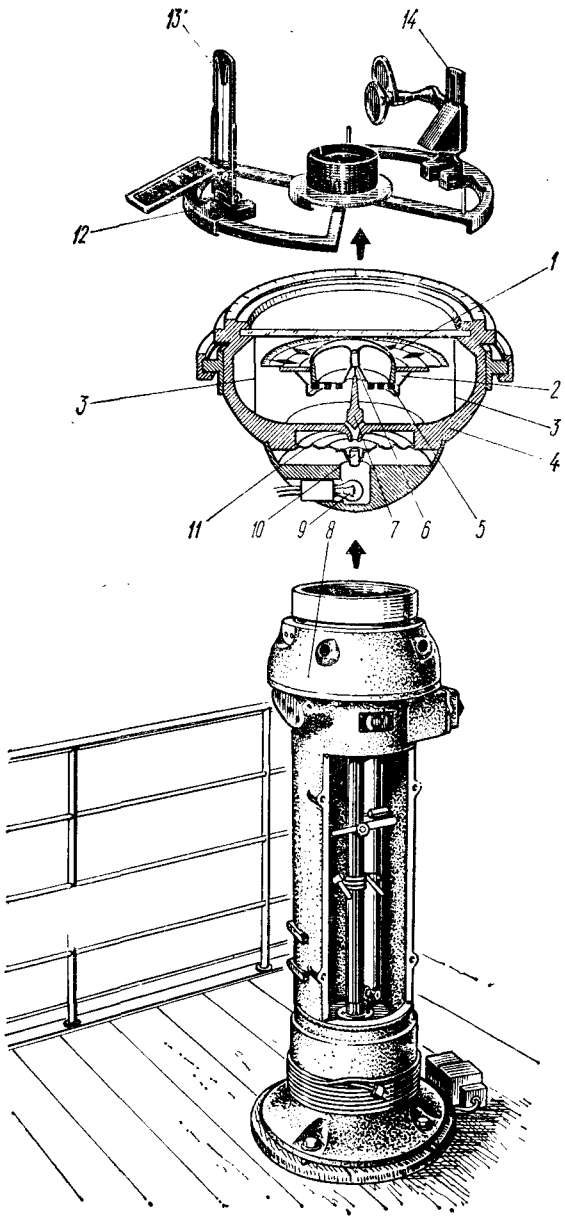


Рис. 4

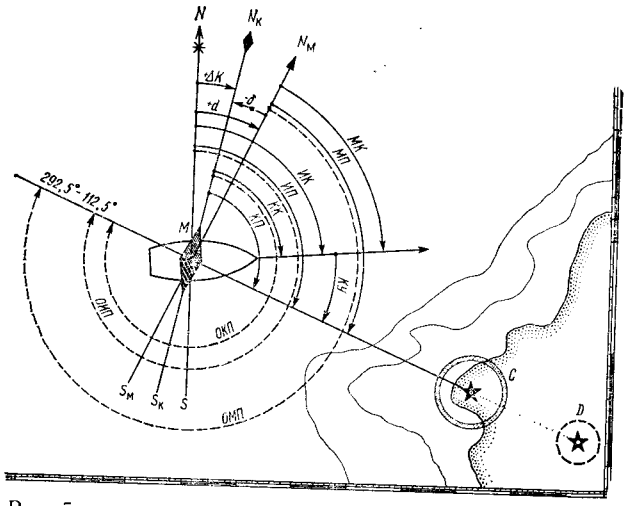


Рис. 5

и можно найти истинный пеленг ориентира:

$$ИП = МП \pm d_W^E. \qquad (5)$$

В некоторых конструкциях магнитных компасов при отсчете под призмой пеленгатора получается обратный магнитный пеленг: $ОМП = МП + 180°$ (рис. 5), и тогда, после учета склонения, получится обратный истинный пеленг.

При работе в ночное время картушка подсвечивается лампочкой *9*, укрепленной в чаше, закрывающей котелок снизу. В нактоузе устанавливается девиационный прибор, служащий для компенсации влияния судового железа на показания компаса (см. § 4).

Курсовые углы измеряют с помощью пеленгатора и отсчитывают по шкале азимутального кольца, неподвижно закрепленного на крышке котелка и ориентированного меткой 0° в сторону носа судна по диаметральной плоскости. Если измерен *КУ* и одновременно замечен магнитный курс *МК*, то можно найти $МП = МК + КУ$ (при полукруговом счете *КУ* — с учетом его знака в зависимости от борта судна).

Современные суда в большинстве случаев строят из железа и стали, которые намагничиваются в поле Земли и создают собственное судовое магнитное поле, изменяющееся при перемене района плавания и изменении курса судна, при изменении характера его груза и механических воздействиях на судно (например, при качке). Дополнительно магнитные поля возникают при работе электрооборудования судна. Под влиянием собственного магнитного поля судна главная ось магнитного компаса отклоняется от магнитного меридиана $N_м — S_м$ и располагается в плоскости компасного меридиана $N_к — S_к$ — вертикальной плоскости, проходящей через главную ось магнитного компаса. В пересечении плоскости компасного меридиана и плоскости горизонта образуется линия $N_к — S_к$, именуемая компасным меридианом (см. рис. 5). От компасного меридиана отсчитывают компасный курс *КК* (по носовой курсовой нити котелка) и компасный пеленг *КП* с помощью пеленгатора [в некоторых моделях компасов — обратный КП (ОКП)].

Угол между северными направлениями магнитного и компасного меридианов называется *девиацией* магнитного компаса δ. Девиация (от лат. deviatio — отклонение) измеряется в пределах от 0 до 180° к востоку от $N_м$ (положительная) или к западу (отрицательная). Работы по компенсации влияния собственного магнитного поля судна на показания компаса называются уничтожением девиации (см. § 4). По окончании уничтожения девиации определяют ее остаточную величину и составляют таблицу или график девиации, которыми пользуются в плавании.

На каждом компасном курсе девиация различна и для получения истинных направлений для каждого курса необходимо рассчитывать поправку компаса. *Поправкой компаса* ΔK называется угол между северными направлениями истинного и компасного меридианов, измеряемый от истинного *N* к востоку (положительная поправка) или к западу (отрицательная поправка). Для магнитного компаса поправка находится как алгебраическая сумма магнитного склонения и девиации:

$$\Delta MK = d + \delta. \qquad (6)$$

Применительно к рис. 5 можно записать, например,

$$\Delta MK = +26° - 12{,}5° = +13{,}5°.$$

Для перехода от компасных направлений к истинным служат формулы:

$$ИК = КК \pm \Delta MK_W^E;\ ИП = КП \pm \Delta MK_W^E. \qquad (7)$$

Отечественная промышленность выпускает несколько моделей судовых, катерных и шлюпочных магнитных компасов с картушками диаметром 127, 100, 75, 69, 48 мм. Среди них различают компасы: с непосредственным отсчетом *КК* по картушке (простые) и дистанционные стрелочные магнитные — с электрической системой передачи показаний. Имеются также компасы с оптической передачей показаний и фотоэлектрической следящей системой.

В качестве главного компаса (см. рис. 4) устанавливают магнитный компас марки УКП-М1М с высотой нактоуза 142 см и общей массой 68,5 кг. Как путевой используют компас марки УКП-М3М высотой 126 см и массой 64 кг или компас на настольной плите марки УКП-М10 массой 12 кг.

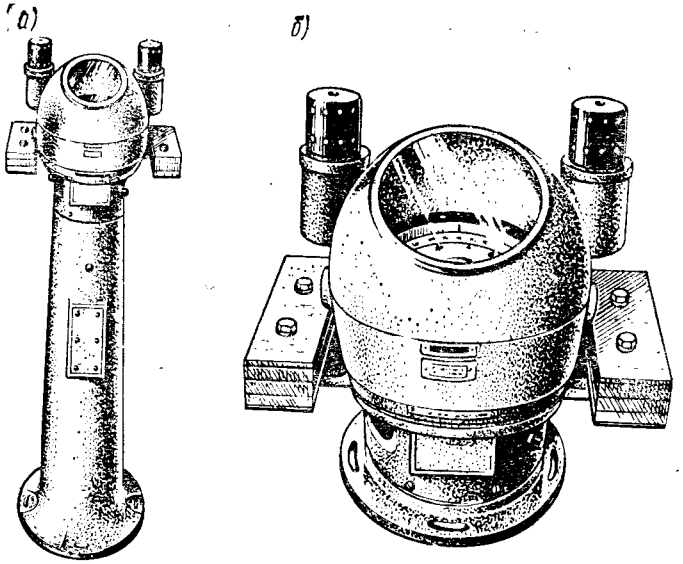


Рис. 6

Магнитные компасы типа КМ-100. Компасы этого типа представляют собой сравнительно новую разработку отечественной промышленности и выпускаются в трех модификациях: для малых судов морского, промыслового и речного флотов. Диаметр картушки компаса 100 мм; котелки этих компасов заполняются кремнийорганической жидкостью.

Компас марки КМ-100-1 (рис. 6, *а*), выпускаемый на высоком нактоузе, устанавливают в качестве главного или путевого. Его магнитный чувствительный элемент с картушкой, оцифрованной через 10°, находится в опорном устройстве, подобном описанному выше. В нактоузе компаса размещены девиационный прибор для компенсации полукруговой и четвертной девиации и набор пластин, компенсирующих девиацию от мягкого железа. Компас имеет съемный защитный колпак и оборудован электрическим освещением от судовой сети и масляными фонарями.

Компас марки КМ-100-2 (рис. 6, *б*) отличается от вышеописанной модификации лишь меньшим нактоузом.

Компас КМ-100-3 выпускается без нактоуза, девиационного прибора и электрического освещения. Он имеет масляное освещение и используется в качестве шлюпочного компаса.

Магнитный компас типа КТ-75. Диаметр его картушки 75 мм. Выпускаются две модификации этого компаса: шлюпочный КТ-М1м и катерный КТ-М2м (рис. 7, *а*) Картушки компасов имеют две магнитные стрелки. Котелок заполнен спиртовой компасной жидкостью. Диск разбит на деления через 2°, оцифрованные через 10°.

Компас КТ-М2м снабжен силуминовым нактоузом с девиационным прибором, комплектом продольных и поперечных магнитов-уничтожителей, креновым магнитом и бруском мягкого железа. Компас имеет электрическое и масляное освещение, снабжен упрощенным пеленгатором.

Компас КТ-М1м не имеет нактоуза, девиационного прибора и электрического освещения.

Магнитные компасы типа КМ-69 разработаны для катеров, шлюпок и спортивных судов; диаметр их картушки 69 мм. Котелок компасов КМ-69 заполнен кремнийорганической жидкостью, в которой на типовом опорном устройстве помещена картушка с магнитным чувствительным элементом. Диск картушки разбит на деления, оцифрованные через 20°.

В комплект компаса марки КМ-69-1 (рис. 7, *б*) входят котелок, компенсатор полукруговой и креновой девиации, осветительный прибор с блоком автономного питания и защитный кожух. Компас КМ-69-2 не имеет автономного блока питания; здесь для этого используется бортовая сеть. Компас КМ-69-3 представляет собой облегченную конструкцию без компенсатора девиации и осветительного устройства.

Установка магнитного компаса на судне и уход за ним. От удачного выбора места и правильной установки компаса во многом зависят магнитные условия его работы и удобство эксплуатации. При установке компаса необходимо руководствоваться следующими специальными правилами:

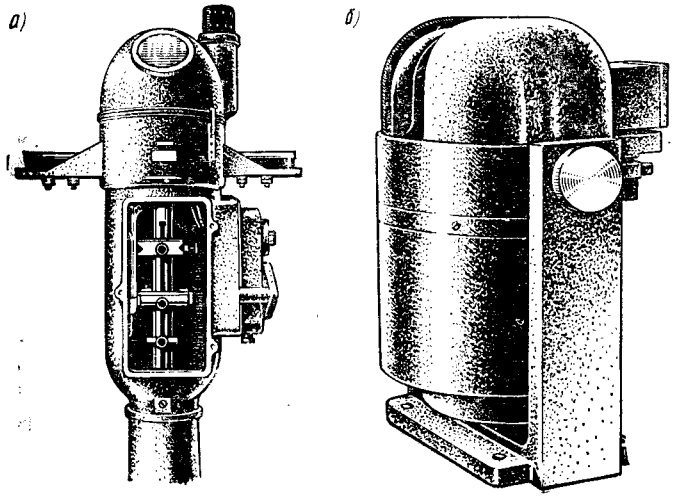


Рис. 7

главные компасы обязательно, а прочие по возможности следует устанавливать в диаметральной плоскости (ДП) судна, при невозможности — устанавливать параллельно ДП;

вблизи компасов не должно быть конструкций и устройств, создающих магнитные поля;

нактоузы необходимо устанавливать дверцами в корму;

главный компас не должен иметь мертвых углов обзора;

компас следует устанавливать так, чтобы его продольная плоскость, определяемая линией 0—180° азимутального круга или вертикальной плоскостью, проходящей через носовую и кормовую курсовые линии, совпадала с ДП судна;

доступ к компасу должен быть легким и удобным.

При использовании магнитных компасов не допускается смещение компенсационных магнитов и брусков мягкого железа. Следует также исключить возможность размещения вблизи компасов железных деталей, в том числе стальных предметов в карманах рулевых. Азимутальный круг и пеленгатор компаса необходимо периодически протирать и смазывать вазелином.

При появлении воздушного пузырька в верхней камере котелка компаса его вынимают из пружинного подвеса, переворачивают вверх дном и плавно покачивают, добиваясь перехода пузырька в дополнительную камеру. Если при этом воздушный пузырек удалить не удается, то в котелок доливают компасную жидкость.

При обнаружении застоя картушки производят замену шпильки. Для этого вынимают из подвеса и ставят вверх дном котелок, снимают чашу с грузом и вывинчивают пробку диафрагмы. Затем специальной отверткой вращением против часовой стрелки вывинчивают шпильку из втулки котелка. Если после замены шпильки застой котелка сохранится, то котелок сдают в ремонт.

По окончании навигации котелки компасов вынимают на зимнее хранение и контрольную проверку, а при необходимости сдают для ремонта в базовые электронавигационные камеры пароходств.

§ 4. Определение и уничтожение девиации

Все части судна и находящихся на нем предметов, которые могут намагничиваться, называют судовым железом, подразделяя его по магнитным свойствам на твердое (жесткое) и мягкое. Твердое железо (сталь, сплавы железа с кобальтом и др.), будучи намагниченным, надолго сохраняет свой магнетизм почти неизменным и проявляет себя как постоянный магнит. Мягкое железо (технически чистое железо и некоторые его сплавы) обладает индуктивным (наводимым) магнетизмом, полярность и величина которого зависят от внешней магнитной силы (магнитной силой моряки называют вектор напряженности магнитного поля). Если брусок мягкого железа поворачивать относительно внешней магнитной силы, то его намагниченность практически сразу же изменится.

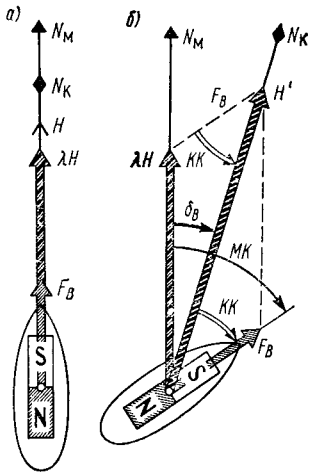


Рис. 8

Для выяснения зависимости девиации от курса судна удобно представлять твердое и мягкое судовое железо в виде продольных, поперечных и вертикальных брусков. Хотя деление судового железа на твердое и мягкое в виде воображаемых брусков весьма условно, такое представление приводит к правильным выводам, если совместное действие всех брусков на компас такое же, как магнитного поля реального судна.

Все бруски твердого железа намагничиваются магнитным полем Земли еще при постройке судна, а затем действуют на компас как постоянные магниты. Северные полюсы продольного и поперечного брусков могут быть в носу или в корме, у правого или у левого борта судна, в зависимости от его курса на стапеле. В Северном полушарии вертикальная составляющая магнитного поля Земли Z направлена вниз и северный полюс вертикального бруска располагается у днища судна. Все судовое железо уменьшает горизонтальную составляющую магнитного поля Земли H, и на компас действует направляющая сила λH ($\lambda \approx 0{,}9$).

Рассмотрим действие на компас продольного бруска твердого железа, северный полюс которого N расположен в корме судна (рис. 8, *а*). Создаваемая этим бруском магнитная сила F_B направлена от его северного полюса к южному, как показала бы северным концом магнитная стрелка. На магнитном курсе N ($MK = 0$) сила F_B направлена вдоль магнитного меридиана $N_м$, направление которого определяется силами H и λH. Поэтому сила F_B на этом курсе девиации не вызывает и компасный меридиан $N_к$ совпадает с магнитным $N_м$.

На произвольном магнитном курсе MK сила F_B, направленная вдоль диаметральной плоскости судна, составляет с магнитным меридианом угол МК (рис. 8, *б*). Складываясь векторно по правилу параллелограмма силы λH и F_B образуют равнодействующую силу H', вдоль которой устанавливается компас и направлен компасный меридиан $N_к$. Как видим, на этом курсе сила F_B вызывает девиацию δ_B, определяемую как угол между

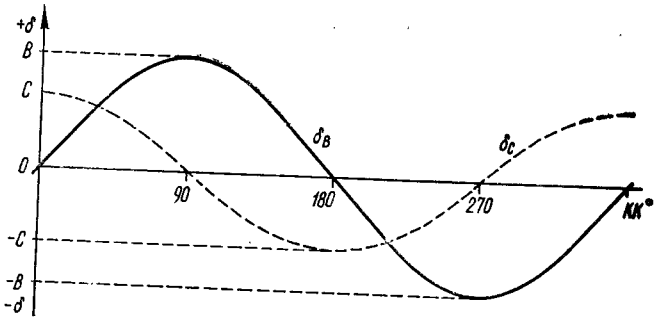


Рис. 9

магнитным и компасным меридианами или как разность магнитного и компасного курсов: $\delta = MK - KK$. Из треугольника, образованного векторами λH и H', по теореме синусов имеем

$$\sin \delta_B / \sin KK = F_B / \lambda H$$

С погрешностью менее 0,1° при $|\delta_B| < 13°$ заменяем $\sin \delta_B$ на δ_B в радианах, переходим к градусам и вводим обозначение $B = F_B\, 57{,}3°/\lambda H$, после чего предыдущая формула принимает вид

$$\delta_B = B \sin KK. \qquad (8)$$

где B — коэффициент девиации (в градусах), равный наибольшему значению $|\delta_B|$, достигаемому на компасных курсах $KK = 90°$ и $KK = 270°$.

Таким образом, девиация δ_B от продольного бруска твердого железа изменяется в зависимости от компасного курса KK по синусоиде, график которой представлен на рис. 9. Такая девиация сохраняет знак (наименование) на полуокружности курсов, и поэтому ее называют *полукруговой девиацией*.

Поперечный брусок твердого железа с северным полюсом у левого борта действует на компас магнитной силой F_C и на магнитном курсе E ($MK = 90°$) девиации не вызывает (рис. 10, *а*). На произвольном курсе MK сила F_C, направленная поперек диаметральной плоскости судна, создает девиацию δ_C, как показано на рис. 10, *б*, где все другие обозначения прежние. Рассуждая так же, как при выводе формулы (8), и используя обозначение $C = F_C\, 57{,}3°/\lambda H$, получаем

$$\delta_C = C \cos KK. \qquad (9)$$

Следовательно, девиация δ_C от поперечного бруска твердого железа тоже полукруговая, но с иным коэффициентом (C вместо B) и со сдвигом по фазе курсов на 90° (при таком изменении аргумента синусоида переходит в косинусоиду). График зависимости δ_C от KK по формуле (9) показан на рис. 9 штриховой линией.

Вертикальный брусок мягкого железа намагничивается вертикальной составляющей магнитного поля Земли Z независимо от курса и действует на компас так же, как вертикальный брусок твердого железа — они несколько изменяют силы F_B и F_C, следовательно, и коэффициенты B и C, но характер девиации δ_B и δ_C остается полукруговым.

Теперь рассмотрим девиацию от продольного и поперечного брусков мягкого железа. Каждый из них намагничивается пропорционально проекции на него горизонтальной составляющей магнитного поля Земли H, и поэтому создаваемые такими брусками магнитные силы зависят от курса судна. Так, для продольного бруска $F_1 = -F_1' \cos MK$, а для поперечного $F_2 = F_2' \sin MK$, где положительными приняты направления сил в нос и к правому борту, а F_1' и F_2' — наибольшие значения этих сил. В соответствии с этим на магнитном курсе N ($MK = 0$) продольный брусок намагничивается максимально, но создаваемая им сила F_1' направлена вдоль магнитного меридиана $N_м$ и девиации не вызывает (рис. 11, *а*). Поперечный брусок мягкого железа на этом курсе практически не намагничивается и тоже не вызывает девиации. Аналогично этому на магнитном курсе E ($MK = 90°$) поперечный брусок намагничивается максимально, но создаваемая им сила F_2' направлена вдоль меридиана, а продольный брусок не намагничивается, и поэтому оба бруска мягкого железа на этом курсе девиации не вызывают (рис. 11, *б*).

На произвольном магнитном курсе MK продольный брусок мягкого железа создает силу F_1, которая, складываясь векторно

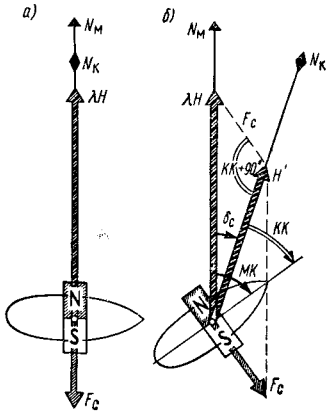


Рис. 10

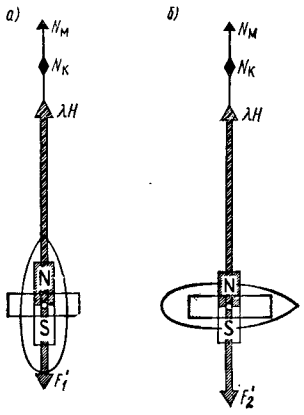


Рис. 11

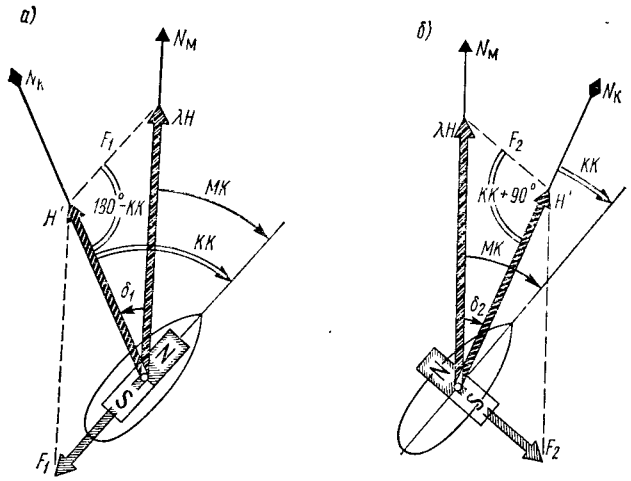


Рис 12

с направляющей силой λH, образует равнодействующую H', которая определяет направление компасного меридиана $N_к$ (рис. 12, *а*). Из треугольника, образованного векторами H' и λH, по теореме синусов, как и при выводе формулы (8), находим

$$\delta_1 = -D_1 \sin KK \cos MK.$$

где $D_1 = F_1' 57{,}3°/\lambda H$.

Повторяя эти рассуждения для поперечного бруска, в соответствии с рис. 12, *б* получаем

$$\delta_2 = D_2 \cos KK \sin MK,$$

где $D_2 = F_2' 57{,}3°/\lambda H$. Так как $MK = KK + \delta$ (δ — малая величина), с пренебрежимой погрешностью принимаем в этих формулах $MK \approx KK$, после чего они могут быть записаны так:

$$\delta_1 = -D_1 \sin KK \cos KK = -\frac{D_1}{2} \sin 2KK;$$

$$\delta_2 = D_2 \cos KK \sin KK = \frac{D_2}{2} \sin 2KK.$$

Суммарная девиация от продольного и поперечного брусков мягкого железа определяется как алгебраическая сумма двух последних выражений:

$$\delta_D = D \sin 2KK, \qquad (10)$$

где коэффициент $D = \frac{1}{2}(D_2 - D_1)$.

График зависимости δ_D от KK по формуле (10) показан на рис. 13. Как видим, девиация δ_D от мягкого судового железа

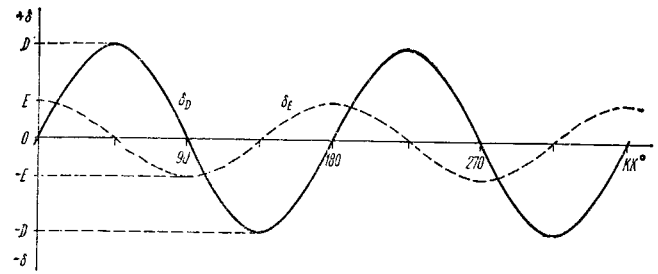


Рис. 13

сохраняет знак (наименование) на четверти окружности курсов и называется *четвертной девиацией*.

В предыдущих рассуждениях предполагалось, что продольный и поперечный бруски мягкого железа ориентированы соответственно строго вдоль и поперек диаметральной плоскости судна. В действительности имеются небольшие нарушения магнитной симметрии мягкого судового железа. Представить это можно так, как будто продольный брусок мягкого железа отклонен от диаметральной плоскости судна на малый угол ε_1, а поперечный — от направления траверза на малый угол ε_2 (рис. 14). В таком случае вместо сил F_1 и F_2, как это делалось ранее, надо рассматривать суммы их проекций на диаметральную плоскость и перпендикулярную ей:

$$F_1' = F_1 \cos \varepsilon_1;\ F_2' = F_1 \sin \varepsilon_1;$$

$$F_1'' = F_2 \sin \varepsilon_2;\ F_2'' = F_2'' \cos \varepsilon_2.$$

Однако в силу малости углов ε_1 и ε_2 (на рис. 14 они для наглядности увеличены) их косинусы можно заменить единицей, а синусы — значениями углов в радианах. С учетом этого $F_1' = F_1$ и $F_2'' = F_2$, но действие этих сил (F_1 и F_2) уже учтено девиацией δ_D при выводе формулы (10). Остается, следовательно, выяснить дополнительную девиацию от сил $F_2' = F_1\varepsilon_1$ и $F_2'' = F_2\varepsilon_2$. Видим, что эти силы малы (из-за малости ε_1 и ε_2), пропорциональны силам F_1 и F_2, но повернуты относительно них на 90°. Поэтому все рассуждения, послужившие для вывода формулы (10), сохраняются, но с заменой коэффициента D меньшим по величине E и с изменением аргумента синуса на 90°: $\sin(2KK + 90°) = \cos 2KK$. С учетом этого девиация δ_E от несимметрии продольного и поперечного брусков мягкого железа выражается формулой

$$\delta_E = E \cos 2KK. \qquad (11)$$

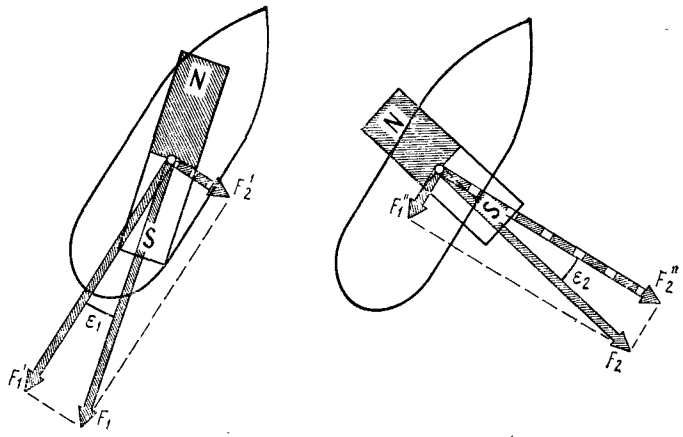


Рис. 14

Возникающая по этой причине девиация δ_E также четвертная, ее изменение в зависимости от компасного курса KK показано пунктиром на рис. 13.

Все бруски твердого и мягкого судового железа действуют на компас одновременно, создаваемые ими магнитные силы и девиации складываются. Поэтому девиация компаса δ от всего судового железа определяется как алгебраическая сумма ее составляющих по формулам (8)—(11) с добавлением возможной постоянной величины A, что дает основную формулу девиации

$$\delta = A + B \sin K + C \cos K + D \sin 2K + E \cos 2K, \qquad (12)$$

где K — компасный курс.

Эта формула служит для теоретического обоснования способов уничтожения девиации и практических расчетов по составлению рабочей таблицы девиации.

Все изложенное относится к случаю прямого положения судна, когда сила от вертикальных брусков твердого и мягкого железа $F_в$ вертикальна и девиации не вызывает (рис. 15, *а*). При крене на угол θ появляется горизонтальная проекция этой силы $F_в' = F_в \sin\theta$ (рис. 15, *б*), которая создает креновую девиацию $\delta_к$, максимальную на курсах N и S (рис. 15, *в*).

Уничтожением девиации называют компенсацию действующих на компас магнитных сил от судового железа противонаправленными силами от постоянных магнитов девиационного прибора и от компенсаторов компаса из мягкого железа.

Принцип уничтожения полукруговой девиации с коэффициентами B и C от продольного и поперечного брусков твердого судового железа поясняет рис. 16. На этом рисунке магниты-уничтожители (их северная половина всегда окрашена красным, а южная — белым, черным или серым) условно изображены около компаса, хотя они находятся под ним в девиационном приборе нактоуза.

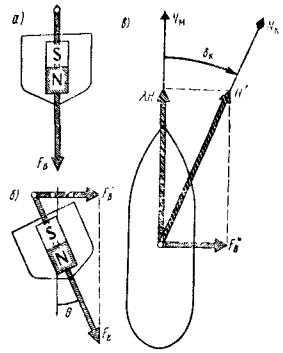


Рис. 15

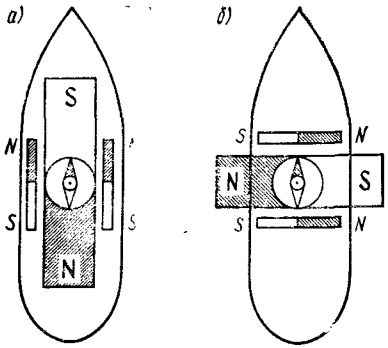


Рис. 16

У компасов прежних выпусков, которые еще применяются, для изменения действующей на компас силы магнитов они перемещаются по высоте внутри нактоуза. В современных компасах, в том числе и используемых на малых судах (типов КМ-100-1 и КМ-100-2), вертикальное перемещение магнитов заменено их поворотом. Устройство такого девиационного прибора поясняет рис. 17, где изображены постоянные магниты, закрепленные на двух шестернях, которые поворачиваются в разные стороны на одинаковый угол при вращении ведущей шестерни с указателем. Когда магниты повернуты разноименными полюсами вверх, их действие на компас взаимно компенсируется (рис. 17, *а*). При горизонтальном положении магнитов их северные полюсы направлены в одну сторону, а совместное действие на компас максимально (рис. 17, *б*). Угол поворота магнитов, а следовательно, и направление и величина силы их действия на компас отмечаются по указателю ведущей шестерни. У компасов типов КМ-100-1 и КМ-100-2 на осях каждой из шестерен закреплено по три магнита и установлено по два описанных устройства. Одно из них

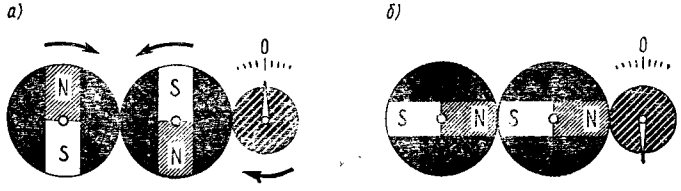


Рис. 17

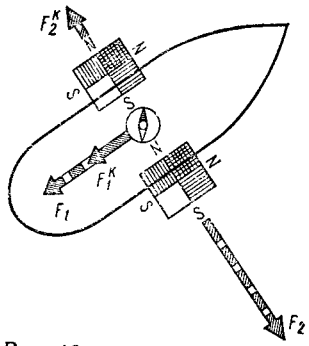


Рис. 18

расположено плоскостью вращения магнитов вдоль судна, а другое — поперек, их указатели обозначены соответственно B и C.

Для уничтожения четвертной девиации с коэффициентами D и E от мягкого судового железа на компасах имеются компенсаторы из брусков, шаров или пластин мягкого железа (у компасов КМ-100-1 и КМ-100-2 по два пакета горизонтальных пластин). Чтобы выяснить действие компенсаторов, возвратимся к рис. 12 и выводу формулы (10). Продольный и поперечный бруски мягкого железа создают девиацию разных знаков. Это значит, что такие бруски частично компенсируют друг друга, а суммарная девиация от них с коэффициентом D объясняется тем, что влияние поперечного бруска обычно больше, чем продольного. Следовательно, для уничтожения четвертной девиации компенсаторы должны увеличивать силу F_1 от продольного бруска и (или) уменьшать силу F_2 от поперечного бруска мягкого железа (см рис. 12). Достигается это установкой компенсаторов из мягкого железа по бокам компаса (рис. 18). На любом курсе компенсаторы намагничиваются в продольном направлении пропорционально $H \sin MK$ и в поперечном — пропорционально $H \cos MK$, т. е. так же, как продольный и поперечный бруски мягкого железа и с таким же расположением полюсов. При этом продольная сила компенсаторов $F_1^к$ направлена, как и сила F_1, а поперечная $F_2^к$ — против силы F_2 из-за того, что компас находится между компенсаторами. Подбором размеров компенсаторов можно добиться уничтожения четвертной девиации с коэффициентом D.

Четвертную девиацию с коэффициентом E от несимметрии мягкого судового железа можно уничтожить теми же компенсаторами. Для этого хомут, на котором они крепятся к компасу, надо развернуть на небольшой угол вокруг вертикальной оси.

Для уничтожения креновой девиации служит вертикальный магнит девиационного прибора. Перемещая этот магнит по высоте, добиваются компенсации действующих на компас сил от вертикальных брусков твердого и мягкого судового железа.

Добиться полного уничтожения девиации от всего судового железа трудно, да к этому и не стремятся, так как она не остается постоянной. Если девиация не превышает 3—4°, то ее не уничтожают, а определяют и сводят в таблицу девиации, которой затем пользуются при решении навигационных задач. Большую

девиацию необходимо уничтожать, что означает на практике лишь уменьшение ее значения до 3—4°. Более того, так как четвертная девиация с коэффициентами D и E за эти пределы обычно не выходит, то говоря об уничтожении девиации, подразумевают уменьшение только полукруговой девиации с коэффициентами B и C. После этого обязательно определяют остаточную девиацию и снова составляют таблицу девиации.

Для нахождения девиации по наблюдениям может применяться любой способ определения поправки компаса ΔK (см. § 6). Величину и знак (наименование) девиации находят по формуле

$$\delta = \Delta K - d, \tag{13}$$

где d — магнитное склонение с карты, приведенное к году плавания. Напомним, что формула (13) алгебраическая, а величина δ лишена смысла, если не указан компасный курс, которому она соответствует.

Наиболее простой и надежный способ уничтожения полукруговой девиации предложил в середине прошлого века английский астроном Д. Б. Эри. С тех пор этот способ применяется моряками всех стран как основной. Ограничимся описанием этого способа.

Полукруговую девиацию с коэффициентом C уничтожают на компасных курсах N и S с помощью поперечных магнитов девиационного прибора. Чтобы увидеть, как это делается, подставим поочередно в основную формулу девиации (12) $K=0$ и $K=180°$, что дает значения девиации δ_N и δ_S на этих курсах:

$$\delta_N = A + C + E; \quad \delta_S = A - C + E. \tag{14}$$

Видим, что девиация с коэффициентом C будет уничтожена ($C = 0$) при выполнении условия

$$\delta_N = \delta_S = A + E. \tag{15}$$

Чтобы добиться этого, вначале девиацию, наблюдаемую на одном из тех же курсов, например δ_N на курсе N, доводят поворотом поперечных магнитов до нуля. Подставляя $\delta_N = 0$ в первую из формул (14), находим

$$-C = A + E,$$

подставляя значение C во вторую формулу (14), получаем

$$\delta_S = 2(A + E). \tag{16}$$

Следовательно, если теперь повернуть судно на курс S, то будет наблюдаться девиация δ_S, выражаемая формулой (16). Уменьшив эту девиацию в два раза дополнительным поворотом тех же поперечных магнитов, добиваются выполнения условия (15), т. е. уничтожения девиации с коэффициентом C.

Описанные действия можно выполнять в обратном порядке: на компасном курсе S поперечными магнитами довести наблюдаемую девиацию δ_S до нуля, а затем на курсе N дополнительным поворотом тех же магнитов уменьшить наблюдаемую девиацию δ_N в два раза. При этом также будет выполнено условие (15), т. е. уничтожена девиация с коэффициентом C.

Аналогичным образом уничтожают полукруговую девиацию с коэффициентом B на компасных курсах E и W с помощью продольных магнитов девиационного прибора. На одном из этих курсов наблюдаемую девиацию δ_E (или δ_W) доводят продольными магнитами до нуля, а затем на противоположном курсе наблюдаемую девиацию δ_W (или δ_E) уменьшают вдвое дополнительным поворотом тех же магнитов.

Последовательность главных компасных курсов, на которые приводят судно, может быть любой, например, на курсе E наблюдаемую девиацию δ_E доводят до нуля продольными магнитами. Затем на курсе S наблюдаемую девиацию δ_S также доводят до нуля, но поперечными магнитами. После этого на курсе W наблюдаемую девиацию δ_W уменьшают вдвое дополнительным поворотом продольных магнитов, в результате девиация с коэффициентом B уничтожается. Наконец, на курсе N наблюдаемую девиацию δ_N тоже уменьшают вдвое, но дополнительным поворотом поперечных магнитов, в результате девиация с коэффициентом C уничтожается.

Уничтожение креновой девиации на малом судне наиболее просто и надежно выполняется способом кренования. Для этого судно без крена надо привести на курс, близкий к N или S, и тщательно измерить компасный пеленг любого удаленного предмета. После этого судну искусственно создают крен на несколько градусов (оттяжкой на берег от топа мачты, грузом на стреле или гике, вынесенном за борт и т. п.) и пеленгуют тот же предмет. Если пеленг при креновании не изменился, то креновой девиации нет. Если пеленг при крене иной, то перемещают вертикальный магнит девиационного прибора, пока наблюдаемый при крене пеленг предмета не станет равным его же пеленгу при отсутствии крена

На ходу при качке креновая девиация проявляется в большом «рыскании» картушки компаса. Подуничтожить эту девиацию можно, перемещая вертикальный магнит, пока «рыскание» картушки не станет минимальным.

При каждом уничтожении девиации, изменении загрузки судна намагничивающимися предметами, значительном изменении широты места, а также, если обнаружено, что девиация отличается от табличной, составляют новую таблицу девиации. Для этого достаточно найти девиацию по наблюдениям не менее чем на пяти компасных курсах, так как в основную формулу (12)

входит пять коэффициентов, подлежащих определению. Однако для упрощения расчетов и повышения точности результатов девиацию определяют из наблюдений на восьми равноотстоящих (т. е. через 45°) главных и четвертных компасных курсах. Независимо от последовательности курсов, на которых определялась девиация, этим курсам присваивают номера i, как показано в табл 1, где для примера приведены значения девиации δ_i из наблюдений.

Таблица 1. **Наблюденные девиации магнитного компаса**

i	Курс	KK_i°	δ_i°
1	N	0	−0,7
2	NE	45	+1,5
3	E	90	+1,8
4	SE	135	+1,6
5	S	180	+2,5
6	SW	225	+1,3
7	W	270	−1,6
8	NW	315	−2,4

Составление таблицы девиации по ее значениям из наблюдений на восьми курсах выполняют в два этапа. Вначале вычисляют коэффициенты девиации, входящие в формулу (12), а затем, подставив в нее значения коэффициентов, рассчитывают девиацию для 36 компасных курсов через 10°.

Для вычисления коэффициентов девиации A, B, C, D и E по значениям δ_i из наблюдений служат формулы:

$$\left.\begin{aligned}
A &= \frac{1}{8}(\delta_1+\delta_2+\delta_3+\delta_4+\delta_5+\delta_6+\delta_7+\delta_8);\\
B &= \frac{1}{4}[\delta_3-\delta_7+0{,}71(\delta_2+\delta_4-\delta_6-\delta_8)];\\
C &= \frac{1}{4}[\delta_1-\delta_5+0{,}71(\delta_2-\delta_4-\delta_6+\delta_8)];\\
D &= \frac{1}{4}(\delta_2-\delta_4+\delta_6-\delta_8);\\
E &= \frac{1}{4}(\delta_1-\delta_3+\delta_5-\delta_7).
\end{aligned}\right\} \quad (17)$$

Вычисления по формулам (17) состоят в нахождении сумм δ_i в той или иной комбинации, что легко выполняется вручную или на любом микрокалькуляторе. С использованием данных табл. 1 и формул (17) можно получить следующие значения коэффициентов девиации.

$A = +0{,}5°$; $B = +1{,}6°$; $C = -1{,}5°$; $D = +0{,}9°$; $E = +0{,}4°$;

Подставляя вычисленные значения коэффициентов девиации в формулу (12), по ней рассчитывают таблицу девиации. Если эти расчеты выполняются на микрокалькуляторе, то их можно упростить, представляя формулу (12) в виде

$$\delta = R \sin (K + \psi_1) + S \sin (2K + \psi_2) + A, \qquad (18)$$

где

$$\left.\begin{aligned} R &= \sqrt{B^2 + C^2};\ \psi_1 = \operatorname{arctg} \frac{C}{B}; \\ S &= \sqrt{D^2 + E^2};\ \psi_2 = \operatorname{arctg} \frac{E}{D}. \end{aligned}\right\} \qquad (19)$$

Знаки у вспомогательных величин R и S такие же, как у B и D, а углы ψ_1 и ψ_2 по модулю меньше 90° имеют знаки отношений C/B и E/D.

Например, по ранее вычисленным коэффициентам девиации получаем

$$R = +2{,}2°;\ \psi_1 = -43°;\ S = +1{,}0°;\ \psi_2 = +24°.$$

Подставляя полученные значения в формулу (18), по ней вычисляем значения δ для заполнения рабочей таблицы девиации (табл. 2). Расчеты на микрокалькуляторе упрощаются тем, что

Таблица 2. **Расчетные значения девиации (рабочая таблица)**

КК°	δ°	КК°	δ°	КК°	δ°	КК°	δ°
0	−0,6	90	+1,7	180	+2,4	270	−1,5
10	0	100	+1,7	190	+2,4	280	−2,0
20	+0,5	110	+1,6	200	+2,3	290	−2,4
30	+1,0	120	+1,6	210	+2,0	300	−2,6
40	+1,4	130	+1,7	220	+1,6	310	−2,7
50	+1,6	140	+1,9	230	+1,1	320	−2,5
60	+1,7	150	+2,0	240	+0,4	330	−2,2
70	+1,8	160	+2,2	250	−0,2	340	−1,7
80	−1,8	170	+2,3	260	−0,9	350	−1,2
90	+1,7	180	+2,4	270	−1,5	360	−0,6

вначале вычисляют первый член формулы (18) и отправляют его в память. Затем вычисляют сумму второго члена и A. К этой величине прибавляют содержимое памяти, получают δ для курса K. После этого из результата дважды вычитают содержимое памяти, что дает δ для курса $K + 180°$. Таблица девиации (см табл. 2) заполняется сразу с начала и с середины без промежуточных записей.

В условиях рассматриваемого примера расчетная формула (18) принимает следующий вид:

$$\delta = 2{,}2° \sin (K - 43°) + \sin (2K + 24°) + 0{,}5°,$$

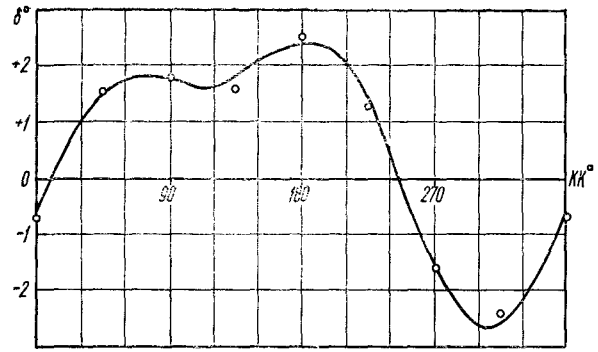


Рис. 19

По табл. 2 строят график девиации (рис. 19), на который наносят точки, соответствующие значениям девиации, полученным по наблюдениям (на рис. 19 эти точки отмечены кружками и соответствуют данным табл. 1). Близость расположения точек к кривой в пределах погрешностей пеленгований и округлений свидетельствует о точности вычислений.

При расчете таблицы девиации компаса на программируемом микрокалькуляторе типа ПЭМК «Электроника» Б3-34 рекомендуется следующий порядок действий:

Таблица 3. **Программа вычисления девиации**

Шаг	Команда	Код	Шаг	Команда	Код	Шаг	Команда	Код	Шаг	Команда	Код
00	8	8	25	+	10	49	ИП5	65	73	ИПС	6С
01	10	10	26	ИП8	68	50	ПП	53	74	×	12
02	1	01	27	−	11	51	91	91	75	+	10
03	0	00	28	4	04	52	4	04	76	ИП1	61
04	П1	41	29	÷	13	53	÷	13	77	2	02
05	Сх	4Г	30	ПВ	4L	54	ПД	4Г	78	×	12
06	КИПП	Г1	31	ИП9	69	55	ИП2	62	79	П1	41
07	+	10	32	ИП3	63	56	ИП6	66	80	F sin	1С
08	FL0	5Г	33	ИП5	65	57	ИП8	68	81	ИПД	6Г
09	6	06	34	ИП7	67	58	ИП4	64	82	×	12
10	8	08	35	ПП	53	59	ПП	53	83	+	10
11	÷	13	36	91	91	60	91	91	84	ИП1	61
12	ПА	4−	37	ИП1	61	61	4	04	85	F cos	1Г
13	ИП3	63	38	×	12	62	÷	13	86	ИП0	60
14	ИП5	65	39	ИП2	62	63	ПО	40	87	×	12
15	ИП7	67	40	+	10	64	с/п	50	88	+	10
16	ИП9	69	41	ИП6	66	65	П1	41	89	БП	51
17	ПП	53	42	−	11	66	F sin	1С	90	64	64
18	91	91	43	4	04	67	ИПВ	6L	91	+	10
19	4	04	44	÷	13	68	×	12	92	−	11
20	5	05	45	ПС	4С	69	ИПА	6−	93	+	10
21	F cos	1Г	46	ИП3	63	70	+	10	94	в/о	52
22	П1	41	47	ИП7	67	71	ИП1	61			
23	×	12	48	ИП9	69	72	F cos	1Г			
24	ИП4	64									

|F| |АВТ|

Таблица 4. **Ввод исходных данных и организация вычислений δ**

Аргументы	Адрес П	Прохождение информации (с решением примера)	
		исходной	итоговой
δ_1	2	−0,7°	
δ_2	3	+1,5	
δ_3	4	+1,8	
δ_4	5	+1,6	
δ_5	6	+2,5	
δ_6	7	+1,3	
δ_7	8	−1,6	
δ_8	9	−2,4	
	0		E = +0,4°
	A		A = +0,5
	B		B = +1,6
	C		C = −1,5
	Д		Д = +0,9

1) включить ПЭМК, перевести его в режим ввода программы [в/о] [F] [ПРГ] и убедиться, что переключатель представления углов и дуг установлен на градусы (Г);

2) ввести программу из табл. 3, проверяя правильность ввода по коду вводимых команд;

3) ввести исходные данные в соответствии с табл. 4, выключить ПЭМК на счет нажатием клавиш [в/о] и [с/п];

4) после записи коэффициентов девиации *A*, *B*, *C*, *D*, *E* набирать поочередно компасные курсы через 10°, нажимать клавишу [с/п] и заполнять табл. 2, снимая с табло значения девиации. В табл. 2 представлены результаты решения рассмотренного примера.

§ 5. Гироскопические компасы

Гироскопический компас (гирокомпас) — навигационный прибор, предназначенный для измерения курса, пеленга и курсового угла, действие которого основано на использовании вращения Земли и свойств гироскопа. Гирокомпас обладает большей стабильностью показаний и более постоянной поправкой, чем магнитный компас.

Гироскопом называют быстро вращающийся массивный диск-ротор, ось которого может поворачиваться в любом направлении вокруг точки *O*, называемой центром подвеса. Отличительными свойствами гироскопа являются устойчивость и прецессия. *Устойчивость* проявляется в том, что ось гироскопа, если на него не действуют моменты внешних сил, сохраняет свое направление

в пространстве, а на кратковременные воздействия типа удара практически не реагирует. Свойство *прецессии* проявляется в том (рис. 20), что внешняя сила *F* с плечом *l*, создающая момент $L = Fl$, вызывает поворот оси гироскопа вокруг центра подвеса *O* в перпендикулярной плоскости — вектор угловой скорости ротора ω поворачивается кратчайшим путем к вектору момента силы *L* (векторы ω и *L* направлены туда, откуда вращение ротора и действие силы *F* видны против часовой стрелки).

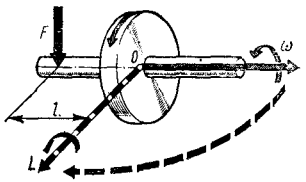


Рис. 20

Вращение Земли с угловой скоростью $\omega_{\oplus}$, вектор которой направлен вдоль оси Земли P_nP_s в сторону Северного полюса P_n, для наблюдателя в точке *M* с широтой φ можно представить горизонтальной ω_1 и вертикальной ω_2 составляющими (рис. 21). Первая из них $\omega_1 = \omega_{\oplus} \cos\varphi$ проявляется тем, что плоскость истинного горизонта наблюдателя *M* (на рисунке изображена часть этой плоскости *NESW*) поворачивается вокруг его меридиана *NS*, опускаясь своей восточной половиной. Вторая составляющая $\omega_2 = \omega_{\oplus} \sin\varphi$ проявляется тем, что меридиан *NS* наблю-

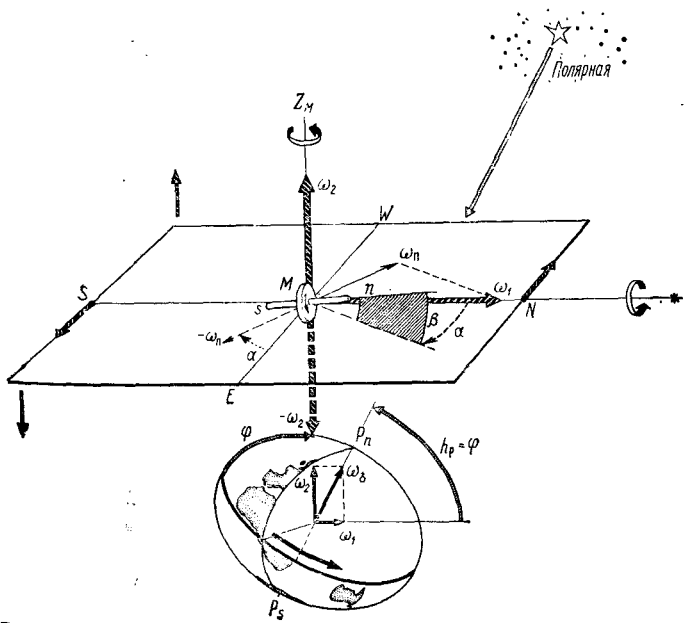


Рис. 21

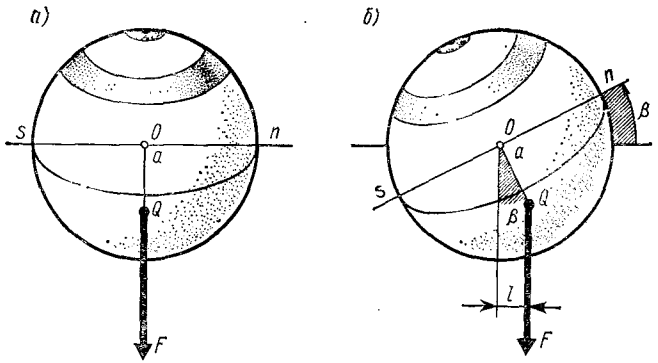


Рис. 22

дателя M поворачивается в пространстве вокруг его отвесной линии $MZ_м$ северной частью меридиана к западу.

Если в точке M запущен гироскоп, ось которого направлена горизонтально вдоль меридиана, то устойчивость гироскопа и вращение Земли проявляются в видимом движении оси гироскопа ns. Ее северный конец n поворачивается к востоку с угловой скоростью — ω_2 на возрастающий угол α (см. рис. 21). С появлением угла α северный конец оси гироскопа оказывается над восточной половиной плоскости горизонта, которая опускается с угловой скоростью ω_1. Следовательно, наблюдается подъем этого конца оси гироскопа на увеличивающийся угол β. Угловую скорость такого подъема $\omega_п$ называют *полезной составляющей земного вращения*; ее используют для превращения гироскопа в гирокомпас. Как видно на рис. 21, $\omega_п$ равна горизонтальной проекции вектора ω_1 на перпендикуляр к оси ротора: $\omega_п = \omega_1 \sin\alpha$.

Так как направление оси гироскопа по азимуту α и высоте β непрерывно изменяется, то служить компасом он не может. Для превращения в гирокомпас гироскоп надо «связать» с Землей так, чтобы его ось оставалась горизонтальной и прецессировала к западу с угловой скоростью поворота меридиана ω_2. Такая связь осуществляется разными путями: созданием твердого или жидкостного маятника, электромагнитным или геомагнитным управлением.

Твердый маятник создают у гиросферы, в которой вращаются гироскопы, смещением ее центра масс Q вниз от центра подвеса O на величину метацентрического расстояния a (рис. 22). Если ось гиросферы ns горизонтальна, то сила тяжести F действует по линии, проходящей через центр подвеса O, и момента не создает (рис. 22, *а*). При отклонении оси гиросферы от меридиана на некоторый угол α, например к востоку, северный конец этой оси поднимается над горизонтом с угловой скоростью, равной полезной составляющей земного вращения $\omega_п$ (см. рис. 21). С появлением угла β наклона оси гиросферы к горизонту (рис. 22, *б*) возникают плечо $l = a \sin\beta$ силы тяжести F и маятниковый момент Fl, который вызывает прецессию оси гиросферы к меридиану. Когда эта ось проходит меридиан ($\alpha = 0$), угол β перестает увеличиваться ($\omega_п = \omega_1 \sin\alpha = 0$), достигнув максимума. Но при этом достигает максимума и момент Fl — прецессия на запад продолжается. Однако после прохождения оси гиросферы через меридиан знаки α и ω меняются, угол β начинает уменьшаться. Когда $\beta = 0$, маятниковый момент $Fl = 0$ и прецессия на запад прекращается. При этом северный конец оси гиросферы максимально отклонен на запад и продолжает опускаться под горизонт — угол β меняет знак. Вновь возникает плечо l и маятниковый момент Fl, но теперь противоположного направления, что вызывает прецессию к востоку. Таким образом, ось гиросферы ns совершает практически незатухающие колебания около меридиана.

Чтобы погасить колебания гиросферы, в ней устанавливают успокоитель в виде северного и южного сообщающихся сосудов с вязкой жидкостью. Сечение соединительной трубки подобрано так, что жидкость переливается между сосудами с запаздыванием на четверть периода колебаний гиросферы. Поэтому при движении оси гиросферы к меридиану образуется избыток жидкости в приподнятом сосуде, а при движении от меридиана — в опущенном. Масса такого избытка жидкости создает дополнительный горизонтальный момент, который вызывает дополнительную прецессию, всегда направленную к меридиану.

Совместное действие твердого маятника и успокоителя делают колебания оси гиросферы затухающими, по окончании их она сохраняет устойчивое положение вдоль меридиана. Описан-

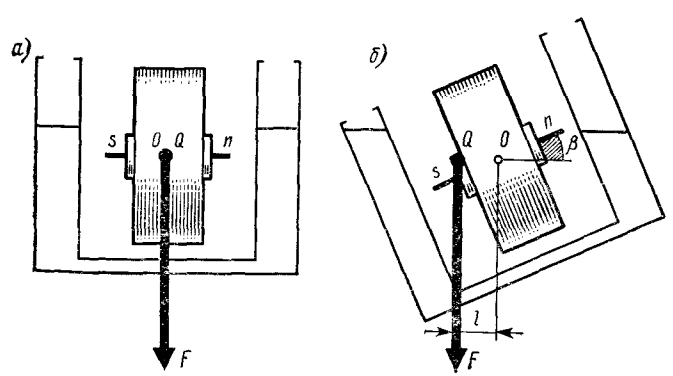


Рис. 23

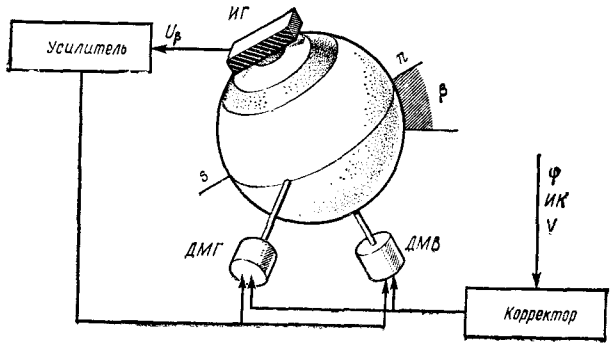


Рис. 24

ный принцип действия реализован в отечественных гирокомпасах типов «Курс» и «Амур».

Жидкостный маятник создают установкой на гирокамере, в которой находится гироскоп, северного и южного сообщающихся сосудов с тяжелой жидкостью (рис. 23). Если ось *ns* гирокамеры горизонтальна, то общий центр масс гирокамеры с сосудами *Q* совпадает с центром подвеса *O* и сила тяжести *F* момента не создает (рис. 23, *а*). Вследствие вращения Земли появляется угол β наклона оси гирокамеры к горизонту, часть жидкости переливается в опустившийся сосуд и общий центр масс *Q* смещается в ту же сторону (рис. 23, *б*). Появляется плечо *l*, и сила тяжести *F* создает момент *Fl*, вызывающий прецессию оси *ns* гирокамеры к меридиану. Сравнение рис. 22 и 23 показывает, что жидкостный маятник действует также, как твердый, но создаваемый им момент *Fl* имеет противоположное направление. Поэтому твердый маятник часто называют положительным, а жидкостный — отрицательным. Для погашения колебаний гирокамеры с жидкостным маятником центр масс *Q* немного смещают на запад, что создает при наклоне осей дополнительный момент и прецессию к меридиану.

Электромагнитное управление поясняется схемой, приведенной на рис. 24. Гиросфера с ротором внутри имеет центр масс, совпадающий с центром подвеса, так что при наклоне ее оси *ns* к горизонту маятниковый момент не возникает. Однако с гиросферой связан индикатор горизонта *ИГ*, который вырабатывает электросигнал U_β, пропорциональный углу β наклона оси *ns* к горизонту. Этот сигнал после усиления подается на датчики горизонтального *ДМГ* и вертикального *ДМВ* моментов. Создаваемый первым датчиком момент вызывает прецессию оси гиросферы к меридиану, а вторым — прецессию той же оси к горизонту. В итоге колебания оси гиросферы быстро затухают у меридиана.

Электромагнитное управление позволяет вводить сигналы от корректора (о чем будет сказано ниже) и все шире применяется в гирокомпасах. Такой принцип реализован в малогабаритном отечественном гирокомпасе «Вега», предназначенном для любых судов, в том числе и для малых скоростных, на которых установка гирокомпасов с маятником невозможна.

Геомагнитное управление осуществляется следующим образом (рис. 25). На гирокамере, в которой вращается ротор, закреплен индикатор горизонта *ИГ*, вырабатывающий электросигнал U_β, в зависимости от угла β наклона оси *ns* к горизонту. Этот сигнал поступает после усиления на датчик вертикального момента *ДМВ*, что вызывает прецессию оси *ns* к горизонту и удерживает ее горизонтальной. Направление этой оси в плоскости горизонта сравнивается с показаниями магнитного компаса *МК* и электросигнал U_α, пропорциональный углу рассогласования α, подается после усиления на датчик горизонтального момента *ДМГ*. Создаваемый этим датчиком момент заставляет ось гирокамеры прецессировать вокруг вертикальной оси до тех пор, пока угол α не станет равным нулю, т. е. эта ось установится в компасном меридиане магнитного компаса.

Основанные на таком принципе компасы называют *гиромагнитными*. К ним относится, например, отечественный компас «Градус», предназначенный для малых судов на подводных крыльях и воздушной подушке. Такой компас, как и магнитный, имеет поправку, состоящую из магнитного склонения и девиации, но отличается большей устойчивостью к тряске, вибрации и качке.

Все гирокомпасы имеют *следящую систему*, которая охватывает гиросферу или гирокамеру. При любом изменении курса следящая система поворачивается вместе с судном относительно гиросферы (гирокамеры) и вырабатывает электросигнал, пропорциональный углу возникающего рассогласования. Этот сигнал после усиления приводит в действие азимут-мотор, поворачиваю-

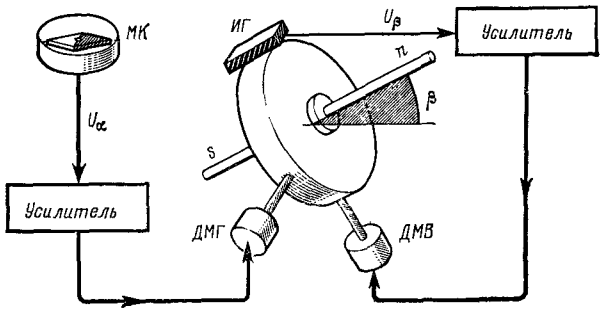


Рис. 25

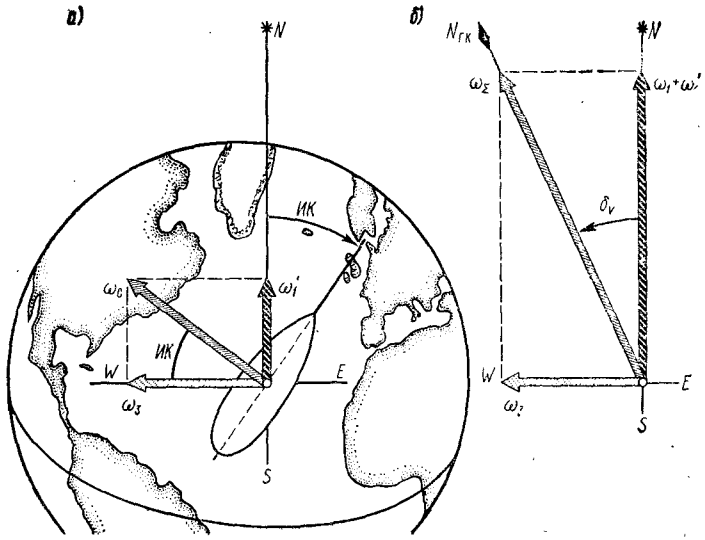


Рис. 26

щий следящую систему обратно до устранения угла рассогласования. Одновременно на такой же угол поворачивается сельсин-датчик, сигнал от которого подается на сельсины-приемники — этим осуществляется дистанционная передача показаний гирокомпаса на *репитеры*, установленные перед рулевым, на крыльях мостика и др. Кроме того, сельсины-приемники гирокомпаса имеются в его курсографе и других приборах — «потребителях курса»: авторулевом, радиолокаторе, радиопеленгаторе и пр.

На крыльях мостика репитеры устанавливаются в кардановых подвесах на *пелорусах*; каждый такой репитер снабжен *оптическим пеленгатором*. Пеленгатор может свободно поворачиваться вокруг вертикальной оси, проходящей через центр картушки репитера. Наведя пеленгатор на ориентир вертикальной нитью, в нижней части поля зрения считывают против этой нити гирокомпасный пеленг (ГКП) ориентира. Пеленгатор имеет набор светофильтров и поворотный кронштейн с зеркальцем для пеленгования светил.

Выше было указано, что для превращения гироскопа в гирокомпас используется вращение Земли, в частности горизонтальная составляющая ее угловой скорости, вдоль вектора которой $\omega_1 = \omega_\delta \cos\varphi$ и устанавливается гирокомпас, показывая направление истинного меридиана. Но при этом предполагалось, что судно неподвижно. При движении судна со скоростью V по поверхности Земли оно поворачивается в пространстве с угловой скоростью $\omega_c = V/R_\delta$, вектор которой всегда направлен в сторону левого траверза. Этот вектор, в зависимости от истинного курса судна *ИК*, раскладывается на две составляющие (рис. 26, *а*): вдоль меридиана $\omega_1' = \omega_c \cos ИК$ и вдоль параллели $\tilde{\omega}_3 = \omega_c \cos ИК$. Первая из них ω_1' направлена так же, как и горизонтальная составляющая ω_1 угловой скорости вращения Земли (рис. 26, *б*). Их сумма $\omega_1 + \omega_1'$, складываясь векторно с составляющей ω_3, образует суммарную угловую скорость ω_Σ, на которую реагирует гирокомпас, устанавливаясь вдоль нее на движущемся судне. Отклонение гирокомпасного меридиана $N_{гк}$ от истинного N, обусловленное движением судна, называется *скоростной девиацией* гирокомпаса δ_V. Как видно из рис. 26, *б*,

$$\operatorname{tg} \delta_V = -\omega_3/(\omega_1 + \omega_1').$$

Подставив сюда приведенные выше выражения ω_1, ω_1', ω_3 и разделив числитель и знаменатель на радиус Земли R_δ, получим

$$\operatorname{tg} \delta_V \approx \delta_V = -\frac{V \cos ИК}{R_\delta \omega_\delta \cos\varphi + V \sin ИК}.$$

Как показывает эта формула, скоростная девиация δ_V зависит от широты места φ, курса *ИК* и скорости V судна и в одинаковой мере присуща всем гирокомпасам. Величина δ_V вычисляется и устраняется из показаний гирокомпаса его корректором (см. рис. 24).

При резком маневрировании на больших скоростях и в высоких широтах у гирокомпаса дополнительно возникают переменные инерционные девиации, которые колебательно затухают примерно через 1,5—2 ч после маневра судна.

Приведем основные эксплуатационные характеристики гирокомпасов.

Характеристика	«Курс»	«Амур-3»	«Вега»
Погрешность на прямом курсе, °	1	1,5	0,8
Погрешность при маневрировании, °	—	1	2
Погрешность при качке, °	1	3	—
Погрешность от пуска к пуску, °	0,5	1	—
Время готовности к навигационному использованию, ч	4–6	6–8	1

§ 6. Определение поправки компаса. Перевод и исправление румбов

Точное знание поправки компаса ΔK — одно из основных условий, обеспечивающих навигационную безопасность плавания. Хорошая штурманская практика предполагает определение ΔK при каждом изменении условий плавания (широты места, курса и скорости судна, его загрузки) и сличение показаний всех имеющихся на судне компасов. Эти же операции проводятся при

приеме и сдаче ходовой вахты. Для непосредственного определения поправки компаса служит формула

$$\Delta K = ИП - КП, \qquad (20)$$

где $ИП$ — истинный пеленг наблюдаемого с судна объекта в момент измерения компасного пеленга $КП$ этого же объекта.

Объектами наблюдений при плавании вне видимости береговых ориентиров служат небесные светила (см. гл. 6); искусственные и естественные створы береговых ориентиров (например, C и D на рис. 5) чаще всего наблюдают при выходе из порта. При стоянке в порту можно наблюдать небесные светила и достаточно удаленные ориентиры, однако при наблюдении ориентиров место стоянки судна должно быть известно с погрешностью не более 100 м и ориентир должен быть не ближе 8 миль, что позволит достаточно точно получить его $ИП$ с крупномасштабной карты. Девиационные работы чаще всего производят на специальных девиационных полигонах, оборудованных большим количеством створов (их направления указываются на картах и в лоциях).

Если известна поправка одного из компасов (который можно принять эталонным) $\Delta K_э$, то поправку другого компаса находят по сличению его показаний с эталонным. Для этого по общей команде «Ноль!» два наблюдателя регистрируют показания эталонного $КК_э$ и проверяемого $КК$ компасов, вычисляют сличение как разность $Сл = КК_э - КК$, алгебраически вычисляют поправку $\Delta K = Сл + \Delta K_э$. Эту операцию рекомендуется повторить трипять раз и в дальнейшем учитывать среднее арифметическое из наблюденных поправок.

Поправку компаса следует определять после того, как чувствительный элемент пришел в устойчивое положение: для магнитного компаса оно наступает спустя 3—5 мин после поворота, для гирокомпаса — спустя 1,5—2 ч.

Расхождение показаний главного и путевого компасов не должно превышать значения, допускаемого их учитываемыми поправками, а вычисленный на основе их показаний истинный курс судна должен быть в пределах технических возможностей этих компасов. Операции вычисления магнитных и истинных курсов и пеленгов, исходя из компасных, принято называть *исправлением румбов*. Переход от истинных направлений к магнитным и компасным называют *переводом румбов*. Эти операции осуществляют по следующим формулам:

Формулы исправления румбов	Формулы перевода румбов	Формулы поправок компасов
$ИК = КК + \Delta K$	$КК = ИК - \Delta K$	$\Delta K = ИК - КК$
$ИП = КП + \Delta K$	$КП = ИП - \Delta K$	$\Delta K = ИП - КП$
$ИК = МК + d$	$МК = ИК - d$	$d = ИК - МК$
$ИП = МП + d$	$МП = ИП - d$	$d = ИП - МП$
$МК = КК + \delta$	$КК = МК - \delta$	$\delta = МК - КК$
$МП = КП + \delta$	$КП = МП - \delta$	$\delta = МП - КП$

Здесь d — магнитное склонение с карты, приведенное к году плавания.

Все перечисленные формулы — алгебраические; при вычислениях необходимо учитывать знаки поправки компаса, склонения и девиации.

Пример (см рис. 5). Дано: $ИК = 85°$, $d = 26° E$, $ИП_{дс} = 112{,}5°$; компасный пеленг створа $КП_{дс} = 99{,}0°$.

Выполнить перевод румбов: $\Delta K = 112{,}5° - 99{,}0° = +13{,}5°$; $КК = 85° - 13{,}5° = 71{,}5°$; $МК = 85° - 26° = 59°$; $МП = 112{,}5° - 26° = 86{,}5°$; $\delta = 86{,}5° - 99° = -12{,}5°$.

Глава 2

ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕНИ НА СУДНЕ

§ 7. Основы измерения времени

Время на судне необходимо измерять для ведения навигационной прокладки его пути и организации повседневной жизни.

Для целей навигации время необходимо измерять с погрешностью не более 1 мин, если скорость судна не превышает 12 уз. Такая же точность измерения времени достаточна в повседневной жизни. При скорости судна от 12 до 24 уз время регистрируют с точностью до 0,5 мин. Высокие требования к точности измерения времени предъявляются при решении задач астронавигации: для определения поправки компаса по наблюдениям светила момент его пеленгования должен быть измерен с погрешностью не более 0,2 мин; для определения места судна моменты наблюдений светил должны быть измерены с погрешностью не более 1 с.

Необходимая на судне точность измерения времени может быть обеспечена с помощью электронных, электронно-механических и механических часов, воспроизводящих ход *среднего солнечного времени*. Циферблат часов со стрелочной индикацией течения времени представляет собой проекцию изображенной на рис. 27, *а* вспомогательной небесной сферы на плоскость небесного экватора $Э_н E Э_м W$, как это показано на рис. 27, *б*. В центре циферблата помещается проекция Северного полюса мира P_N; линия $Э_м P_N Э_н$ соответствует местному меридиану наблюдателя $Э_н N P_N Z_м Э_м S$, глаз которого расположен в центре сферы M.

Ход времени указывает изменяющееся положение на небесной сфере меридиана Солнца $P_N \odot$, движущегося (вследствие вращения Земли) с востока на запад. Угол между полуденной

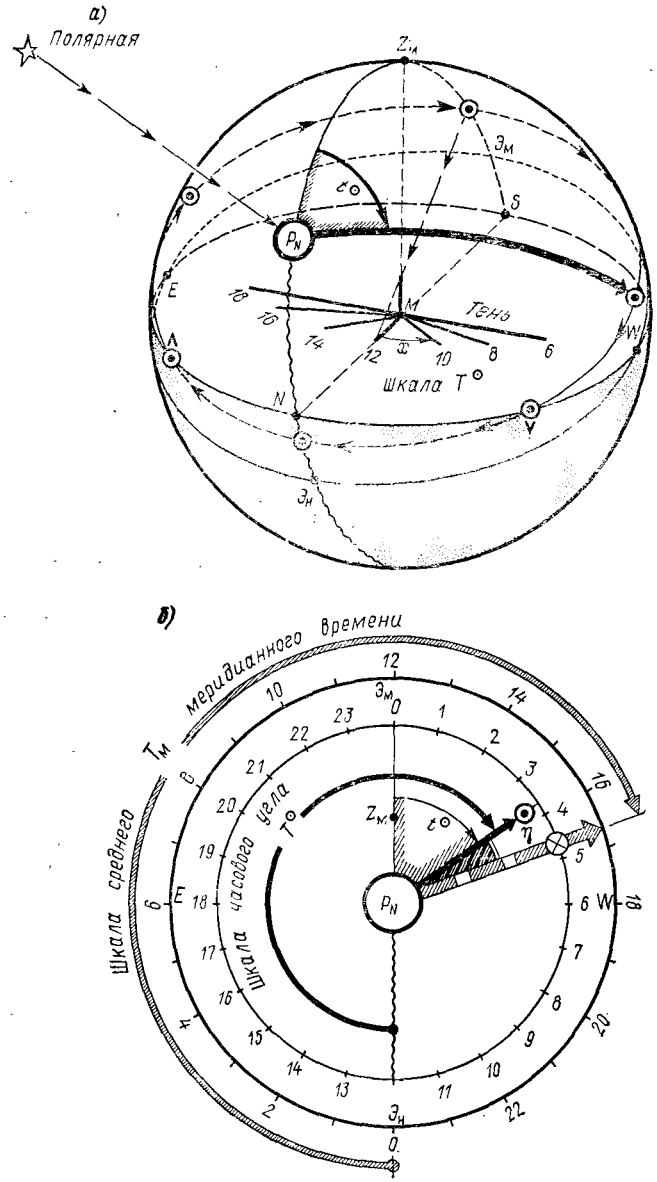


Рис. 27

частью местного меридиана наблюдателя $P_N Z_м Э_н S$ и меридианом Солнца называется *часовым углом* и обозначается $t^{\odot}$. Время принято измерять от момента полуночи, когда Солнце находится на полуночной части местного меридиана $P_N N Э_н$, и поэтому солнечное время $T^{\odot}$ отличается от часового угла Солнца на 12 ч: $T^{\odot} = 12^ч + t^{\odot}$. Наглядное представление о ходе солнечного времени можно получить, если в точке наблюдений M установить вертикальный шест и наблюдать за движением тени от него. Шкала таких горизонтальных солнечных часов неравномерна: отметка полудня $12^ч$ находится на полуденной линии NS, а угол x между полуденной линией и отметкой соответствующего $t^{\odot}$ часа вычисляется с учетом географической широты места наблюдений φ по формуле $\operatorname{tg} x = \sin\varphi \operatorname{tg} t^{\odot}$. В полдень тень имеет кратчайшую длину. Так как отсчет времени ведется от момента прохождения Солнцем местного меридиана наблюдателя, то $T^{\odot}$ называют *меридианным солнечным временем*. На наших часах движение меридиана Солнца воспроизводит большая часовая стрелка, показанная на рис. 27, *б*, но в ее движении есть две особенности. Чтобы деления циферблата часов были крупнее, его разделили не на 24 часа, а на 12 и скорость вращения часовой стрелки увеличили в два раза по сравнению с скоростью вращения меридиана Солнца на сфере (вращения Земли). Поэтому мы должны помнить, что цифра, например, 3 на циферблате означает $3^ч$ в первой половине суток и $15^ч$ — во второй половине суток. Кроме того, поскольку движение Солнца на небосводе не вполне равномерно и непосредственное пользование солнечным временем практически неудобно, то ход регулируют по постоянной среднегодовой скорости суточного движения Солнца. Мы пользуемся *средним солнечным временем* $T_м$, ход которого и воспроизводит движение стрелки наших часов (изображающей меридиан условного «среднего солнца» ⊗). Меридианное (теоретическое местное) среднее время $T_м$ кратко называют *средним временем*. Разница между средним временем и солнечным временем называется *уравнением времени*: $\eta = T_м - T^{\odot}$; она не превышает 16 мин.

Правительство каждой страны устанавливает наиболее удобную систему счета времени на территории своей страны — так называемое *стандартное время*. С учетом административных границ территория страны подразделяется на *часовые пояса* (рис. 28), в пределах которых показания часов должны быть одинаковы в любой момент у всех потребителей; при перемещении в соседний восточный пояс показание часов увеличивают ровно на один час, при перемещении в соседний западный часовой пояс — уменьшают на один час. По международному соглашению *нулевым часовым поясом* принято считать тот, осевым меридианом которого является гринвичский меридиан (начало счета геогра-

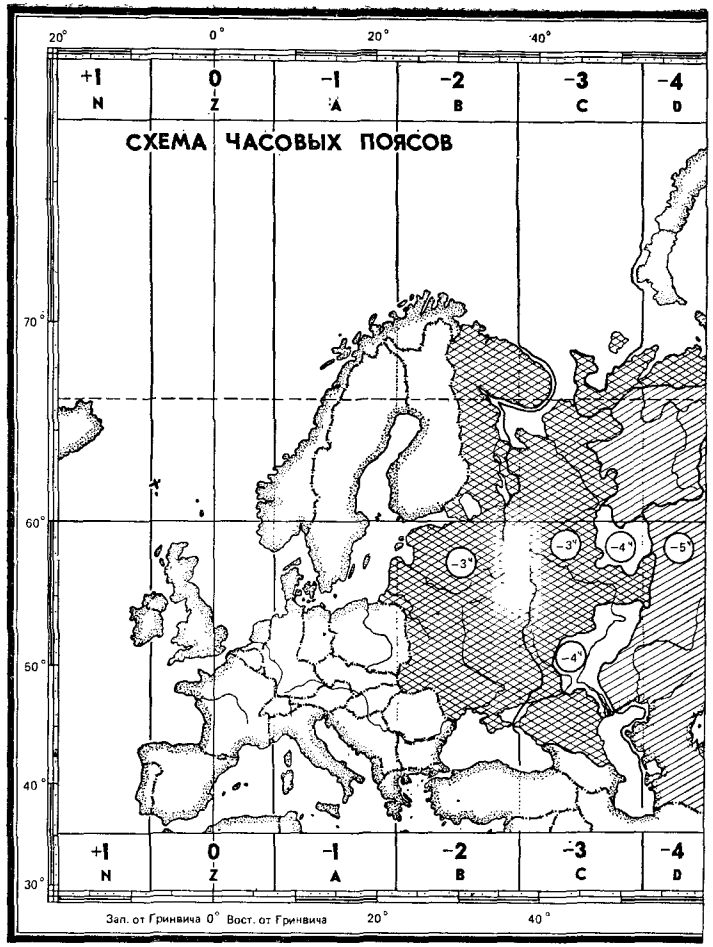
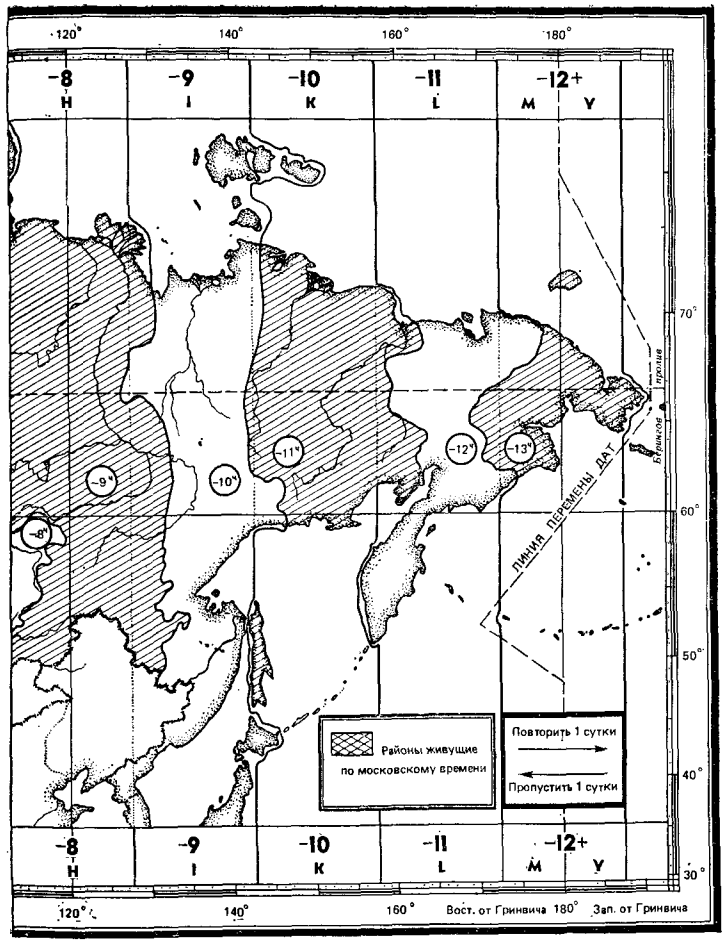


Рис. 28

фических долгот). Среднее время гринвичского меридиана, действующее на территории нулевого часового пояса, называется *всемирным* (или гринвичским) временем и обозначается $T_{гр}$. Часовые пояса имеют цифровые (номерные) и буквенные обозначения (последние редко применяются). *Поясное время* $T_{№}$ и всемирное $T_{гр}$ связаны формулой: $T_{№} = T_{гр} \pm №$, где № — номер часового пояса (восточный прибавляется, западный вычитается). На рис. 28 указаны знаки часовых поясов для перехода от поясного времени к всемирному.

В СССР с последнего воскресенья сентября переходят на *зимнее декретное время* $T_{д}$, которое на один час больше



теоретического поясного времени в каждом часовом поясе; на рис. 28 номера поясов по зимнему декретному времени надписаны непосредственно на соответствующем участке карты. Например, зимнее московское время отличается от всемирного времени ровно на $3^ч$ в большую сторону. С последнего воскресенья марта на территории СССР переходят на летнее декретное время, увеличенное на один час по сравнению с зимним декретным временем. Например, летнее московское время отличается от всемирного времени ровно на $4^ч$ в большую сторону.

При плавании в Тихом океане возможно пересечение расположенной в районе двенадцатого часового пояса линии перемены

календарной даты — *демаркационной линии времени.* К востоку и к западу от этой линии в один и тот же момент показание часов одинаково, но календарные даты разные. После пересечения этой линии в ближайшую наступающую полночь необходимо сделать следующее: при следовании восточными курсами — повторить календарную дату; при следовании западными курсами пропустить календарную дату. Несоблюдение этого правила приведет к расхождению счета календарных дат на судне и на берегу на одни сутки.

При стоянке в порту счет времени на судне должен быть согласован со счетом времени на берегу. Перед заходом в порт необходимые сведения о принятом в нем стандартном времени можно найти на карте № 90080, издаваемой Главным управлением навигации и океанографии МО. При нахождении в плавании решение о системе счета времени на борту принимает капитан судна, руководствуясь удобством работы и жизни экипажа.

Судовым временем T_c называется принятая на судне система счета среднего солнечного времени, согласно которой ведется навигационная прокладка и осуществляется управление судном. В основе счета судового времени лежит поясное время $T_№$, при этом номер часового пояса назначается капитаном судна; он может не соответствовать теоретическому номеру часового пояса в районе плавания и должен быть всегда известен (записан в вахтенном и навигационном журналах). Судовое время есть время того часового пояса, по которому установлены часы на судне; его связь со всемирным временем через принятый номер часового пояса $№_c$ выражается формулой (восточный $№_c$ прибавляется, западный $№_c$ вычитается):

$$T_c = T_{гр} \pm №_c^{E}_{W}. \qquad (21)$$

При пересечении судном границы часового пояса по решению капитана судна часы могут быть переведены на время нового часового пояса; эта операция выполняется в период с 20 до 24 ч.

Судовое время имеет *календарную дату.* При вычислениях T_c или $T_{гр}$ на основе формулы (21) необходимо выполнить следующее. Если из меньшей величины надо вычесть большую, то к меньшему моменту времени надо добавить 24 ч и в итоге дату уменьшить на единицу; если при сложении результат получился больше 24 ч, то надо отбросить 24 ч и в итоге дату увеличить на единицу. Во всех прочих случаях сохраняется исходная календарная дата.

В повседневном обиходе стандартное время (декретное зимнее, декретное летнее) часто называют местным; его не следует отождествлять с меридианным (теоретическим местным) средним временем $T_м$, которое применяется только в астронавигации.

§ 8. Служба времени на малом судне

Информация об *эталонном среднем времени,* определяемом Государственной службой времени и частоты СССР, передается с помощью радиосигналов и по телевидению. Полные характеристики и программы передач сигналов эталонного времени ежегодно публикуются в бюллетене «Эталонные сигналы частоты и времени» (серия В), издаваемом Государственной комиссией единого времени и эталонных частот СССР. Для целей навигации на малом судне достаточно принимать *вещательные сигналы проверки времени,* предназначенные для синхронизации и проверки часов технического и бытового назначения.

Программа передачи вещательных сигналов проверки времени (рис. 29) включает группу из шести радиоимпульсов длительностью 0,1 с каждый с периодом следования 1 с; начало шестого импульса соответствует началу очередного часа: ...$^{ч}00^{м}00^{с}$. Сигналы проверки времени согласуются со шкалой эталонного времени Советского Союза с погрешностью, не превышающей 0,3 с при их приеме в районе европейской территории СССР и 0,5 с — в других районах страны; они передаются радиостанцией «Маяк», московское время передачи объявляется диктором.

Для измерения времени на малом судне могут быть применены специально выпускаемые морские часы, обычные электрон-

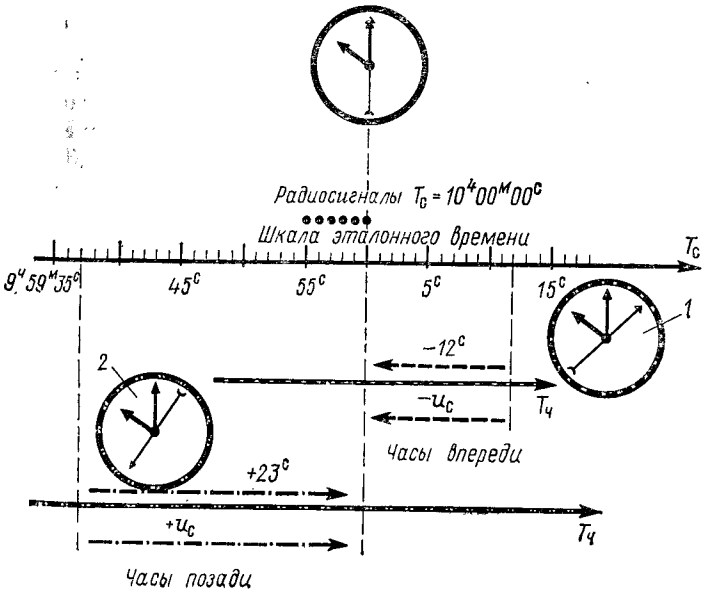


Рис. 29

ные, электронно-механические и механические наручные или карманные; для измерения интервалов времени применяются секундомеры. Наилучший результат дает применение электронных и электронно-механических часов, обладающих бо́льшим постоянством и меньшей величиной хода по сравнению с механическими часами.

Если время достаточно измерять с точностью до долей минуты, то часы непосредственно выставляют на верное время в момент приема радиосигнала времени (шестой точки), корректируя положение минутной стрелки. Если время необходимо измерять с точностью до секунды, то после тщательного согласования показаний секундной и минутной стрелок принимают радиосигналы времени и определяют поправку часов.

Поправкой измерителя времени называется значение интервала времени, которое необходимо придать к показанию измерителя времени, чтобы получить верное время по используемой шкале измерения. Например, если шестая точка радиосигнала соответствовала моменту $T_с = 10^ч\,00^м\,00^с$ по судовому времени (см. рис. 29), а часы *1* в момент приема радиосигнала показали время $T_ч = 10^ч\,00^м\,12^с$, то их поправка будет:

$$u_с = T_с - T_ч = -12 \text{ с}. \tag{22}$$

Знак поправки «минус» означает, что часы идут впереди верного судового времени. Если в этот же момент приема радиосигнала часы *2* показали момент $T_ч = 9^ч\,59^м37^с$, то их поправка равна $u_с = +23$ с и они идут позади верного времени.

Прием информации об эталонном времени посредством определения поправки часов составляет первую задачу штурмана по службе времени на судне. Зная поправку часов $u_с$ и номер часового пояса $№_с$, принятый для счета судового времени, легко получить всемирное время (необходимое при решении задач астронавигации):

$$T_{гр} = T_ч + u_с \mp №^E_{cW}. \tag{23}$$

Поправку часов можно непосредственно вычислить относительно всемирного времени, предварительно определив с помощью формулы (21) значение всемирного времени в момент подачи радиосигнала:

$$T_{гр} = T_с \mp №^E_{cW}$$

и затем

$$u = T_{гр} - T_ч. \tag{24}$$

Например, если в условиях рассмотренного на рис. 29 примера в качестве $T_с$ использовали московское летнее время, $№_с = 4^ч E$ и $T_{гр} = 10^ч - 4^ч = 6^ч$; $u_1 = 6^ч\,00^м\,00^с - 10^ч\,00^м\,12^с = -4^ч\,00^м\,12^с$ — для часов *1* и $u_2 = 6^ч\,00^м\,00^с - 9^ч\,59^м\,37^с = -3^ч\,59^м\,37^с$ — для часов *2*.

С течением времени поправка часов неизбежно изменяется. Качество часов определяется их способностью сохранять постоянной скорость изменения поправки в различных условиях эксплуатации. Скорость изменения поправки часов называется *ходом часов*; если величину хода оценить величиной изменения поправки часов за одни сутки, то получится *суточный ход* (с/сут):

$$\omega = \frac{u_n - u_{n-1}}{T_n - T_{n-1}}, \tag{25}$$

где u_n — поправка часов в последний момент приема радиосигнала времени T_n; u_{n-1} — поправка часов в предшествующий момент приема радиосигналов времени T_{n-1}; $T_n - T_{n-1}$ — интервал времени между приемами радиосигналов времени, выраженный в сутках и их долях; для сглаживания случайных колебаний хода часов интервал обычно берут равным от 5 до 10 сут. Например если пять суток назад поправка часов *1* была равна $u_{n-1} = -1$ с, то $\omega = -2{,}2$ с/сут; если десять суток назад поправка часов *2* была равна $u_{n-1} = -7$ с, то $\omega = +3$ с/сут. Знак хода «минус» говорит о том, что часы спешат, обгоняют равномерное течение эталонного времени. Знак хода «плюс» указывает на отставание часов.

Зная суточный ход, штурман может решить вторую задачу службы времени на судне: хранить информацию о верном времени в интервале между приемом радиосигналов проверки времени. В любой необходимый момент за последним приемом радиосигналов поправка часов будет:

$$u = u_n + \omega (T - T_n), \tag{26}$$

где T — момент, на который вычисляется поправка часов u.

Во время плавания не следует переставлять стрелки или регулировать ход тех часов, которые предназначены для хранения времени на судне. Эти часы следует хранить в наиболее благоприятных условиях: при температуре $20 \pm 5°$, вдали от магнитных полей, оберегая от воздействия тряски и влаги. Завод механических часов должен производиться утром до приема радиосигналов времени. Рекомендуется вести график поправок часов, что позволит судить о качестве их работы и постоянстве суточного хода.

Выпускаемые отечественной промышленностью часы имеют следующие технические характеристики:

Часы	ω, с/сут	Работа без смены батареи, год
«Слава» 2356 (кварцевые)	1	2
«Ракета-кварц»	2	2
«Электроника»	1	1
		Завод, сут
«Слава» (механические)	40	1
Морские палубные часы (рис. 30)	9	2
Морские часы 5-2ЧМ (рис. 31)	15	7

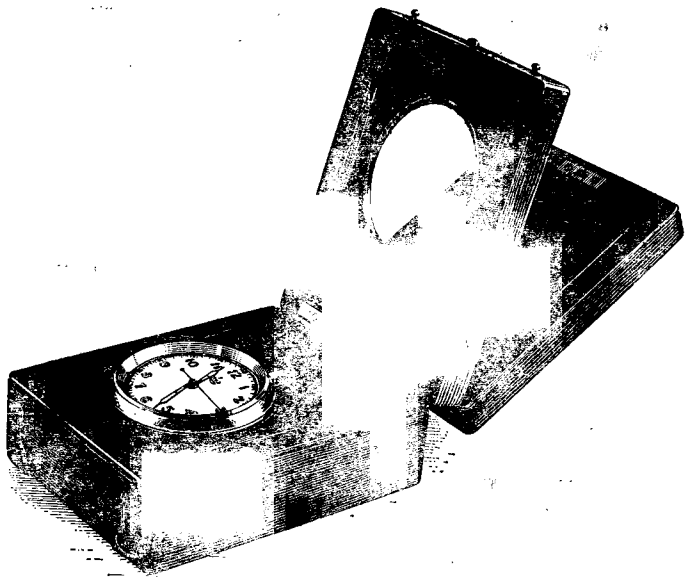


Рис. 30

Указанные значения ω являются средними и отнесены к температуре 20°; они могут изменяться при перемене условий работы часов. Ориентируясь на реально наблюдаемые значения ω, можно сделать вывод о необходимых сроках приема радиосигналов времени, обеспечивающих отмеченные выше требования к точности измерения времени на судне. Обычно радиосигналы времени принимают не реже одного раза в сутки.

Третьей задачей штурмана по службе времени на судне является передача (при необходимости) информации о верном времени от эталонных часов на рабочие часы, непосредственно используемые при наблюдениях или измерениях.

Сравнение показаний эталонных и рабочих часов называется *сличением*. Сличение равно разности показаний времени по эталонным часам $T_{э.ч}$ и по рабочим часам $T_ч$ в один и тот же момент:

$$Сл = T_{э.ч} - T_ч. \qquad (27)$$

Оно является поправкой к показаниям рабочих часов относительно эталонных. Операцию сличения выполняют два наблюдателя: первый подает команду «Ноль!» в намеченный момент $T_{э.ч}$, а второй регистрирует момент $T_ч$. Поправка рабочих часов относительно эталонного времени получается как алгебраическая сумма поправки эталонных часов и сличения:

$$u_с = u_{э.ч} + Сл \text{ или } u = (T_{гр} - T_{э.ч}) + Сл. \qquad (28)$$

Секундомеры дают погрешность показаний интервала времени до 30 мин в среднем от 1 с (I класс) до 1,6 с (III класс) и могут быть использованы при навигационных измерениях. Если секундомер пущен в ход при показании эталонных часов $T_{э.ч}$ и при наблюдениях зарегистрировано показание секундомера $T_{сек}$, то верное время будет

$$T_с = T_{э.ч} + u_с + T_{сек}$$

или (29)

$$T_{гр} = T_{э.ч} + u + T_{сек}.$$

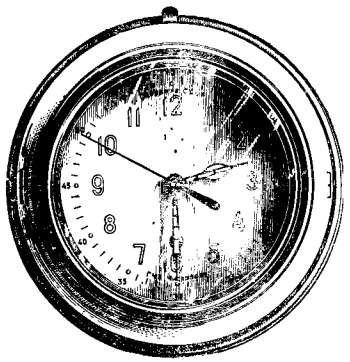


Рис 31

Точность показаний секундомера рекомендуется проверять ежемесячно по радиосигналам времени или сравнивая их показания с показаниями кварцевых и электронных часов.

Глава 3

АППАРАТУРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ СУДНА, ПРОЙДЕННОГО РАССТОЯНИЯ И ГЛУБИНЫ МОРЯ

§ 9. Измерение скорости судна и пройденного расстояния

Судно, движущееся по поверхности моря, перемещается как относительно воды под действием судовых движителей и ветра, так и относительно дна моря — вместе с водой под действием течения. Собственное движение судна относительно воды принято называть *относительным движением* со скоростью $\bar{V}_о$, его перемещение за счет движения среды называют *переносным движением* со скоростью $\bar{V}_п$, а результирующее движение относительно дна моря — *абсолютным движением* со скоростью $\bar{V} = \bar{V}_о + \bar{V}_п$ (рис. 32).

Навигационные приборы, предназначенные для измерения скорости судна и пройденного им расстояния, называются л а г а м и. Абсолютную скорость судна могут измерить а б с о л ю т н ы е л а г и, работа которых основана на измерении доплеровского сдвига частот сигналов, излученных с судна (доплеровские гидроакустические лаги), или на измерении ускорений движения

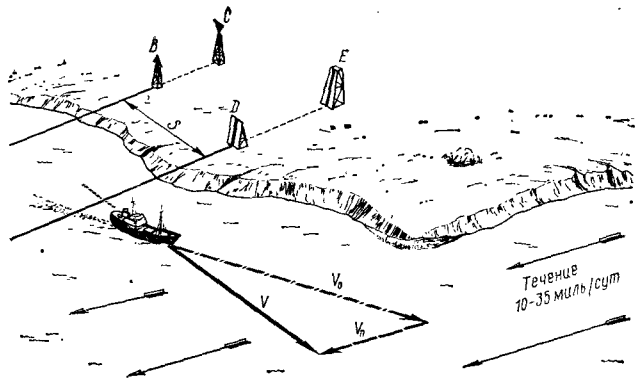


Рис. 32

судна (инерциальные навигационные системы). Переносную скорость судна можно измерить с помощью дрейфомеров и измерителей течений. На малых судах относительную скорость судна обычно измеряют с помощью относительных лагов: вертушечных электромеханических гидродинамических, индукционных. По найденной с помощью лага скорости и заданному интервалу времени плавания ΔT нетрудно вычислить пройденное расстояние: $S = V\,\Delta T$ — абсолютное или относительно воды, если использовали относительный лаг.

Стандартной единицей для измерения пройденного расстояния на море по международному соглашению принята *морская миля*, равная длине одной минуты дуги меридиана в широте около 45°: одна стандартная морская миля равна 1852,0 м.

Для измерения малых расстояний служит *кабельтов*, равный одной десятой доле морской мили: 1 кбт = 185,2 м.

Основной единицей для измерения скорости принят *узел* — скорость, при которой судно за 1 ч проходит одну милю. В метрических единицах 1 уз = 0,514 м/с.

Вертушечные лаги работают на принципе подсчета числа оборотов n опущенной за борт вертушки (с шагом винта m), что позволяет найти пройденное расстояние $S = mn$, а затем и скорость. Вертушечные лаги (например, типа ГОм.3) не отличаются надежностью и точностью, особенно на малых скоростях, и постепенно выходят из употребления.

Работа гидродинамических лагов основана на измерении скоростного напора встречного потока воды (рис. 33), для чего через днище *1* судна выставляется двухканальная приемная трубка *2*. Статический ее канал *3* открыт снизу; давление в нем $P_{ст}$ одинаково и на стоянке, и на ходу судна. Динамическая трубка *4* на ходу воспринимает дополнительно динамическое

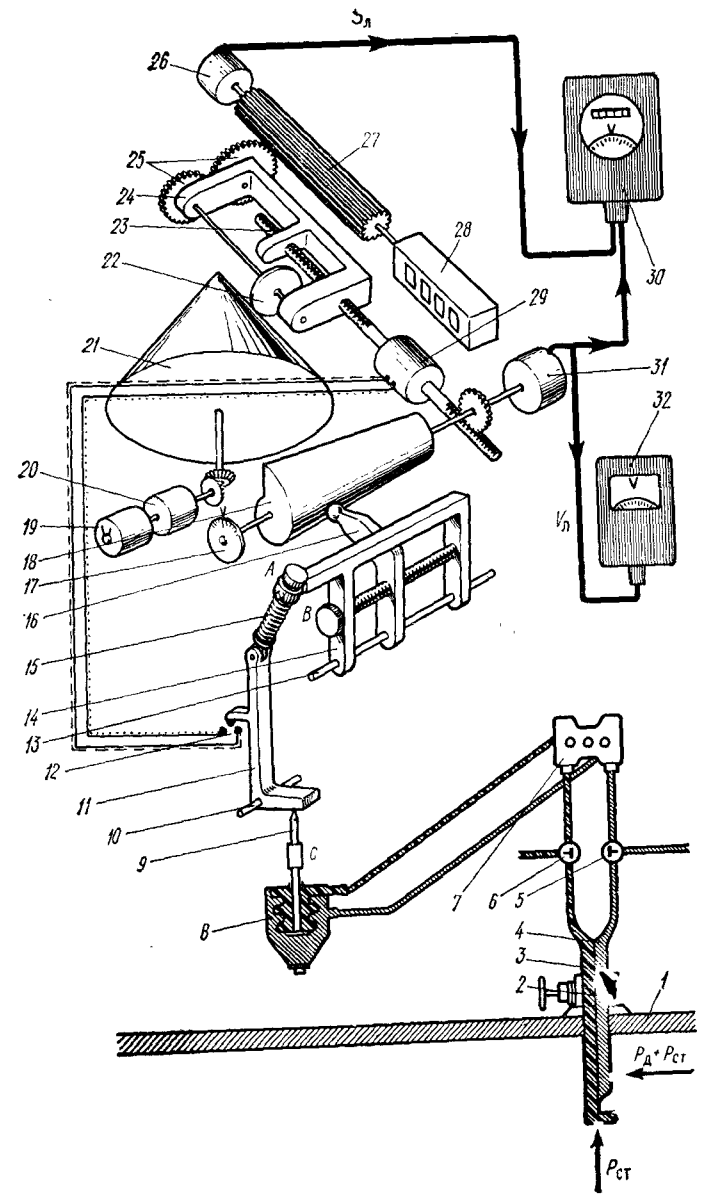


Рис. 33

давление $P_д$, так как ее отверстие обращено в нос; полное давление в ней будет $P_п = P_д + P_{ст}$.

В мембранном аппарате *8* выявляется давление $P_д = P_п - P_{ст}$, передающееся через шток *9*, который воздействует на пяту главного рычага *11*, разворачивающегося около оси *10*. Под влиянием $P_д$ рычаг *11* замыкает один из контактов *12* и включается двигатель узла скорости *29*; в результате поворачиваются каноид *18*, указатель скорости *17* и сельсин-датчик *31*, от последнего информация о скорости поступает на репитеры в ходовой *30* и штурманской *32* рубках.

При повороте каноида *18* через щуп *16* изменяется наклон каретки *14* вследствие ее поворота около оси *13*, что приводит к изменению воздействия пружины *15* на рычаг *11*. Последний приходит в исходное положение, контакт *12* размыкается и двигатель *29* останавливается. Теперь пружина *15* уравновешивает давление $P_д$ и диафрагма мембранного аппарата занимает начальное положение; каноид, указатель скорости, сельсин-датчик и каретка интегратора *24* занимают положение, соответствующее скорости судна.

Пройденное расстояние вырабатывается интегратором, конус которого *21* приводится во вращение двигателем времени *20*, имеющим регулятор *19*. Закрепленный на каретке ролик *22* занимает место на образующей конуса согласно скорости судна — в зависимости от положения каретки *24*, перемещаемой винтом *23*; в соответствии с этим посредством передачи *25*, *27* изменяется скорость вращения ролика и пропорционально ей вырабатывается информация о пройденном расстоянии $S_л$, транслируемая на счетчик *28*, сельсин-датчик *26* и репитер лага *30*. Работа лага корректируется регуляторами *A*, *B*, *C*.

В штевневых лагах давления $P_п$ и $P_{ст}$ подводятся к приемнику *7* через краны *5* и *6*; приемная трубка $P_п$ устанавливается на форштевне.

Гидродинамические лаги ЛГ-2 и МГЛ-25, широко используемые на отечественных судах, надежны и достаточно точны; их предельная погрешность составляет 0,5—1 % пройденного расстояния.

Работа индукционных лагов типа ИЭЛ-2 основана на измерении электродвижущей силы (ЭДС) как разности потенциалов на двух электродах, установленных под днищем судна. Эта ЭДС наводится встречным потоком морской воды, протекающим в магнитном поле, создаваемом специальным электромагнитом; она пропорциональна напряженности магнитного поля, базе между электродами и скорости потока воды. В результате измерения определяется скорость судна, а ее интегрирование дает пройденное расстояние. Пределы измерения скорости существующими индукционными лагами — от 0,5 до 50 уз; погрешность измерения скорости — около 0,1 уз. Их недостаток — ненадежная работа в пресной воде.

Приведем основные эксплуатационные характеристики лагов.

Характеристика	МГЛ-25м	ЛГ-2	ИЭЛ-2м
Диапазон измерения скорости, уз	3—25	2—25	0—34
Инструментальная погрешность измерения расстояния, не более, %:			
при скорости до 10 уз	5,2	3,8	0,2
при скорости более 10 уз	1	1	0,2
Время непрерывной работы, ч	2 000	10 000	50 000

Относительная скорость судна может быть определена путем подсчета числа оборотов его гребных винтов за одну минуту $N_о$; для этой цели служат тахометры. Соответствие между относительной скоростью $V_о$ и числом оборотов $N_о$ устанавливается в ходе специальных испытаний на мерной линии (см. § 10) и указывается в таблице. Если на судне имеется суммарный тахометр, подсчитывающий число оборотов нарастающим итогом $S_{об}$, то его можно использовать для расчета пройденного расстояния по разности двух последовательных показаний N_1 и N_2: $S_{об} = a(N_2 - N_1)$, где a — расстояние, проходимое судном относительно воды за один оборот винта, именуемое *авансом*. Аванс определяется по отношению полученных при испытаниях величин $V_о$ и $N_о$.

§ 10. Определение поправки лага и скорости судна на мерной линии. Расчет пройденного расстояния

Показанное лагом пройденное расстояние и скорость содержат инструментальные погрешности, которые устраняют посредством учета поправки лага. Показание счетчика пройденного расстояния лага в данный момент называется *отсчетом лага* (*ол*); при записи *ол* обычно не указывают тысячи и сотни миль, а результат округляют до десятых долей мили.

Для оценки пройденного судном расстояния в интервале времени между моментами T_1 и T_2 вначале находят разность соответствующих этим моментам отсчетов лага: $рол = ол_2 - ол_1$.

Поправки лага неодинакова при различных скоростях и определяется вначале на мерной линии, а затем контролируется в ходе плавания, согласно формуле:

$$\Delta л\,\% = \frac{S_о - рол}{рол}\,100 = \frac{V_о - V_л}{V_л}\,100, \qquad (30)$$

где $S_о$ — действительное расстояние, пройденное относительно воды, мили; $V_л$ — скорость по лагу.

Скорость по лагу $V_л$ должна определяться в этом случае с повышенной точностью: по секундомеру измеряют интервал

времени t^c между отсчетами лага $ол_2$ и $ол_1$, затем вычисляют

$$V_л = \frac{3600}{t}(ол_2 - ол_1)$$

Теперь относительное расстояние S_o, пройденное за какой-то интервал времени $T_2 - T_1$, вычислится по формулам:

$$S_o = рол + \frac{\Delta л\ \%}{100}\ рол \text{ или } S_0 = k_л\ рол, \qquad (31)$$

где $k_л = 1 + \frac{\Delta л\ \%}{100}$ — коэффициент лага. При положительной поправке лага ($рол < S_o$) коэффициент лага $k_л > 1$, при отрицательной $k_л < 1$.

Относительная скорость судна $V_o = k_л V_л$.

Мерной линией называется полигон для скоростных испытаний судов и выверки их лагов; схематически он изображен на рис. 32. Истинное расстояние S между параллельными секущими створами CB и ED обычно равно 2—3 милям, и его точное значение указывается в лоциях и на картах. Глубина в районе мерной линии должна быть не менее 16 м (при $V_o < 20$ уз). Испытания судна должны производиться при волнении моря не более 3 баллов. Влияние течения устраняют выполнением нескольких пробегов и обобщением их результатов. Время пробегов регистрируют по секундомерам, погрешность показаний которых при $t = 10$ мин не должна превышать 0,8 с.

При отсутствии мерной линии поправку лага можно определить с помощью радиолокатора, наблюдая свободно плавающий ориентир (спущенную с судна веху с пассивным радиолокационным отражателем). Удалившись от вехи на 4—5 миль, приводят ее на $КУ = 0°$ и развивают заданную скорость судна. Затем с помощью трех секундомеров и соответственно устанавливаемых подвижных кругов дальности (ПКД) на экране радиолокатора получают три расстояния $S_i = D_{i+1} - D_i$ для трех соответствующих им интервалов времени, а по замеченным при прохождении отметки вехи через ПКД отсчетам лага находят $рол_i$.

По полученным значениям S_i и $рол_i$ находят три поправки лага и вычисляют среднюю арифметическую поправку $\Delta л$. При этом способе течение не влияет на результат, так как снос вехи и снос судна одинаковы.

Влияние течения при работе на мерной линии исключается по результатам трех пробегов в каждом режиме движения:

$$V_л = \frac{V_1 + 2V_2 + V_3}{4};\ N_0 = \frac{N_1 + 2N_2 + N_3}{4};$$

$$\Delta л = \frac{\Delta л_1 + 2\Delta л_2 + \Delta л_3}{4}. \qquad (32)$$

По вычисленным из наблюдений $V_л$, N_o и $\Delta л$ строят графики их зависимости от скорости судна, что позволяет интерполировать их значения на любое значение скорости.

В плавании поправку лага проверяют по высокоточным обсервациям, расстояние между которыми S принимают за истинное. Но полученная таким путем поправка по формуле (30) является не поправкой прибора, а *поправкой плавания* ΔS в существовавших при выполнении обсерваций условиях (включая действие течения). Поэтому поправка плавания должна определяться применительно к конкретному месту и времени плавания, учитываться при ведении прокладки пути судна (см. гл. 4) и контроле за работой лага. Однако этот контроль не заменяет определения $\Delta л$ на мерной линии.

§ 11. Измерение глубины моря

Измерение глубины моря — необходимое условие безопасности мореплавания, поэтому наличие на транспортных, промысловых и экспедиционных судах эхолотов является обязательным требованием Регистра СССР.

Эхолотом называется навигационный прибор, измеряющий глубину посредством измерения времени распространения акустического сигнала от судна до дна моря и обратно.

Глубина моря (рис. 34) определяется как сумма глубины H моря под излучающей $И$ и принимающей $П$ антеннами эхолота и углубления этих антенн h_A от поверхности моря, всегда известного.

Скорость распространения звука в воде обычно изменяется в пределах $c = 1466 \div 1548$ м/с; на ее величину влияют глубина моря, температура и соленость воды. Появление в воде пузырьков воздуха (под влиянием ветра и волнения, движения судна с большой скоростью) может вызывать перебои в работе эхолота или погрешности в его показаниях.

Глубина под днищем судна находится по формуле

$$H_э = 0{,}5\sqrt{(ct)^2 - l^2} \qquad (33)$$

или, при малом расстоянии ($ИП = l$) между антеннами и на больших глубинах, $H_э = 0{,}5\,ct$ (t — интервал времени между посылкой импульса ультразвуковых колебаний и приемом отраженного дном импульса).

Если в качестве стандартной принять скорость звука $c_0 = 1500$ м/с, то погрешность в определении глубины за счет несоответствия фактической скорости звука этому значению не превысит 3,5 %. При глубинах менее 10 м погрешность за неучтенную величину базы l может достигать нескольких десятков сантиметров (фактическая глубина меньше).

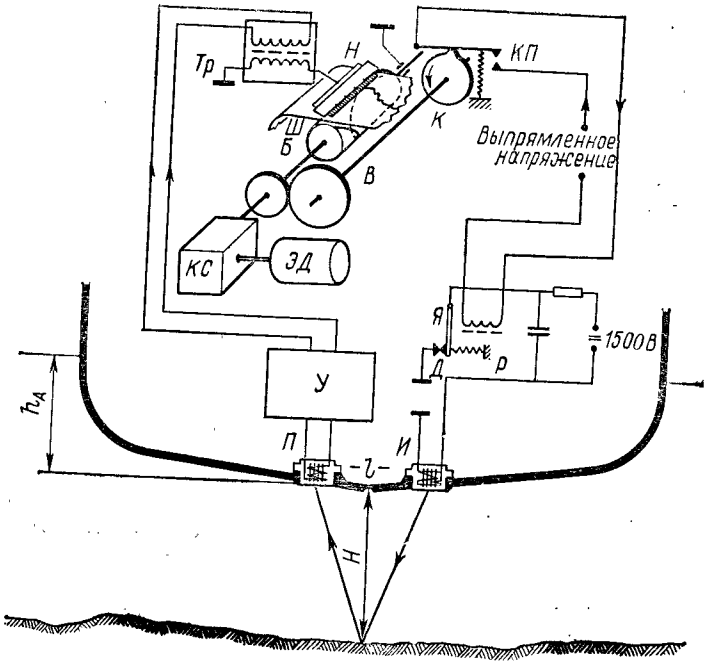


Рис. 34

Непосредственное измерение малых интервалов времени t затруднительно (при $H = 30$ м получается $t = 0{,}04$ с), поэтому в эхолотах мерой глубины является или угол поворота диска указателя глубин, или перемещение пера в самописце глубин. В последнее время получили распространение электронные цифровые указатели глубины.

Принцип работы эхолота типа НЭЛ при индикации глубины на самописце показан на рис. 34. Электродвигатель *ЭД* через коробку скоростей *КС* приводит во вращение с постоянной скоростью барабан *Б* и валики для перемотки специальной бумажной ленты. Через зубчатую передачу вращение передается на вал *В* с посылочным кулачком *К*. Кулачок *К* размыкает посылочные контакты *КП* при нулевом положении токопроводящего ножа *Н* на барабане *Б*. После этого якорь *Я* реле *Р* замыкает контакты *Д* и излучатель посылает импульс ультразвуковых колебаний.

Под воздействием принятого отраженного импульса в обмотке приемника *П* наводится переменное напряжение, поступающее в усилитель *У*, а оттуда — в первичную обмотку выходного трансформатора *Тр*. Напряжение из вторичной обмотки *Тр* подается на нож *Н* пишущей линейки. Так как барабан *Б* и вторичная обмотка *Тр* заземлены, то через нож, переместившийся за интервал времени t, пройдет ток, а на бумажной ленте появится отметка глубины в принятом на самописце масштабе записи. Для отсчета глубин служит шкала *Ш*. На ленте регистрируется рельеф дна по линии пути судна. При илистом грунте может наблюдаться двойная индикация (вторая — от твердого грунта под илом) или индикация только твердого грунта. Некоторые эхолоты имеют устройства «Тревога», сигнализирующие о выходе судна на заданную судоводителем ограждающую глубину.

Основные эксплуатационные характеристики эхолотов даны в табл. 5.

Таблица 5. **Технические данные эхолотов**

Тип эхолота	Диапазон измерения глубины, м	Поддиапазон, м	Погрешность измерения	Скорость, уз	Масса комплекта, кг
НЭЛ-М3А	0,2–200	0–20; 0–200	0,3 м при $H<20$ м; 1,5% при $H>20$ м	До 40	65
НЭЛ-М4	0,2–36	0–20; 16–36	0,1 м при $H<5$ м; 1,5% при $H>5$ м	До 25	52
НЭЛ-5	1–2000	0–100; 0–2000	2,5% при $H<200$ м; 2% при $H>200$ м	До 20	143
НЭЛ-7	0,8–500	0–100; 0–500	0,3 м при $H<25$ м; 1,5% при $H>25$ м	До 30	80
«Кубань»	0,2–20	0–20	0,15 м при $H<5$ м; 1,5% при $H>5$ м	До 19	42

Примечание. Для всех приведенных эхолотов типов НЭЛ используется магнитострикционная антенна, для типа «Кубань» — пьезокерамическая.

Главная задача судоводителя — управлять судном так, чтобы оно двигалось по выбранному оптимальному пути, обеспечивающему эффективное решение задач плавания и навигационную безопасность. Основой ее решения является *навигационная прокладка* — совокупность непрерывно выполняемых судоводителем действий по учету движения судна на основе получаемой им навигационной информации от компасов, лагов, эхолотов, от средств определения места судна относительно наземных и небесных ориентиров, из навигационных пособий и из личных наблюдений за обстоятельствами плавания.

В более узком смысле навигационная прокладка есть отображение на путевой карте места судна и линии его пути, основой которого является счисление — последовательный и непрерывный учет перемещения судна относительно начальной точки, положение которой на местности и на карте точно известно. Суть учета движения судна заключается в определении вектора его плавания $\boldsymbol{S}$ в течение заданного интервала времени t с учетом относительного и переносного движения судна (см. рис. 32). Информацию для ведения счисления получают с помощью компаса, лага, наблюдений за дрейфом судна под влиянием ветра и из навигационных пособий (сведения о течениях). Построение пути судна по этим данным выполняют на карте в

РАЗДЕЛ II

СУДОВЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ СЧИСЛЕНИЯ ПУТИ И ЕГО КОНТРОЛЯ

Глава 4

СЧИСЛЕНИЕ ПУТИ СУДНА И МЕТОДЫ ЕГО КОНТРОЛЯ

§ 12. Принципы счисления пути. Морские карты и навигационные пособия

прямой равноугольной цилиндрической проекции (проекции Меркатора), изображенной на рис. 35.

Меркаторская проекция удобна для моряков тем, что линия перемещения судна, идущего постоянным курсом, изображается на ней прямой линией (так как линии меридианов на карте параллельны). В действительности же географические меридианы сходятся к полюсу и при постоянном курсе судно идет по плавной кривой — *локсодромии* (от греч. loxos — косой, dromos — путь), но на карте неизменный курс удобнее видеть прямым. Полагая Землю шаром, можно считать, что кратчайшее расстояние между двумя точками *М* и *Б* на ее поверхности пролегает по дуге большого круга, образующейся при сечении поверхности шара плоскостью, проходящей через эти точки и центр Земли. Дуга *МБ* (см. рис. 2 и 35) определяет прямое направление и, следовательно, кратчайший геометрический путь из пункта *М* в пункт *Б*; она называется *ортодромией* (от греч. orthos — прямой, dromos — путь). Но на меркаторской карте ортодромия выглядит далеко не кратчайшим путем; она далека от прямой вследствии искажений, свойственных этой картографической проекции. Представление об этих искажениях можно получить по символическому изображению головы человека на шаре и на карте.

Для судоводителя удобно, чтобы измеренные им на местности углы (курсы, пеленги, курсовые углы и др.) изображались на карте равными им углами; это требование выполняется на карте Меркатора. Но единицы длины на разных участках меркаторской карты различны. Длина графического изображения одной дуговой минуты широты называется *меркаторской милей*; ее размер увеличивается с увеличением широты. Шкала широт на правой и левой рамках карты является одновременно шкалой для измерения расстояний в морских милях; при измерении расстояния надо пользоваться шкалой в том же диапазоне широт, в котором находится измеряемый отрезок. Долготы на карте всегда измеряют по нижней или верхней рамке в *экваториальных милях*, имеющих постоянную длину. Поэтому расстояние между двумя меридианами по параллели в широте φ, измеренное в меркаторских милях и называемое *отшествием* Δw, пересчитывается в разность долгот этих меридианов по формуле:

$$\Delta\lambda = \Delta w \sec \varphi. \qquad (34)$$

Морские карты подразделяются на навигационные, справочные и специальные. К навигационным картам относятся также карты внутренних водных путей, радионавигационные и промысловые. В зависимости от масштаба изображения, указывающего степень уменьшения реальных размеров участка Земли при составлении карты, различают:

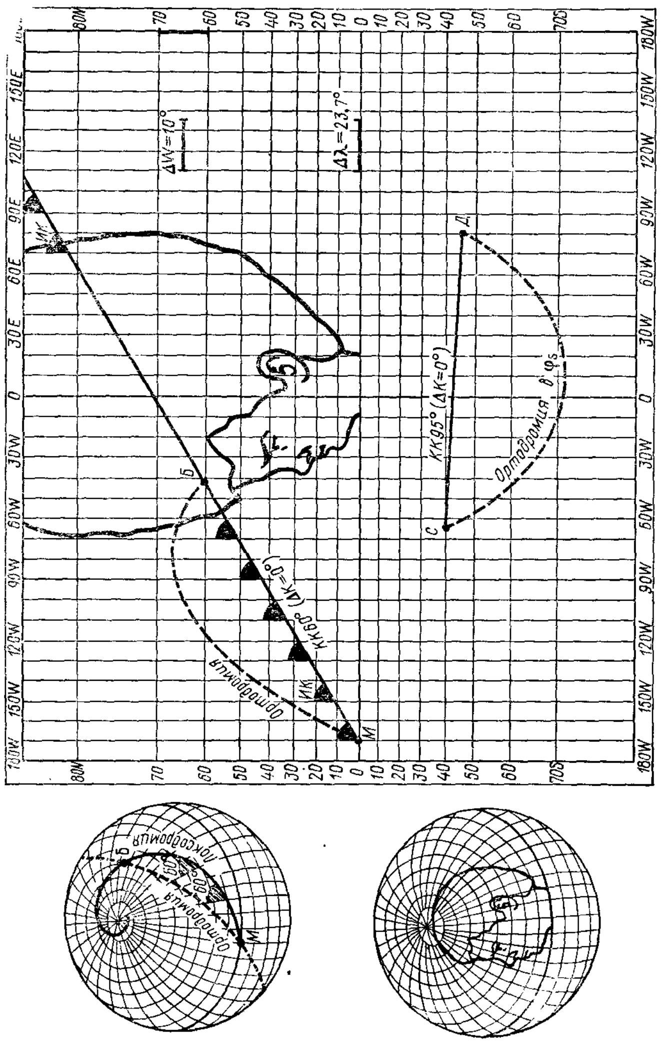


Рис. 35

генеральные карты (масштаб 1 : 1 000 000 — 1 : 5 000 000) — для общего ознакомления с районом и предварительных расчетов;

путевые карты (масштаб 1 : 500 000 — 1 : 100 000) — для судовождения в прибрежной зоне моря;

частные карты (масштаб — 1 : 50 000 — 1 : 25 000) — для судовождения в непосредственной близости от берега, в узкостях;

планы (масштаб 1 : 25 000 и крупнее) — для входа в порты и при движении судов по их акватории.

Всегда необходимо знать предельную точность масштаба той карты, на которой ведется прокладка, — предельно различимую длину отрезка на карте и соответствующее ей расстояние на местности. Принято считать предельно различимым отрезок длиной 0,2 мм (диаметр укола циркуля-измерителя); чтобы получить соответствующее расстояние на местности, следует в знаменателе масштаба отбросить справа четыре нуля (цифры) и получившееся число удвоить. Результат дает предельную точность масштаба в метрах; например, для путевой карты масштаба 1 : 200 000 получается: 20 × 2 = 40 м.

Спасательные средства комплектуют ш л ю п о ч н ы м и к а р т а м и масштаба 1 : 15 000 000 с обобщенной навигационной информацией.

Номер морской карты дает следующую информацию: первая цифра означает океан или его часть (например, 2 — северная часть Атлантического океана, 4 — Индийский океан, 6 — Тихий океан); вторая цифра — масштаб карты (например, 0 — 1 : 1 000 000 и мельче, 2 — 1 : 300 000 — 1 : 200 000, 8 и 9 — планы); третья цифры — район моря; четвертая и пятая цифры — порядковый номер карты в данном районе. Номера всех морских ненавигационных карт начинаются с цифры 9.

При работе с картой судоводитель выполняет следующие операции:

наносит место судна (или другую заданную точку) по его координатам $\varphi_{зад}$, $\lambda_{зад}$ с помощью циркуля и параллельной линейки (рис. 36, *а*);

определяет широту и долготу заданной точки (рис. 36, *б*);

прокладывает от заданной точки необходимые направления (линию курса, линию пеленга) с помощью транспортира и параллельной линейки или комплекта треугольников (рис. 36, *в*);

прокладывает или измеряет расстояния по заданному направлению с помощью циркуля (рис. 36, *г*).

В дополнение к картам судоводитель должен пользоваться руководством для плавания и пособиями: лоциями, расписаниями передач для мореплавателей, атласами течений и др.

Карты и пособия регулярно корректируют по «Извещениям мореплавателям», издаваемым органами Главного управления навигации и океанографии МО, и по передаваемым по радио нав-

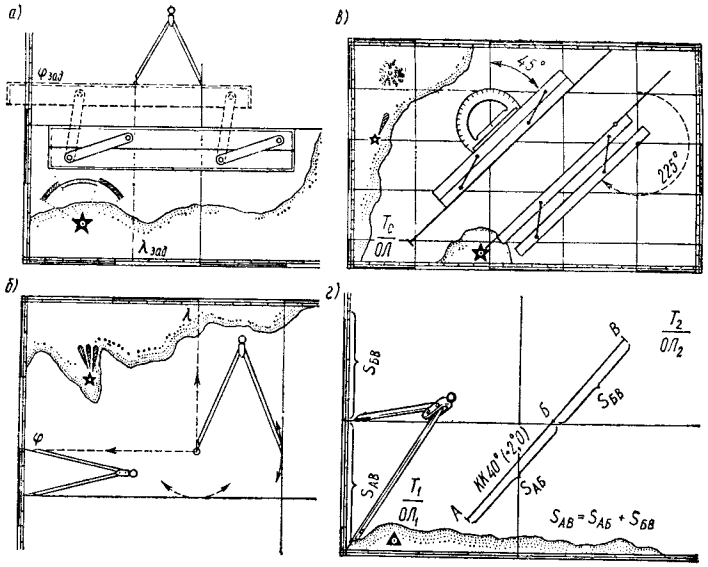


Рис. 36

более важным навигационным извещениям (НАВИМ) и предупреждениям (НАВИП).

Требования к точности судовождения, выработанные Международной морской организацией (ИМО) при ООН, предполагают:

— необходимость непрерывного определения места судна с погрешностью до 2 кбт (время обработки информации не более 0,5 мин) при подходах к порту или в стесненных водах;

— знание своего места с погрешностью не более 5 кбт в прибрежном плавании (при дискретности контроля счисления не реже 10 мин и времени обработки информации не более 1 мин);

— знание своего места с погрешностью до 4 миль (или 1 % расстояния до опасности) при плавании в океане; дискретность контроля — не реже 2 ч и время обработки навигационной информации — не более 15 мин.

Для выполнения перечисленных требований счисление должно вестись с максимально возможной точностью; чаще всего его ведут графически непосредственно на карте — вручную или с помощью автопрокладчика; вдали от опасностей при океанском плавании можно вести аналитическое счисление (см. § 13).

В простейшем случае, при отсутствии дрейфа и течения, на путевой карте от исходной точки, рядом с которой надписывают начальный момент счисления по судовому времени T_c (числитель) и соответствующий отсчет лага *ол* (знаменатель), прокладывают истинный курс судна (см. рис. 36, *в*, *г*). Требования к точности из-

мерения времени при ведении прокладки отмечены в гл. 2. Над линией *ИК* указывают величину компасного курса *КК* и в скобках — ΔK.

При необходимости найти счислимое место судна в некоторый другой момент T_2 при отсчете лага $ол_2$ пользуются формулой (31). Прокладка относительного расстояния S_o, принимаемого равным истинному S, показана на рис. 36, *г*.

Изменение размеров изображения морской мили на карте учитывается выбором места измерения $S_{АБ}$ и $S_{БВ}$ на боковой рамке.

Циркуль-измеритель, транспортир и параллельная линейка являются простейшими, но всегда необходимыми судоводителю навигационными инструментами. При ведении прокладки пользуются стандартными условными обозначениями.

Если необходимо узнать судовое время и отсчет лага в момент прихода в точку B из точки A, то измеряют расстояние $AB = S$ и по известной скорости $V_л$ вычисляют интервал времени движения $\Delta T = 60S/V_л$ и затем $T_2 = T_1 + \Delta T$. Для получения $ол_2$ вычисляют $рол_2 = S/k_л$ и $ол_2 = ол_1 + рол$.

Если на судно воздействует ветер (рис. 37), то оно перемещается под ветер со скоростью дрейфа $\bar{V}_{др}$; результирующий век-

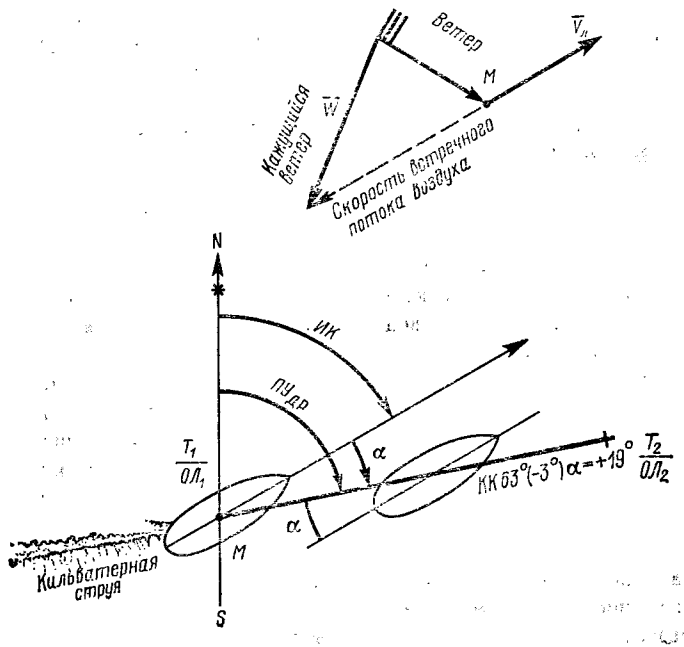


Рис. 37

тор скорости судна теперь получается $\bar{V} = \bar{V}_л + \bar{V}_{др}$, он и определяет направление линии пути судна при дрейфе. Диаметральная плоскость судна удерживается рулевым по направлению линии заданного курса *ИК*, поэтому между линией пути при дрейфе и линией истинного курса образуется *угол дрейфа* α. Если ветер дует в правый борт, то угол дрейфа отрицателен; если ветер дует в левый борт, то путевой угол больше истинного курса и угол дрейфа положителен. Путь при дрейфе $ПУ_{др}$ равен

$$ПУ_{др} = ИК + \alpha. \qquad (35)$$

Строго говоря, путевая скорость судна при дрейфе равна

$$V = V_л \sec \alpha. \qquad (36)$$

Если $\alpha < 5°$, то $\sec \alpha < 0{,}004$ и допустимо принимать $V = V_л$.

Чтобы заставить судно двигаться по намеченному пути, судоводитель должен «взять на ветер», т. е. вычислить *ИК* с учетом предполагаемого дрейфа по предыдущему накопленному опыту: $ИК = ПУ_{др} - \alpha$. Дрейфомеры еще не получили широкого распространения. Простейшим приближенным способом определения угла дрейфа является пеленгование кильватерной струи (ее наиболее удаленной части). Существуют различные способы определения дрейфа по наблюдениям береговых ориентиров. Накопленные сведения сводят в специальные таблицы углов дрейфа в зависимости от скорости и курсового угла кажущегося ветра $\bar{W}$ (его формирование пояснено на рис. 37 вверху) и от скорости судна.

На серийных судах имеются таблицы дрейфа, вычисленные по формуле С. И. Демина:

$$\operatorname{tg} \alpha = k_{др} \frac{W}{\bar{V}_л} \sqrt{S_{пл} \sin КУ_W} - 0.064.$$

где $k_{др}$ — коэффициент дрейфа, зависящий от размерений судна; W и $КУ_W$ — скорость и курсовой угол кажущегося ветра; $S_{пл}$ — отношение площадей надводной и подводной частей судна, спроектированных на его диаметральную плоскость.

Одна из наиболее сложных задач судоводителя, ошибочное решение которой ведет к аварии, — учет влияния течения на движение судна. Основной трудностью здесь является получение верной информации о скорости течения $V_т$ и его направлении $К_т$ («курсе течения»; говорят, что «ветер дует в компас», тогда как «течение вытекает из компаса»). Сравнительно хорошо изучены постоянные течения, и сведения о них даются на путевых картах; на картах и в пособиях имеются практически приемлемые сведения о приливо-отливных течениях. Но вызываемые ветрами переменные течения могут быть выявлены только самим судоводителем в ходе плавания. Участвуя вместе с потоком воды в

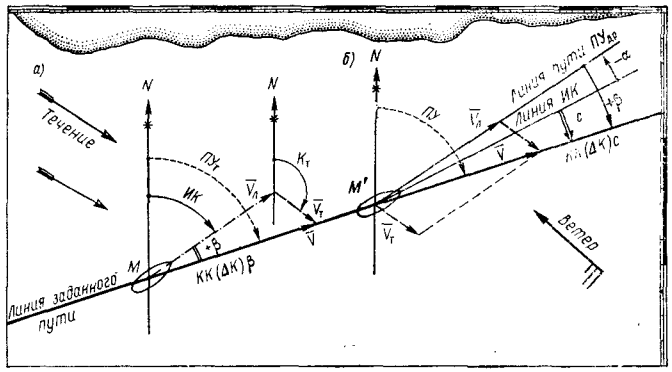


Рис. 38

переносном движении со скоростью $V_п = V_т$ (см. рис. 32) относительно грунта, судно будет перемещаться по результирующей линии пути, направление которой соответствует пути при сносе $ПУ_т$. Угол между линией пути при течении и линией истинного курса называется *углом сноса* β (рис. 38, *а*). Угол сноса измеряется от 0 до 180° в сторону правого борта — положительный, или в сторону левого борта — отрицательный.

Путь и путевая скорость при течении определяются построениями, показанными на рис. 38, *а*, при этом выполняются следующие операции:

по линии истинного курса прокладывается отрезок, равный относительной скорости $V_о = V_л$;

из конца вектора $\bar{V}_л$ строится линия направления течения $К_т$ и по ней прокладывается отрезок, равный $V_т$;

начальная точка *М* соединяется с концом вектора $\bar{V}_т$ и получается результирующий вектор путевой скорости $\bar{V}$, определяющий положение и направление линии пути судна на течении.

Путь судна на течении: $ПУ_т = ИК + \beta$.

При совместном воздействии на судно ветра и течения находят суммарный угол сноса:

$$c = \alpha + \beta. \qquad (37)$$

для чего сначала учитывают изложенным выше методом дрейф, а затем относительно линии пути при дрейфе находят линию пути при течении — она и будет результирующей (рис. 38, *б*).

В конечном итоге *путем судна* называют угол между северной частью истинного меридиана и линией пути судна, измеренный от 0 до 360° в сторону востока, а *абсолютной скоростью судна* — скорость его движения по линии пути.

Чтобы заставить судно двигаться по назначенному пути, выполняются построения, показанные на рис. 38, *б*: сначала учиты-

вают влияние течения и находят линию $ПУ_{др}$, затем учитывают угол дрейфа и находят $ИК = ПУ_{др} - \alpha$, после чего вычисляют $КК = ИК - \Delta К$. На карте указывают суммарный снос c.

Изложенная задача счисления пути судна может решаться и с применением электромеханических или электронных вычислительных средств, но во всех случаях точность и надежность результата определяется принятыми по решению судоводителя величинами $\Delta К$, α, $К_т$, $V_т$.

§ 13. Аналитическое счисление

Достоинствами графического счисления пути судна являются наглядность и простота, что снижает вероятность грубых ошибок. Однако в открытом море, когда используются генеральные карты, погрешности графических построений становятся весьма ощутимыми, особенно при частых изменениях курса (на промысле, при поисково спасательных операциях, при лавировке). В таких случаях применяют *аналитическое счисление* (раньше оно называлось «письменное») для расчета счислимых координат в зависимости от координат начальной точки и элементов движения судна. Аналитическое счисление подразделяют на простое, когда направление и скорость движения судна от начальной точки неизменны, и составное, когда плавание при переменных условиях разбивается на участки, в пределах каждого из которых условия практически неизменны и по участкам возможно простое счисление.

Основные формулы аналитического счисления выражают проекции плавания судна S на истинный меридиан N — разность широт $РШ$ счислимой $С$ и начальной $М$ точек, и на параллель — отшествие $ОТШ$ между теми же точками (рис. 39):

$$РШ = S \cos К; \quad ОТШ = S \sin К, \tag{38}$$

где $К$ — истинный курс судна; при учете дрейфа α в эти формулы вместо $К$ надо подставить путевой угол $ПУ_{др} = ИК + \alpha$.

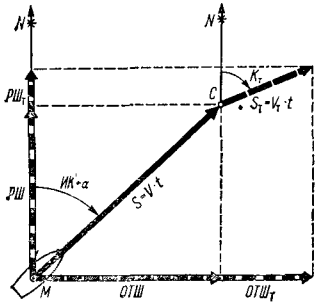


Рис. 39

Плавание S определяется по указателю пройденного расстояния лага с учетом его поправки или коэффициента или по скорости и времени счисления: $S = V_л t$.

Результаты расчетов по формулам (38) служат для вычисления средней широты $\varphi_{ср}$ и разности долгот $РД$ между счислимой и начальной точками:

$$\varphi_{ср} = \varphi_м + РШ/2, \quad РД = ОТШ/\cos \varphi_{ср}. \tag{39}$$

Искомые счислимые координаты $\varphi_с$, $\lambda_с$ выражаются через координаты начальной точки и их изменения (см. рис. 39) по следующим формулам:

$$\varphi_с = \varphi_м + РШ; \quad \lambda_с = \lambda_м + РД. \tag{40}$$

По формулам (38) рассчитана табл. 24 МТ-75[1], а по второй из формул (39) — табл. 25-а МТ-75, где имеются примеры применения этих таблиц. Однако вместо выборок из указанных таблиц с интерполяцией проще делать все вычисления по формулам (38)—(40) на любом микрокалькуляторе, имеющем клавиши тригонометрических функций. При этом надо учитывать, что формулы (38)—(40) алгебраические и все входящие в них величины имеют знаки: северные φ и $РШ$, восточные λ, $ОТШ$ и $РД$ — положительные, а южные φ и $РШ$, западные λ, $ОТШ$ и $РД$ — отрицательные. Заметим также, что в некоторых навигационных пособиях применяются иные обозначения тех же величин: $РШ = \Delta\varphi$, $ОТШ = w$ или Δw, $РД = \Delta\lambda$.

Действие течения учитывается при аналитическом счислении как дополнительное плавание по направлению течения $К_т$ с его скоростью $V_т$ (см. рис. 39):

$$РШ_т = V_т t \cos К_т; \quad ОТШ_т = V_т t \sin К_т. \tag{41}$$

Для составления программы простого счисления для ПЭМК с учетом дрейфа и течения формулы (38)—(41) объединяют, выражая счислимые координаты через время счисления t. Кроме того, так как счисление ведется по небольшим участкам, а точность его из-за погрешностей исходных данных относительно низкая, то с допустимой погрешностью во второй из формул (39) можно $\varphi_{ср}$ заменить на $\varphi_м$. С учетом этого алгоритм простого счисления описывают формулами:

$$\left.\begin{aligned} \varphi_с(t) &= \varphi_м + [V \cos(ИК + \alpha) + V_т \cos К_т]\, t; \\ \lambda_с(t) &= \lambda_м + \left[\frac{V \sin(ИК + \alpha)}{\cos \varphi_м} + \frac{V_т \sin К_т}{\cos \varphi_м}\right] t, \end{aligned}\right\} \tag{42}$$

где выражения в квадратных скобках — скорости изменения широты и долготы — постоянные для данного участка. В формулах (42) V и $V_т$ приводятся в узлах, t — в часах с десятичными долями, а вторые члены ($РШ$ и $ОТШ$) — в минутах дуги.

Пример. Из точки с координатами $\varphi_м = 46°\,15{,}5'\,N$, $\lambda_м = 30°\,52{,}0'\,E$ судно идет курсом $ИК = 142°$, дрейф $\alpha = +5°$, скорость $V = 12{,}5$ уз. Действует течение по направлению $К_т = 190°$ со скоростью $V_т = 1{,}5$ уз. Найти счислимые координаты через 1,5 и через 4 ч.

При исходных данных примера расчетные формулы (42) принимают вид: $\varphi_с(t) = 46°\,25{,}5' - 12{,}0t$; $\lambda_с(t) = 30°\,52{,}0' + 9{,}5t$.

[1] Мореходные таблицы (МТ-75). Главное управление навигации и океанографии МО, 1975.

Подставляя сюда поочередно $t = 1{,}5$ч и $t = 4$ч, получаем: $\varphi_c(1{,}5) = 45°\,57{,}5'N$, $\lambda_c(1{,}5) = 31°\,06{,}2'E$ и $\varphi_c(4) = 45°\,27{,}5'N$, $\lambda_c(4) = 31°\,29{,}9'E$.

Если составное аналитическое счисление ведут вручную, то вначале по формулам (38) или по таблицам находят *РШ* и *ОТШ* для каждого участка. Затем суммируют эти величины по всем участкам, прибавляя значения $РШ_т$ и $ОТШ_т$ от течения по формулам (41) за все время счисления, таким образом получают генеральные разность широт *ГРШ* и отшествие *ГОТШ*. Наконец, по формулам (39) и (40) вычисляют искомые счислимые координаты (при большой *ГРШ* замена $\varphi_{ср}$ на $\varphi_м$ недопустима).

Программируя составное счисление для ПЭМК, поступают иначе: подпрограмму вычислений по формулам (42) используют многократно — рассчитанные на конец участка координаты φ_c и λ_c принимают за начальные $\varphi_м$ и $\lambda_м$ для следующего за ним участка и для последующих при переходе с участка на участок вводят новые значения изменившихся элементов движения судна: *V*, *ИК*, α, $K_т$ и $V_т$.

Как отмечалось, аналитическое счисление позволяет существенно уменьшить погрешности графических построений на мелкомасштабных картах. Но при этом влияние погрешностей исходных данных остается таким же, как при графическом счислении.

При выполнении аналитического счисления на программируемом микрокалькуляторе ПЭМК Б3-34 рекомендуется следующий порядок действий:

1. Включить ПЭМК, перевести его в режим ввода программы [в/о] [F] [ПРГ] и убедиться, что верхний переключатель установлен на градусы *Г*.

Ввести программу из табл. 6, проверяя правильность ввода по коду.

Таблица 6. **Программа для аналитического счисления**

Шаг	Команда	Код	Шаг	Команда	Код	Шаг	Команда	Код	Шаг	Команда	Код
00	↑	0E	15	+	10	30	ИП5	65	45	47	47
01	6	06	16	×	12	31	F sin	1C	46	с/п	50
02	0	00	17	ИП0	60	32	ИП4	64	47	П8	48
03	÷	13	18	+	10	33	×	12	48	−	11
04	П9	49	19	П0	40	34	+	10	49	0	00
05	ИП2	62	20	с/п	50	35	ИП0	60	50	,	0−
06	ИП6	66	21	ПП	53	36	F cos	1Г	51	6	06
07	+	10	22	47	47	37	÷	13	52	×	12
08	F cos	1Г	23	с/п	50	38	ИП9	69	53	ИП8	68
09	ИП3	63	24	ИП2	62	39	×	12	54	+	10
10	×	12	25	ИП6	66	40	ИП1	61	55	в/о	52
11	ИП5	65	26	+	10	41	+	10			
12	F cos	1Г	27	F sin	1C	42	П1	41			
13	ИП4	64	28	ИП3	63	43	с/п	50			
14	×	12	29	×	12	44	ПП	53			

|F| |АВТ|

Таблица 7. **Ввод исходных данных и организация решения задачи аналитического счисления**

Аргументы действия	Адрес П	Прохождение информации (с решением примера)	
		исходной	итоговой
$\varphi_м$	0	$46°\,15{,}5'N = 46{,}2583°$	
$\lambda_м$	1	$30°\,52{,}0'E = 30{,}8667°$	
ИК	2	142°	
V	3	12,5 уз	
$V_т$	4	1,5 уз	
$K_т$	5	190°	
α	6	+5°	
t		1,5 ч	
[с/п]	0		$\varphi_c = 45{,}9593°$
$\overset{\circ}{\varphi}_c$ [с/п]			$\varphi_c = 45°\,57{,}6'N$
[с/п]	1		$\lambda_c = 31{,}1021°$
$\overset{\circ}{\lambda}_c$ [с/п]			$\lambda_c = 31°\,06{,}1'E$

3. Ввести исходную информацию в соответствии с табл. 7 (начальные координаты $\varphi_м$ и $\lambda_м$ при вводе представлять в градусах с десятичными долями по алгоритму: $a°$ [↑] a' [↑] 60 [÷ [+]).

4. Ввести время счисления *t*, т. е. время плавания из начальной точки (часы с десятичными долями), и запустить счет нажатием клавиш [в/о] и [с/п] — на индикаторе высвечивается счислимая широта φ_c (градусы с десятичными долями), набрать целое число градусов $\overset{\circ}{\varphi}_c$ и нажать клавишу [с/п] — на индикаторе — φ_c (градусы и минуты с десятичными долями). При следующем нажатии клавиши [с/п] на индикаторе высвечивается счислимая долгота λ_c (градусы с десятичными долями), ввести целое число градусов $\overset{\circ}{\lambda}_c$ и вновь нажать клавишу [с/п] — на индикаторе — λ_c (градусы с минутами и десятичными долями минуты).

5. Если условия плавания не изменяются, то для получения счислимых координат φ_c и λ_c на любой момент надо ввести только время счисления *t*, прошедшее после предыдущего решения этой задачи, так как при каждом решении полученные φ_c и λ_c принимаются за начальные $\varphi_м$ и $\lambda_м$ для дальнейшего счисления (ответ помещается в ячейки памяти 0 и 1), а затем повторить действия по п. 4.

6. При изменении условий плавания через время *t* после предыдущего решения задачи надо решить задачу для этого значения *t* (полученные φ_c и λ_c будут приняты программой за на-

чальные для счисления в изменившихся условиях), а затем повторить все действия, начиная с п. 3, кроме введения $\varphi_м$ и $\lambda_м$.

§ 14. Методы контроля счисления пути

Отмеченные в § 12 требования к точности судовождения нельзя удовлетворить одним счислением вследствие неточного знания поправок навигационных приборов, дрейфа и сноса. Поэтому счисление часто проверяют с помощью обсерваций — определения места судна относительно внешних наземных или небесных навигационных ориентиров, координаты которых точно известны. Необходимая частота (дискретность) обсерваций зависит от скорости нарастания ошибок счисления в данном районе плавания, а также от заданной точности плавания. Если допустимая средняя квадратическая ошибка определения места судна принята $M_д$ (ее вероятность равна 68 %), то при существующей скорости нарастания ошибки счисления, характеризуемой коэффициентом $K_с$ (определяется из опыта плавания в данных условиях), интервал времени $t_д$ между обсервациями должен быть:

$$\left.\begin{aligned} &\text{вблизи опасностей } t_д < \frac{1{,}4}{K_с}\sqrt{M_д^2 - M_о^2};\\ &\text{в открытом море } t_д < \frac{1}{K_с^2}\left(M_д^2 - M_о^2\right)\end{aligned}\right\} \qquad (43)$$

Процесс нарастания ошибок счисления происходит по закону:

$$\left.\begin{aligned} &\text{при времени плавания } t < 2\text{ч } M_с = 0{,}7K_с t;\\ &\text{при времени плавания } t > 2\text{ч } M_с = K_с\sqrt{t};\end{aligned}\right\} \qquad (44)$$

он хорошо виден на рис 40, где моменты обсерваций показаны знаком ⊙. Средняя квадратическая погрешность определения места судна обозначена $M_о$. Она зависит от способа обсервации. Хорошая штурманская практика предполагает применение в каждом случае наиболее точного способа обсервации из всех возможных, так как это не только гарантирует правильность определения текущего места судна, но и обеспечивает безопасное плавание в наибольший последующий интервал времени.

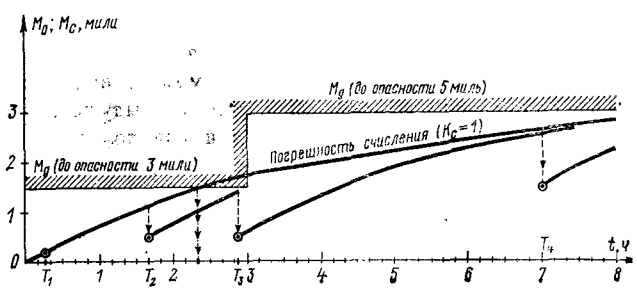


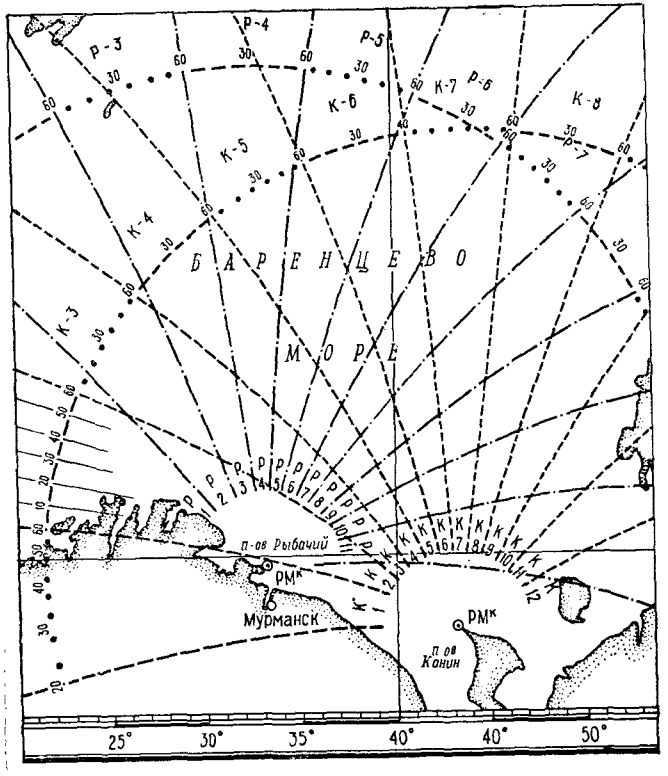
Рис. 40

Для обсервации необходимо измерить не менее двух навигационных параметров — физических величин, зависящих от положения судна относительно навигационных ориентиров. Обсервованному навигационному параметру на земной поверхности соответствует *навигационная изоляция* — геометрическое место точек с одним и тем же значением параметра.

На малых судах при плавании вдали от опасностей широко применяются обсервации по секторным радиомаякам (рис. 41), имеющим дальность действия до 1500 миль. Для приема их сигналов могут применяться корабельный индикатор КИ-55 или обычный радиоприемник (частота излучения 250—400 кГц). Место судна находят чаще всего на специальной радионавигационной карте типа РА, где нанесена сетка ортодромий, указывающих направления с радиомаяков на судно. Диаграмма направленности излучения секторного радиомаяка имеет много лепестков с чередующимися секторами точек и тире. В течение цикла передачи сигналов диаграмма направленности плавно поворачивается так, что равносигнальные зоны, разделяющие секторы, занимают соседнее положение. Судоводитель вначале по приближенно известному счислимому месту устанавливает сектор, в котором находится судно; затем подсчитывает число сигналов, принимаемых в данном секторе до прохождения равносигнальной зоны; по указанному на карте числу точек (или тире) в районе счислимого места карандашом наносит обсервованный отрезок изолинии. Аналогично наносится на карту изолиния, полученная по сигналам второго маяка.

Так как в интервале времени между измерениями первого и второго параметров судно перемещалось по направлению линии пути *ПУ* с путевой скоростью *V*, первую изолинию приводят к месту наблюдений второй. Для этого от любой точки первой изолинии прокладывают линию пути и на ней — расстояние $S = Vt$, где t — интервал времени измерений. В точке пересечения первой приведенной изолинии *1′ — 1′* и второй изолинии *2 — 2* получается обсервованное место $M(\varphi_о; \lambda_о)$ на момент измерения второго параметра. Таков прямой графический метод обсервации по двум ортодромиям — изолиниям пеленгов с радиомаяков на судно (ориентирных углов).

При измерении пеленга с судна на ориентир изолинией является *изоазимута* $P_п — M — PM^к$, показанная на рис. 42, *а*. Если ориентир пеленговали визуально в пределах видимого с судна морского горизонта, то изоазимута может быть принята совпадающей с прямой линией, проходящей через ориентир под углом *ИП*. Непосредственная прокладка на путевой



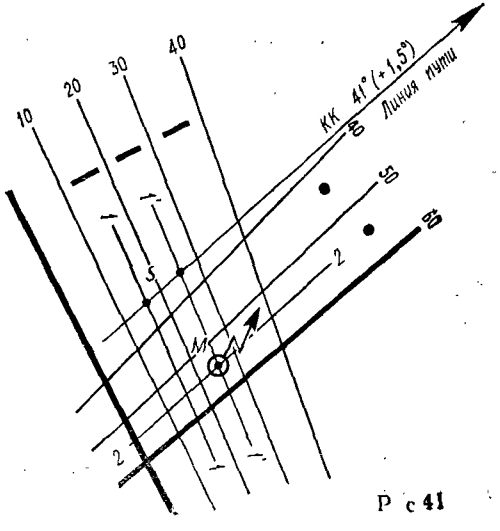


Рис 41

карте двух таких пеленгов дает обсервованное место *М*, полученное также прямым графическим методом (рис. 42, *б*). Два пеленга можно измерить по одному и тому же ориентиру, если судно движется так, что направление на ориентир быстро изменяется и угол пересечения полученных пеленгов будет не менее 30—40°, а погрешности счисления за интервал времени *t* между измерениями пеленгов будут несущественны. В последнем способе (называемом «крюйс-пеленг») приведение первого пеленга к месту вторых наблюдений выполняется так же, как на рис. 41.

Если перемещение судна в интервале между изменениями параметров изолиний существенно, то приведение их значений (или самих изолиний) к одному месту наблюдений обязательно. Обсервация устраняет ошибку счисления, существовавшую на момент измерения первого навигационного параметра.

При измерении расстояния *Д* до ориентира σ линией равных расстояний является *изостадия*. При измерении малых расстояний изостадия вычерчивается на путевой карте от ориентира радиусом, равным обсервованному расстоянию (см. рис. 47). При больших расстояниях изостадия — малый круг на поверхности земного шара, именуемый в морской астронавигации *кругом равных зенитных расстояний* $z = Д$, или *кругом равных высот* (см. гл. 6). Центром круга равных высот является географическое место светила (полюс его освещения σ — точка, в которой светило σ′ видно над головой), как это ясно из рис. 43. Обсервации по изостадиям выполняются в принципе тем же путем, что и по наблюденным направлениям на ориентиры.

При машинном решении от изложенного выше прямого метода, удобного лишь в графическом варианте при работе на карте, переходят к обобщенному методу линий положения (разработан в 1920 г. проф. В. В. Каврайским). *Линией положения* называется отрезок прямой, которым заменен ограниченный по длине отрезок изолинии вблизи счислимого места судна (см. рис. 43). Малая кривизна изолиний, особенно при наблюдениях ориентиров на больших расстояниях,

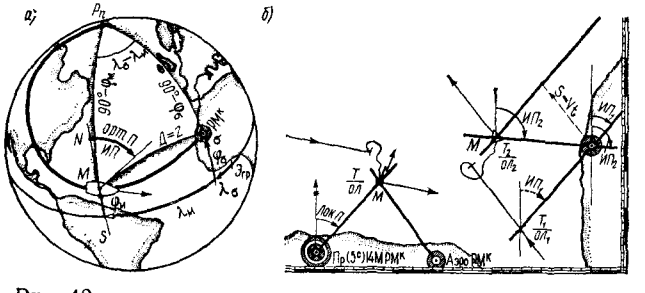


Рис. 42

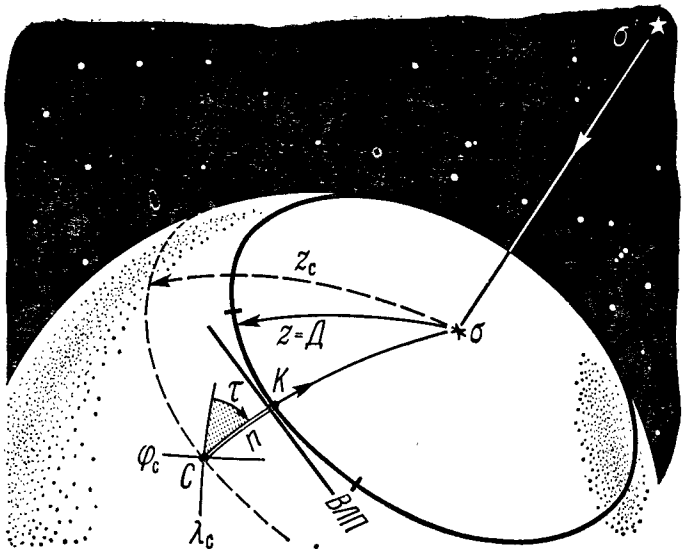


Рис. 43

позволяет пренебречь погрешностями от такой замены или уменьшить их до пренебрежимо малой величины путем последовательного повторения решения: первым приближением является счислимое место, полученное исходя из него обсервованное место вновь принимается за счислимое и так до тех пор, пока разница двух последних решений не станет несущественной для навигации.

В морской астронавигации, например, отрезок круга равных высот заменяют касательной к нему и называют *высотной линией положения* (ВЛП). Кратчайшее расстояние от счислимого места C до линии положения называют *переносом* n. Проложенный по направлению нормали к изолинии, определяемому углом τ, перенос указывает положение точки K — определяющей точки линии положения.

Угол τ называют *направлением градиента* линии положения $\bar{g}$ в счислимом месте C; он указывает направление наибольшего изменения параметра при перемещении судна на местности. Например, при перемещении по линии пеленга светила $C\sigma$ его высота изменяется максимально. Здесь τ_h равно ИП светила в точке C. Перенос в общем случае находится по формуле

$$n = \frac{u - u_c}{g}, \qquad (45)$$

где g — модуль градиента линии положения, представляющий собой величину, связывающую перемещение на местности n с соответствующим ему изменением навигационного параметра $u - u_c$.

Например, при движении по линии $C\sigma$ на ориентир σ перемещение на местности CK равно изменению расстояния от z_c до z; это означает, что модуль расстояния и изостадии равен $g_Д = 1$. Для других навигационных параметров и их изолиний он может быть и больше и меньше единицы; чем меньше g, тем ниже точность линии положения при прочих равных условиях.

Сведения о g и τ для основных изолиний помещены в табл. 8. Величины n и τ называют *элементами линии положения*.

Если измерены какие-либо два навигационных параметра u_1 и u_2, то для счислимой точки C можно вычислить счислимые значения этих же параметров u_{c1} и u_{c2}. Такие вычисления выполняют, решая сферический треугольник $P_nM\sigma$ (см. рис. 42), который называют *навигационным*. Для вычисления расстояния z_c служит формула

$$\cos z_c = \sin \varphi_c \sin \varphi_\sigma + \cos \varphi_c \cos \varphi_\sigma \cos (\lambda_\sigma - \lambda_c); \qquad (46)$$

Таблица 8. **Модули и направления градиентов основных навигационных параметров**

Параметр	Модуль g и направление τ	Примечание
Пеленг на ориентир (на плоскости) $ИП$	$g_п = \frac{57,3}{Д}$ °/милю; $\tau_п = ИП - 90°$	При $Д < 300$ миль. Влево от линии пеленга
Пеленг на ориентир (на шаре) $ИП$ (A)	$g_A^2 = \mathrm{tg}^2 \varphi + \mathrm{ctg}^2 Д - 2 \,\mathrm{tg}\, \varphi \,\mathrm{ctg}\, Д \cos A$; $l = \mathrm{arctg}\,(\sin \varphi \,\mathrm{tg}\, t)$; $\tau_A = A + l \pm 90°$	
Ориентирный угол: на плоскости Q	$g_Q = \frac{57,3}{Д}$ °/милю; $\tau_Q = Q + 90°$	При $Д < 300$ миль. Влево от направления на ориентир
на шаре	$g_Q = \frac{1}{60 \sin Д}$ °/милю	
Расстояние $Д$ (z)	$g_Д = 1$; $\tau_Д = ИП \pm 180°$	От ориентира
Высота светила	$g_h = 1$; $\tau_h = ИП \pm 90$	К светилу
Разность расстояний $\Delta Д = Д_2 - Д_1$ (при $ИП_1 > ИП_1$)	$g_{\Delta Д} = 2 \sin \frac{ИП_2 - ИП_1}{2}$; $\tau_{\Delta Д} = \frac{ИП_1 + ИП_2}{2} - 90°$	По перпендикуляру к среднему пеленгу в сторону возрастания разности расстояний

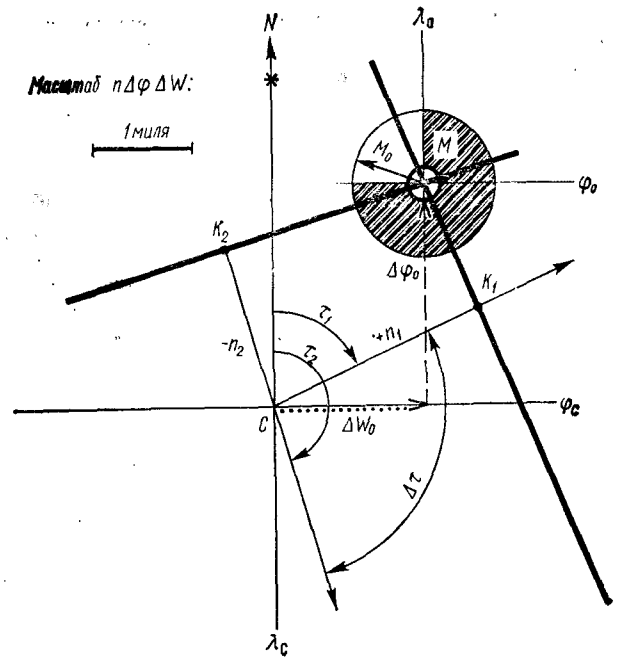


Рис. 44

пеленг ориентира из счислимой точки $C(\varphi_c, \lambda_c)$ находится по формуле

$$\operatorname{ctg} \Pi\Pi_c = -\cos\varphi_c \operatorname{tg}\varphi_\sigma \operatorname{cosec}(\lambda_\sigma - \lambda_c) + \sin\varphi_c \operatorname{ctg}(\lambda_\sigma - \lambda_c), \quad (47)$$

где φ_σ, λ_σ — координаты ориентира.

Приняв земную поверхность в районе счислимого места плоской, а само счислимое место C — за начало прямоугольной системы координат (рис. 44) и вычислив по (45) элементы линий положения n_1, τ_1 и n_2, τ_2, можно проложить линии положения на листе бумаги и найти поправки к счислимым координатам $\Delta\varphi_0$ и $\Delta\lambda_0$ для получения координат обсервованного места:

$$\varphi_0 = \varphi_c + \Delta\varphi_0; \quad \lambda_0 = \lambda_c + \Delta w_0 \sec\varphi_m. \quad (48)$$

Так как при построениях по обеим осям пользовались одним и тем же масштабом (например, принимали 1 миля = 1 см), то при расчете обсервованной долготы отшествие между счислимым и обсервованным местом Δw_0 пересчитали в разность долгот по формуле (34).

Показанное на рисунке решение можно выполнить аналитически, записав уравнения линий положения в нормальном виде:

$$\left.\begin{aligned} \cos\tau_1\Delta\varphi + \sin\tau_1\Delta w &= n_1; \\ \cos\tau_2\Delta\varphi + \sin\tau_2\Delta w &= n_2. \end{aligned}\right\} \quad (49)$$

Решение этой системы уравнений дает искомые:

$$\Delta\varphi_0 = (n_1 \sin\tau_2 - n_2 \sin\tau_1) \operatorname{cosec}(\tau_2 - \tau_1); \quad (50)$$

$$\Delta w_0 = (n_2 \cos\tau_1 - n_1 \cos\tau_2) \operatorname{cosec}(\tau_2 - \tau_1). \quad (51)$$

Здесь τ отсчитывается как истинный пеленг и первым будет тот ориентир, у которого τ имеет меньшее значение; тогда $+\Delta\varphi_0$ означает северную разность широт и $+\Delta\lambda_0$ — восточную разность долгот в формулах (48). Величина $\varphi_m = \varphi_c$ при $\varphi < 60°$; иначе $\varphi_m = 0{,}5(\varphi_c + \varphi_0)$.

Таблица 9. **Статистическая оценка средних квадратических погрешностей навигационных измерений**

Навигационный параметр	Погрешности: случайная $m_{сл}$	Погрешности: повторяющаяся m_1	Погрешности: полная m	$\rho = \frac{1}{1+k}$	$k = \frac{m^2_{сл}}{m^2_0}$
Визуальный пеленг:					
по гирокомпасу	0,4–0,6°	0,5–1,6°	0,6–1,7°	0,7	0,42
по магнитному компасу	0,4–1,2°	0,8–1,5°	0,9–1,9°	0,7	0,42
Радиопеленг					
днем	0,7–1,2°	0,4–1,6°	0,8–2,0°	0,2–0,6	4–0,7
ночью	0,7–3,1°		0,8–3,5°	0	9
Пеленг по секторному радиомаяку:					
днем			1–2 сигн.	0	9
ночью			2–5 сигн.		
Пеленг по РЛС	0,6–1,2°	0,4–1,6°	0,8–2,0°	0,5	1
Расстояние по РЛС:					
до точки	0,5–1%	0,02 мили	0,6–1%	0	9
до берега	0,5–3%		0,6–3%	0	9
Разность расстояний по РНС:					
импульсной	1–1,5 мкс	0–2 мкс	1,5–2,5 мкс	0,5	1
импульсно-фазовой	2,5–10 мкс (пространственный сигнал)		3–10 мкс	0	9
Разность расстояний по фазовой РНС:					
днем	0,05 фазового цикла	0,02	0,05 фазового цикла	0,3	2,3
ночью	0,1 фазового цикла		0,1 фазового цикла	0,5	1
Высота светила, измеренная секстаном:					
с наклономером	0,4–1,4 мили	0,2–0,8	0,6–1,7	0,4	1,5
без наклономера		0,5–1,0		0,6	0,5

Применение ЭКВМ позволяет судоводителю использовать навигационную информацию значительно большего содержания, чем при обычной работе на карте. Это особенно важно при совместной обработке измерений нескольких разнородных навигационных параметров (например, астронавигационных и радионавигационных), полученных с различной точностью, и поэтому имеющих разную значимость («вес»).

Стандартные значения случайных и повторяющихся погрешностей навигационных измерений приведены в табл. 9. Они выведены из многолетнего опыта, и их учет важен для повышения качества обсерваций. Кроме того, при машинном решении всегда можно получить априорную оценку точности обсервации, и на ее основе прогнозировать навигационную безопасность дальнейшего плавания.

Оптимальное решение задачи математической обработки группы взаимозависимых измерений навигационных параметров (с учетом априорных характеристик точности и корреляции исходных данных), основанное на принципе «максимума правдоподобия», было дано в 1965 г. проф. В. Т. Кондрашихиным. Предложенный им метод наименьшей квадратичной формы реализован в навигационном комплексе «Бриз» и специализированной ЭКВМ типа «Контакт».

Применительно к наиболее часто встречающимся обсервациям по нескольким высотным линиям положения алгоритм метода наименьшей квадратичной формы имеет вид:

$$\Delta\varphi_0 = \frac{1}{Д}(B_2L_1 - B_1L_2);$$

$$\Delta w_0 = \frac{1}{D}(A_1L_2 - A_2L_1);$$

$$Д = A_1B_2 - A_2^2; \qquad (52)$$

$$M_0 = m_{сл}\sqrt{(N+k)\frac{A_1+B_2}{Д}},$$

где коэффициенты имеют значения:

$$A_1 = (N+k)\sum a_i^2 - \left(\sum a_i\right)^2;$$

$$A_2 = B_1 = (N+k)\sum a_ib_i - \left(\sum a_i\right)\left(\sum b_i\right);$$

$$B_2 = (N+k)\sum b_i^2 - \left(\sum b_i\right)^2;$$

$$L_1 = (N+k)\sum a_in_i - \left(\sum a_i\right)\left(\sum n_i\right);$$

$$L_2 = (N+k)\sum b_in_i - \left(\sum b_i\right)\left(\sum n_i\right);$$

$a = \cos A_0$, $b = \sin A_0$, $n = h - h_c$, N — число ВЛП. Коэффициент $k = 0{,}5-1{,}5$ в зависимости от условий плавания (см. табл. 9).

При вычислениях на ПЭМК «Электроника» Б3-34 программа вводится из табл. 10 (правила ввода см. в приложении I); организация вычислений и ввод исходных данных выполняются согласно табл. 11. После ввода корреляционного фактора $N + k$ по адресу [П] [Д] и суммы всех переносов $\sum n_i$ по адресу [П] [С] последовательно вводят $\cos A_i$, $\sin A_i$, n_i для каждой ВЛП (пуская ПЭМК в ход после ввода каждой ВЛП клавишами [в/о] [с/п]). Затем вводят φ_c по адресу [П] [5], величину $m_{сл}$ из табл. 9 — по адресу [П] [6] и клавишей [с/п] пускают ПЭМК на счет. В итоге по адресу [ИП] [2] находится $\Delta\varphi_0$, по адресу [ИП] [3] — $\Delta\lambda_0$. Для вычисления средней квадратической погрешности обсервации M_0 последовательно нажимают клавиши: [ИП] [8] [ИП] [В] [+] [ИП] [4] [:] [ИП] [Д] [×] [F] [√] [ИП] [6] [×] и читают M_0 на табло.

Этим же путем может быть решена задача определения места по двум ВЛП, если принято $k \neq 0$.

Используя ПЭМК и данные табл. 9, можно вычислить *круговую ошибку* обсервованного места по любым двум линиям поло-

Таблица 10. **Программа вычисления обсервованных координат по нескольким равноточным линиям положения**

Шаг	Команда	Код	Шаг	Команда	Код	Шаг	Команда	Код
00	ИПА	6–	33	ИПД	6Г	66	ПВ	4L
01	Fx²	22	34	×	12	67	с/п	50
02	ИПО	60	35	ИПВ	6L	68	ИП8	6L
03	+	10	36	ИП4	64	69	ИП8	68
04	П0	40	37	+	10	70	×	12
05	ИПД	6Г	38	П4	44	71	ИПА	6–
06	×	12	39	ИПС	6С	72	Fx²	22
07	ИПА	6–	40	×	12	73	–	11
08	ИП1	61	41	–	11	74	П4	44
09	+	10	42	П9	49	75	ИП8	68
10	П1	41	43	ИПА	6–	76	ИП9	69
11	Fx²	22	44	ИП3	6L	77	×	12
12	–	11	45	×	12	78	ИПА	6–
13	П8	48	46	ИП3	63	79	ИП7	67
14	ИПА	6–	47	+	10	80	×	12
15	ИП9	69	48	П3	43	81	–	11
16	×	12	49	ИПД	6Г	82	ИП4	64
17	ИП2	62	50	×	12	83	:	13
18	+	10	51	ИП1	61	84	ИП5	65
19	П2	42	52	ИП4	64	85	:	13
20	ИПД	6Г	53	×	12	86	П3	43
21	×	12	54	–	11	87	ИПВ	6L
22	ИП1	61	55	ПА	4–	88	ИП7	67
23	ИПС	6С	56	ИПВ	6L	89	×	12
24	×	12	57	Fx²	22	90	ИПА	6–
25	–	11	58	ПП6	66	91	ИП9	69
26	П7	47	59	+	10	92	×	12
27	ИПВ	6L	60	П6	46	93	–	11
28	ИП9	69	61	ИПД	6Г	94	ИП4	64
29	×	12	62	×	12	95	:	13
30	ИП5	65	63	ИП4	64	96	П2	42
31	+	10	64	Fx²	22	97	с/п	50
32	П5	45	65	–	11			
							[F] [АВГ]	

Таблица 11. **Ввод исходных данных и организация решения задачи определения места судна по нескольким равноточным линиям положения**

Аргументы, константы	Адрес П	Прохождение информации (с решением примера)		
		исходной	промежуточной	итоговой
	0			
	1			
	2			$\Delta\varphi_0 = -3{,}5$
	3			$\Delta\lambda_0 = -6.3$
	4			
	5			$\cos\varphi_c = 0{,}6793$
	6			$m_{сл} = 0{,}8'$
	7		$L_1 = -28{,}199$	
	8		$A_1 = 11{,}336$	
n	9		$L_2 = -17{,}378$	
$\cos ИП$	А		$A_2 = B_1 = -2{,}651$	
$\sin ИП$	В		$B_2 = 6{,}204$	
Σn_i	С	+12,9		
$N + k$	Д	4.56		

Пример. Счислимое место имеет координаты: $\varphi_c = 47°\ 12{,}5'N$; $\lambda_c = 13°05{,}5'W$.

Вычисленные элементы линий положения:

№	Перенос	*ИП* (азимут)
1	+2,0′	139,5°
2	+6,2	186,2
3	+5,8	278,0
4	−1,1	0,0

Оценка точности по опыту плавания:

$$m_{сл} = 0{,}75'; \quad m_0 = 1{,}0 \text{ (см. табл. 9.)}; \quad k = \frac{m^2_{сл}}{m^2_0} = 0{,}56.$$

Результат: $\varphi_0 = 49°\ 09{,}0'N$; $\lambda_0 = 13°\ 11{,}8'W$; $M_0 = 0{,}9$ мили.

жения — среднюю квадратическую величину возможных ошибок обсервации независимо от направления их действия:

$$M_0 = \frac{1}{\sin\Delta\tau}\sqrt{\left(\frac{m_1}{g_1}\right)^2 + \left(\frac{m_2}{g_2}\right)^2 - 2\rho\frac{m_1 m_2}{g_1 g_2}\cos\Delta\tau}. \quad (53)$$

При разнородных ЛП коэффициент корреляции $\rho = 0$.

Вероятность нахождения судна в пределах круга, описанного из обсервованного места радиусом M_0, можно принять равной 65 %; если описать круг радиусом $2M_0$, то вероятность будет 97 %.

Полученные величины M_0 используются при анализе навигационной безопасности плавания (см. § 12). В сомнительных случаях и при недостоверной оценке точности навигационной информации необходимо руководствоваться испытанным правилом «считай себя ближе к опасности», так как никакая вычислительная машина не может исправить промахи судоводителя и принять за него решение о дальнейших действиях.

Глава 5

РАДИОНАВИГАЦИОННЫЕ УСТРОЙСТВА

§ 15. Навигационные радиолокаторы

Определения места судна путем измерений параметров изолиний радионавигационными устройствами широко распространены, в том числе и при хорошей оптической видимости. Среди них преобладают радиолокационные обсервации, включая комбинированные — по радиолокационному расстоянию и визуальному пеленгу. На современном этапе развития судовождения радиолокатор является вторым после компаса по важности прибором для точной и безопасной прибрежной навигации. Кроме того, радиолокатор в условиях плохой видимости позволяет расходиться со встречными судами на безопасном расстоянии и решать ряд других важных задач.

Радиолокатор (радиолокационная станция — РЛС) — навигационная аппаратура для измерения расстояния и направления радиотехническими методами, состоит из трех основных приборов (рис. 45): антенны, приемопередатчика и индикатора. В передатчике генерируются электромагнитные колебания, которые излучаются антенной в форме узкого луча радиоволн длиной 3 или 10 см короткими импульсами (длительностью около 0,1 мкс) с интервалами ~1000 мкс. Отразившиеся от каких-либо

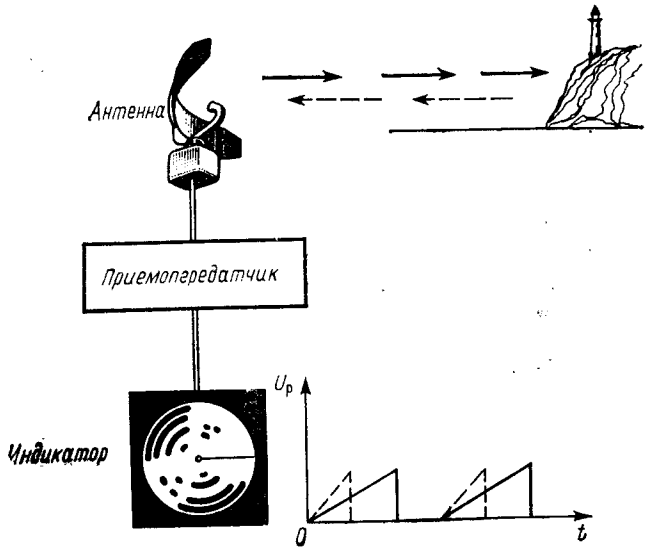


Рис. 45

объектов эти зондирующие импульсы принимаются той же антенной; в ее цепи имеется переключатель, запирающий приемный канал на время посылки импульса. После усиления принятые антенной эхо-сигналы поступают на индикатор.

Основой индикатора является электронно-лучевая трубка, на отклоняющую систему которой подается пилообразное напряжение $U_р$. Развертка электронного луча идет от центра экрана вдоль радиуса с мгновенным возвращением к центру. Луч не дает засветки на экране, пока его путь перекрыт отрицательным напряжением. Начало каждого цикла развертки строго совпадает с моментом излучения импульса, что достигается использованием общего задающего генератора импульсов. В момент поступления усиленного эхо-сигнала отрицательное напряжение в трубке снимается и на экране возникает пятно засветки. Так как скорость развертки в масштабе экрана в два раза меньше скорости распространения радиоволн, то засветка происходит на удалении от центра экрана, которое в его масштабе равно расстоянию до отражающего объекта. При изменении масштаба (при переключении на другую шкалу дальности) изменяется скорость развертки, как показано на графике $U_р$, приведенном на рис. 45 (штриховая линия).

Антенна равномерно вращается с частотой 15—20 об/мин, облучая все окружающее пространство. Синхронно с этим вращается и направление радиуса развертки на экране, так что в любой момент оно совпадает с направлением излучения и приема антенны. В результате на экране последовательно высвечиваются все окружающие объекты и их части, а вследствие послесвечения экрана на нем образуется связное *радиолокационное изображение*. Четкость этого изображения зависит от характеристик и настройки радиолокатора, расстояний до объектов и их отражающей способности, помех и других условий.

Основной эксплуатационной характеристикой радиолокатора служит *овал разрешимости* — пятно засветки на экране, в пределах которого изображения малых объектов сливаются и их конфигурация неразличима. Размеры такого овала зависят от ширины радиолуча, которая тем меньше, чем короче длина волны и шире раскрыв антенны. У современных радиолокаторов разрешающая способность по углу при длине волны $\lambda = 3$ см составляет 0,7—1°, а при $\lambda = 10$ см — около 2°. Кроме того, размер овала разрешимости зависит от продолжительности импульса: чем короче импульс, тем лучше разрешимость по дальности, но при больших расстояниях до объектов разрешимость ограничена минимальным размером пятна засветки на экране с учетом масштаба изображения. Для крупных масштабов у современных радиолокаторов разрешающая способность по дальности составляет 15—30 м. Такова же приблизительно и минимальная дальность их действия — ближе этого расстояния передний фронт эхо-сигнала возвращается от объекта еще до окончания излучения импульса, когда закрыт приемный канал.

Важной характеристикой радиолокатора является максимальная дальность обнаружения, которая зависит от мощности излучения и чувствительности приемника, длины волны и высоты антенны, но, в первую очередь, от размеров и отражающей способности объектов. Наблюдениями установлено, что для современных радиолокаторов при высоте антенны 15—20 м максимальная дальность обнаружения характеризуется ориентировочно следующими данными:

Объект	Дальность обнаружения, миля
Песчаный пляж	0—0,5
Низменный берег	1—5
Обрывистый берег	15—20
Горы	30—40
Шлюпки	0,5—0,8
Малые суда	2—5
Средние суда	6—10
Большие суда	10—20

Масштаб радиолокационного изображения зависит от диаметра экрана и установленной шкалы дальности. Например, отечественный радиолокатор «Океан-М» имеет диаметр экрана 450 мм и может переключаться на любую из семи шкал дальности: 1, 2, 4, 8, 16, 32 или 64 мили, что означает радиус зоны, изображаемой на экране.

На работу радиолокатора могут влиять различные помехи. Так, мачты, трубы и другие части судна создают *теневые секторы*, в пределах которых радиолокационные наблюдения невозможны. Если такой сектор направлен вперед, то для его просмотра рекомендуется периодически отворачивать судно с курса. Кроме основного луча диаграмма направленности антенны имеет более слабые «боковые лепестки», создающие ложные эхо-сигналы, которые распознают на основе опыта. Отраженные от склонов волн сигналы создают помехи моря, которые могут засвечивать всю центральную часть экрана, скрывая объекты наблюдений. Подавление таких помех достигается регулированием общего усиления. Ливень, град и сильный снегопад создают помехи от осадков в виде расплывчатых пятен засветки экрана. Эти помехи и помехи моря значительно ослабляются, а дальность обнаружения увеличивается при работе на более длинных радиоволнах, но при этом снижается разрешающая способность и точность измерений. С учетом этого в некоторых РЛС (например, «Океан») предусмотрена возможность переключения на длину волны 3,2 см или 10 см. Чтобы при качке судна не нарушалось облучение объектов и прием отраженных от них сигналов, диаграмма направленности антенны в вертикальном сечении имеет угол 20—25°. Но вблизи судна, там, где нижняя граница радио-

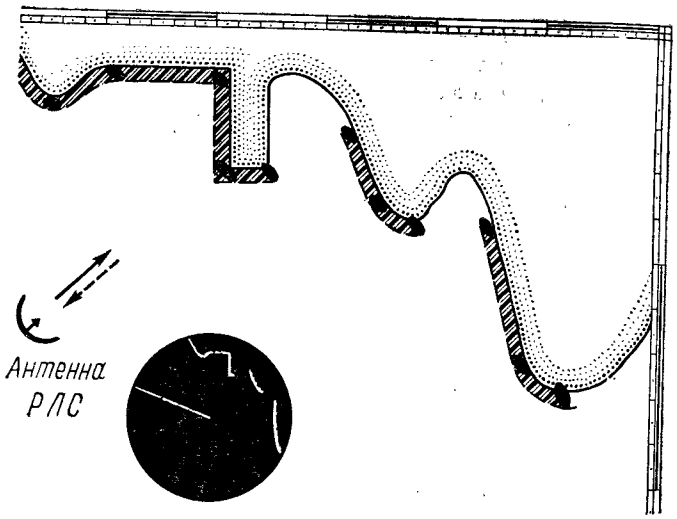


Рис. 46

луча проходит над низкими объектами, они не обнаруживаются, так как находятся в мертвой зоне.

При навигационном использовании радиолокатора наибольшие затруднения вызывает правильное опознание берегов, так как часто радиолокационное изображение заметно отличается от их изображения на карте. Представление об искажении контуров берега на экране РЛС дает рис. 46, где сплошной линией показана береговая черта и рядом с ней — зачерненные овалы разрешимости, огибающая которых (штриховая линия) дает передний фронт радиолокационного изображения.

В индикаторе РЛС имеется сельсин-приемник гирокомпаса, благодаря которому возможно переключение ориентации изображения на экране либо «по курсу» (вверху экрана то, что впереди судна), либо «по норду» (что позволяет измерять пеленги).

Для измерения пеленгов на экране РЛС имеется механический или электронный визир, направив который на изображение пеленгуемого объекта на периферии экрана, отсчитывают по лимбу радиолокационный пеленг РЛП.

Для измерения расстояний применяются неподвижные (НКД) и подвижный (ПКД) круги дальности, а также электронный визир-дальномер. НКД — высвечиваемые на экране концентрические окружности, расстояние между которыми одинаково и известно в зависимости от установленной шкалы дальности. Оценивая на глаз часть расстояния между кругами, определяют расстояние до объекта. При переключении на ПКД на экране высвечивается один круг, радиус которого можно изменять вращением махович-

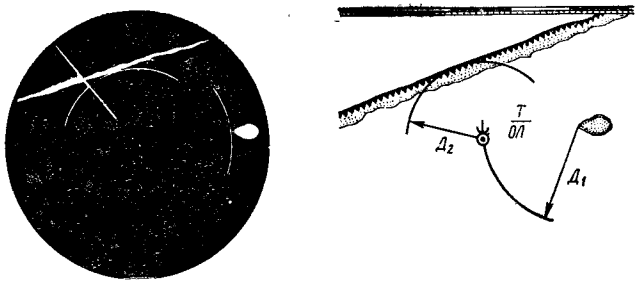


Рис. 47

ка дальномера. Приводя этот круг в касание с изображением объекта, на шкале дальномера считывают расстояние до объекта. Аналогично этому используется и визир-дальномер.

Точность измерения радиолокационных пеленгов ниже, чем визуальных; расстояния измеряются с высокой точностью (см. табл. 9).

При определении места по радиолокатору предпочтение отдают следующим способам: по двум и трем расстояниям, по радиолокационному расстоянию и визуальному пеленгу и т. п. Рассмотрим характерный для использования РЛС пример определения места по двум расстояниям.

Если в поле зрения радиолокатора имеется только один надежно опознанный объект — остров (на рис. 47 заштрихован) и берег с плавными очертаниями без мысов и бухт, то измеряют расстояние $Д_1$ до этого объекта и кратчайшее расстояние $Д_2$ до берега. На карте от опознанного объекта проводят дугу радиусом, равным $Д_1$, в масштабе карты. Затем, установив раствор циркуля по расстоянию $Д_2$, ищут на проведенной дуге точку, из которой дуга радиусом $Д_2$ касательна береговой линии на карте. Если берег представляет собой обрыв с пляжем, то на карте за линию берега надо принимать контур обрыва, так как на расстоянии более 0,5 мили пляжи обычно не дают радиолокационного изображения.

§ 16. Радиопеленгаторы

Радиопеленгатор — прибор, позволяющий определять направление на любую передающую радиостанцию. Это первый из радионавигационных приборов, которым и в настоящее время оборудуются все морские суда.

Для определения места по радиопеленгам служат круговые радиомаяки (их диаграмма направленности — окружность), которые работают на частотах 280—325 кГц и действуют на расстояниях 100—200, иногда — до 300 миль. В настоящее

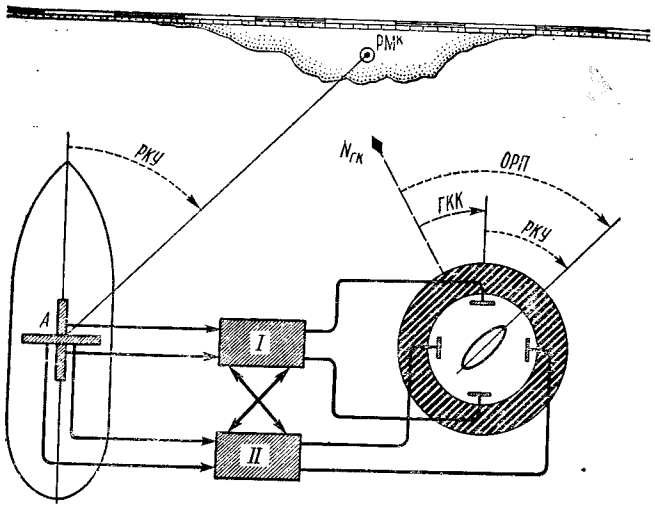


Рис. 48

время на побережьях морей и океанов работает более тысячи круговых радиомаяков, причем бо́льшая часть из них расположена в районах интенсивного судоходства. Для той же цели используются и прибрежные аэрорадиомаяки. Обычно несколько радиомаяков, обслуживающих один район, объединяют в группу, и они работают поочередно по единому расписанию на одной частоте. Все необходимые сведения о круговых радиомаяках и прибрежных аэрорадиомаяках имеются в разделе III пособия «Радиотехнические средства навигационного оборудования» (РТСНО).

В современных двухканальных визуальных радиопеленгаторах (ДВРП) направленный прием осуществляется следующим образом (рис. 48). Радиоволны от радиомаяка $РМ^к$ принимаются на две взаимно перпендикулярные рамочные антенны *А*. Напряжение с продольной рамки, пропорциональное $\cos РКУ$, где *РКУ* — радиокурсовой угол маяка, подается через усилитель *I* на вертикально отклоняющие пластины электронно-лучевой трубки. Напряжение с поперечной рамки антенны, пропорциональное $\sin РКУ$, после идентичного усилителя *II* подается на пластины горизонтального отклонения той же трубки. В результате этого на экране высвечивается линия, наклон которой равен радиокурсовому углу *РКУ*. Вокруг экрана имеется лимб, поворачивающийся от сельсина-приемника гирокомпаса в соответствии с курсом судна — по этому лимбу получают отсчет радиопеленга маяка *ОРП*.

Чтобы такая схема работала без искажений, усиления и фазовые сдвиги в каналах *I* и *II* должны быть совершенно одинаковыми. Для этого усилители каналов *I* и *II* через перекрестные связи переключаются 15—20 раз в секунду поочередно в цепи продольной и поперечной рамок. Если усиление по обоим каналам неодинаково, то на экране высвечиваются две пересекающиеся линии, совмещение которых достигается регулированием усиления. Влияние помех проявляется в том, что на экране вместо линии высвечивается эллипс, большая ось которого определяет направление на радиомаяк.

По описанному принципу действует современный отечественный радиопеленгатор «Румб» и ряд зарубежных радиопеленгаторов. На многих судах применяются слуховые радиопеленгаторы наиболее распространенного ранее типа СРП-5. В таком радиопеленгаторе сигналы с продольной и поперечной рамок антенны поступают на взаимно перпендикулярные катушки измерительного устройства — гониометра. Внутри него находится третья искательная катушка, поворачивая которую находят такое ее положение, при котором минимальна слышимость радиомаяка, и тем самым определяют его радиокурсовой угол.

Корпус судна и его части, особенно токопроводящие контуры, включающие стальной такелаж, проявляют себя как вторичные переизлучатели радиоволн того же радиомаяка и искажают направления, измеряемые радиопеленгатором. Угол между истинным и измеренным радиопеленгатором направлениями на радиомаяк называют *радиодевиацией* *f*; величина ее зависит от радиокурсового угла маяка *РКУ* Радиодевиация определяется из наблюдений как разность одновременно измеренных визуального *ГКП* и радиопеленга *ОРП* одного и того же маяка:

$$f = ГКП - ОРП. \qquad (54)$$

Величину радиодевиации уменьшают с помощью компенсационных устройств радиопеленгатора, а остаточную девиацию определяют из наблюдений и сводят в таблицу радиодевиации, откуда выбирают ее в зависимости от *РКУ* при исправлении измеренных радиопеленгов.

Зависимость радиодевиации *f* от радиокурсового угла *РКУ* такая же, как девиации магнитного компаса от компасного курса

$$f = A_р + B_р \sin РКУ + C_р \cos РКУ + D_р \sin 2РКУ + E_р \cos 2РКУ, \qquad (55)$$

где $A_р$, $B_р$, $C_р$, $D_р$ и $E_р$ — коэффициенты радиодевиации, а радиокурсовой угол *РКУ* измеряется в круговом счете от носовой части диаметральной плоскости судна по часовой стрелке до 360°

При работе с ПЭМК для вычисления таблицы радиодевиации можно пользоваться той же программой, что и при составлении таблицы девиации магнитного компаса (см. § 4), заменяя всюду δ на *f* и *КК* на *РКУ*.

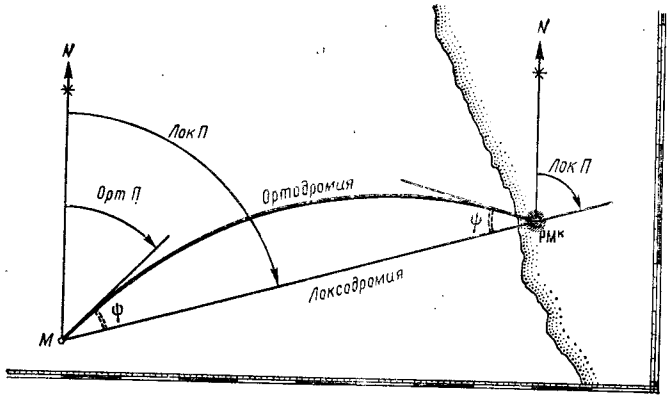


Рис. 49

Кроме радиодевиации отрицательное влияние на точность радиопеленгования оказывают антенный, ночной и береговой эффекты. Антенный эффект создают антенны судовых радиостанций и приемников, и для его исключения эти антенны должны быть отключены от заземления на время радиопеленгования. Ночной эффект обусловлен тем, что на поверхностные радиоволны от маяка накладываются его же пространственные радиоволны, отраженные от нижних слоев ионосферы. Действие этого эффекта, который правильнее назвать «сумеречным», особенно заметно в течение одного часа при восходе и заходе Солнца, когда на расстояниях свыше 100 миль погрешность пеленгования по этой причине может достигать нескольких градусов. Береговой эффект (береговая рефракция) обусловлен тем, что над сушей скорость распространения радиоволн меньше, чем над морем, и при пересечении береговой черты, особенно под острым углом, радиоволны отклоняются к берегу. Этот эффект не проявляется, когда радиомаяк расположен у кромки берега. Точность радиопеленгов охарактеризована в табл. 9.

Радиоволны распространяются над землей по кратчайшей дуге — *ортодромии* (дуге большого круга), и поэтому отсчет радиопеленга *ОРП* после исправления поправкой гирокомпаса $\Delta ГК$ и радиодевиацией f дает ортодромический радиопеленг (см. рис. 42):

$$Орт.\,П = ОРП + \Delta ГК + f. \qquad (56)$$

На морской карте в меркаторской проекции на расстояниях возможного радиопеленгования ортодромия изображается дугой окружности, выпуклость которой обращена к ближайшему полюсу, а локсодромия, как известно, — прямой линией (см. рис. 35 и 49). Угол между ортодромией и локсодромией, проходящими через две общие точки (радиомаяк и место судна), называется

ортодромической поправкой ψ. Величина ψ может быть выбрана из табл. 236 МТ-75 или вычислена по формуле

$$\psi = \frac{1}{2}\,РД \sin \varphi_{ср}, \qquad (57)$$

где $РД$ — разность долгот маяка и судна; $\varphi_{ср}$ — их средняя широта. Знак поправки ψ в Северном полушарии положителен, если маяк восточнее судна, и отрицателен в противном случае, а в Южном полушарии — наоборот.

Ортодромическая поправка служит для получения локсодромического пеленга *Лок.П*:

$$Лок.\,П = Орт.\,П + \psi. \qquad (58)$$

Полученный таким образом *Лок. П* радиомаяка прокладывают от его изображения на карте как визуальный пеленг. Если $\psi < 0{,}3°$, то принимают для прокладки *Лок. П* = *Орт. П* (см. рис. 42).

Для определения места судна необходимо измерить радиопеленги не менее двух маяков или использовать радиопеленг в сочетании с какой-либо иной, например высотной, линией положения.

§ 17. Радионавигационные системы

Появившиеся во время второй мировой войны радионавигационные системы (РНС) развивались усилиями ученых многих стран, и сейчас приемоиндикаторами РНС оборудованы почти все суда мирового флота. По принципу действия РНС подразделяются на импульсные, фазовые и импульсно-фазовые.

Импульсные РНС (ИРНС), среди которых наибольшее распространение получила система «Лоран-А», работают следующим образом. Береговые станции объединены в пары, в которых одна станция ведущая, а другая — ведомая (рис. 50). Ведущая станция *Вщ* излучает вокруг короткие (~40 мкс) радиоимпульсы с постоянной частотой повторения в диапазоне 10—20 имп./с. Сигналы этой станции, распространяясь со скоростью $c = 299\,650$ км/с, проходят расстояние $D_{Вщ}$ до судна *М* за время $t_{Вщ} = D_{Вщ}/c$, а базу между станциями $D_б$ проходят за время $t_б = D_б/c$ На ведомой станции *Вм* принятые сигналы ретранслируются на той же же частоте, но с постоянной кодовой задержкой $t_к$ (около 1000 мкс). Сигналы от ведомой станции проходят расстояние $D_{Вм}$ до судна *М* за время $t_{Вм} = D_{Вм}/c$.

Судовым приемоиндикатором (например, КПИ-4) измеряют интервал времени t между моментами приема соответствующих импульсов от ведущей и ведомой станций:

$$t = t_{Вм} - t_{Вщ} + t_б + t_к = (D_{Вм} - D_{Вщ})/c + t_з, \qquad (59)$$

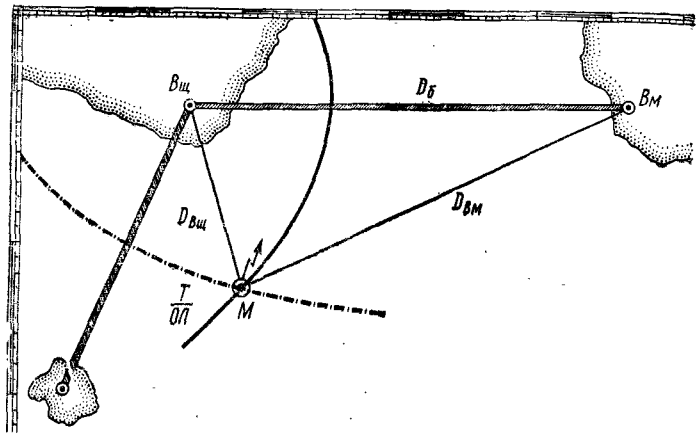


Рис. 50

где $t_з = t_б + t_к$ — общая задержка, постоянная и известная для каждой пары.

Как видим, каждому значению измеряемой величины t соответствует одна определенная разность расстояний $D_{вм} - D_{вщ}$. Такая разность расстояний на поверхности Земли одинакова для всех точек гиперболы, фокусами которой служат станции (на рис. 50 изображены части двух таких гипербол, проходящих через место M). Поэтому ИРНС и другие аналогичные РНС называют *гиперболическими* или *разностно-дальномерными*.

Пары станций ИРНС «Лоран-А» объединены в цепочки по районам. В настоящее время работает несколько десятков цепочек, зоны действия которых покрывают бо́льшую часть Северного полушария.

Для определения места по ИРНС «Лоран-А» служат радионавигационные «лорановские» карты, на которых после номера проставлено обозначение LA. На таких картах разными цветами для разных пар станций нанесены сетки гипербол оцифрованные значениями измеряемого параметра t в микросекундах. Выполнив измерения по двум парам станций, обсервованное место судна находят в пересечении соответствующих гипербол, выполняя, если надо, графическую интерполяцию на карте.

Оцифровка гипербол на «лорановских» картах рассчитана для поверхностных радиосигналов. При использовании пространственных сигналов (отраженных от нижних слоев ионосферы) результаты измерений $t_{пр}$ приводят к поверхностным введением поправки $\Delta_{пр}$ на удлинение трассы: $t_{по} = t_{пр} + \Delta_{пр}$. Поправки $\Delta_{пр}$ с указанием знака напечатаны на «лорановских» картах у пересечения целоградусных меридианов и параллелей.

Дальность действия ИРНС «Лоран-А» днем на поверхностных сигналах до 800—900 миль, точность обсерваций примерно такая же, как при использовании астронавигационных методов. Ночью при использовании пространственных сигналов обсервации возможны на расстояниях до 1500 миль, но точность их снижается в два раза и более (см. табл. 9).

Фазовые РНС (ФРНС), среди которых наиболее распространена система «Декка», работают следующим образом.

Цепочку ФРНС образуют общая ведущая *Вщ* и три (иногда — две) ведомых станции, которые составляют с ведущей пары с базами 70—110 миль (рис. 51). Ведомые станции и пары, в которые они входят, называют красной *Кр*, зеленой *Зл* и фиолетовой *Фл*. Так же окрашены циферблаты судового приемоиндикатора и сетки гипербол на радионавигационных «декковских» картах (на таких картах после номера проставлены буква *D* и обозначение цепочки). Все станции цепочки непрерывно излучают вокруг радиоволны разных частот, но кратных общей для них базовой частоте f, по которой цепочки отличаются друг от друга.

В судовом приемоиндикаторе сигналы от общей антенны поступают на четыре приемо-усилительных канала, каждый из которых настроен на частоту одной из станций цепочки. Усиленные сигналы проходят через умножители частот и приводятся к одинаковой для каждой пары частоте сравнения: для красной $6f \cdot 4 = 8f \cdot 3 = 24f$, для зеленой $6f \cdot 3 = 9f \cdot 2 = 18f$, для фиолетовой $6f \cdot 5 = 5f \cdot 6 = 30f$. На этих частотах сравнения три разных

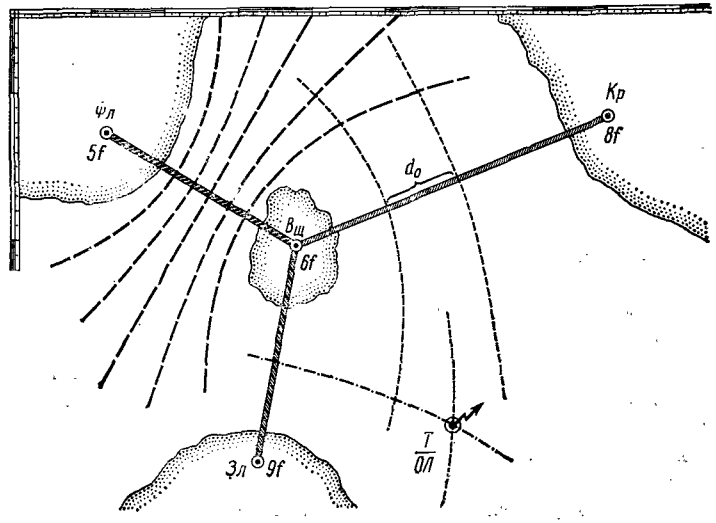


Рис. 51

фазометра (*Кр, Зл, Фл*) измеряют разности фаз ведущей и ведомых станций. Для каждой пары (ведущая и одна из ведомых) станций разность фаз $\Delta\Phi$ зависит от разности расстояний $D_{Вщ} - D_{Вм}$ и длины волны λ, соответствующей частоте сравнения данной пары:

$$\Delta\Phi = \frac{2\pi}{\lambda}(D_{Вщ} - D_{Вм} - N\lambda), \qquad (60)$$

где $N = 0, 1, 2, \ldots,$ — число целых волн.

Как видно из формулы (60), постоянному измерению разности фаз $\Delta\Phi$ соответствует и постоянная разность расстояний до станций пары и, следовательно, гипербола, фокусами которой служат станции. При этом разность расстояний определяется неоднозначно, а с неопределенностью в числе N целых длин волн. Полосы на поверхности Земли между гиперболами с разностью фаз $\Delta\Phi = 0$ (или $\Delta\Phi = 2\pi$) называют *дорожками*. Полученные с помощью фазометра измерения позволяют определить положение гиперболы внутри дорожки, но не указывают, в какой именно. Одна из таких дорожек показана на рис. 51, где $d_0 = \lambda/2$ — ее минимальная ширина на базе, зависящая от длины сравнения λ данной пары ($d_0 = 300 \div 500$ м; на рис. 51 ширина дорожки для наглядности увеличена).

Для *разрешения* многозначности каждая пара станций трижды в минуту поочередно переводится на короткое время (0,45 с) на работу с базисной частотой f. Этим создаются более широкие «грубые» дорожки или зоны, обозначаемые буквами *А*, *В*, *С* и т. д. от ведущей станции к ведомой. Каждая зона содержит 24 дорожки красной пары, 18 — зеленой и 30 фиолетовой. Зона, в которой находится судно, определяется по счислению, а измерения на частоте f дополнительным «грубым» фазометром показывают номер дорожки внутри зоны, чем и разрешается многозначность. Таким образом, результат измерения по какой-либо паре выражается буквенным обозначением зоны (от *А* до *J*), номером дорожки внутри этой зоны и долями фазового цикла с округлением до 0,01. Для предотвращения ошибок номера дорожек разных пар не повторяются: для красной пары от 0 до 24, для зеленой от 30 до 48 и для фиолетовой от 50 до 80. Например, запись *F*.32.47 означает зону *F*, 32-ю дорожку зеленой пары и разность фаз 0,47 фазового цикла. Также оцифрованы гиперболы на радионавигационных «декковских» картах. Выполнив измерения по двум парам станций, графической интерполяцией на карте находят обсервованное место судна.

Дальность действия ФРНС «Декка» примерно до 350—450 миль от станций. Точность определений места на средних расстояниях характеризуется средней квадратической погрешностью 100—300 м, а на малых расстояниях — несколькими десятками метров. В настоящее время действует более 50 цепочек ФРНС «Декка», рабочие зоны которых покрывают большинство районов со сложными навигационными условиями. Для пользования этой системой на судах нашего флота применяют отечественные приемоиндикаторы «Пирс-1» и некоторые зарубежные модели.

Импульсно-фазовые РНС (ИФРНС), среди которых наиболее распространена система «Лоран-С», сочетают достоинства импульсных систем (большая дальность действия и однозначность) и фазовых (высокая точность).

ИФРНС «Лоран-С» работает на длинных волнах (3 км) в импульсном режиме. Последнее исключает многозначность и позволяет отделить пространственные сигналы (всегда запаздывают) от поверхностных. Чтобы повысить надежность измерений, импульсы посылаются пакетами по восемь в каждом, а измерения выполняются по всем импульсам пакета. Эти измерения состоят в сравнении фаз высокочастотных (несущих) колебаний от ведущей и ведомой станций. Такие измерения выполняют только по начальным частям поверхностных импульсов, которые не искажены наложением на них пространственных сигналов, что обеспечивает высокую точность получения данных на расстояниях до 1500 миль от станций.

Каждая цепочка ИФРНС «Лоран-С» состоит из ведущей (обозначают *М*) и от двух до четырех ведомых (обозначают *W*, *Z*, *Y* и *Z*) станций, образующих пары с базами 600—800 миль. Все цепочки работают на одной частоте 100 кГц и распознаются по периодам повторения импульсов. Для определений места издаются радионавигационные карты с сетками гипербол, оцифрованных в микросекундах. Точность определений места при благоприятных условиях характеризуется средней квадратической погрешностью около 0,01 мили. Система эта считается одной из перспективных; сейчас работают около 20 цепочек, сеть которых расширяется.

Глобальная РНС «Омега» является фазовой сверхдлинноволновой. Ее восемь станций образуют пары с базами по 5—6 тыс. миль и охватывают зоной действия всю Землю. Станции не делятся на ведущие и ведомые — они независимо синхронизируются по всемирному времени и работают на одинаковых частотах по единому расписанию. Основная частота — 10,2 кГц, на которой образуются гиперболические дорожки с шириной на базе 8 миль. Другие частоты служат для разрешения многозначности путем образования более широких дорожек.

Фазовая скорость сверхдлинных волн этой системы имеет трудно прогнозируемые суточные и сезонные изменения, что снижает точность определений места до 1—2 миль. Для уменьшения этого недостатка применяют РНС «Дифференциальная Омега».

Она позволяет учитывать не прогнозируемые, а фактические поправки в момент измерений в данном районе. С этой целью развивается сеть береговых контрольных постов, имеющих точную геодезическую привязку. Измерения на этих постах выявляют фактические поправки, которые передаются на суда в радиусе 200—300 миль и служат для коррекции измерений. Таким образом удается снизить среднюю квадратическую погрешность обсерваций до 0,2—0,4 мили.

Приемоиндикаторы рассмотренных РНС вначале весьма существенно отличались друг от друга, так как все эти системы, хотя и гиперболические, но основаны на разных принципах. Современные комбинированные приемоиндикаторы имеют встроенные микропроцессоры с жестко зашитыми программами, что позволяет в известной мере унифицировать процедуру измерений на судне. Конечно, каждый приемоиндикатор имеет свои особенности, но все они после включения первоначальной установки счислимых координат далее работают автоматически, непрерывно индицируя обсервованные географические координаты. Более того, решается задача по оптимальному выбору станций РНС и целый ряд других навигационных задач (см. § 27).

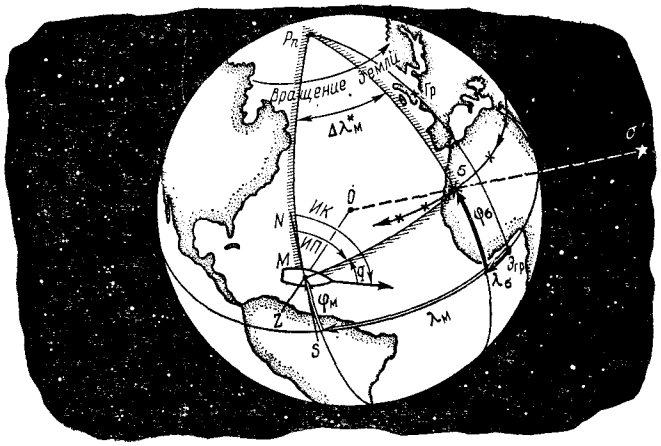
Глава 6

АСТРОНАВИГАЦИОННЫЕ СРЕДСТВА

§ 18. Принципы астронавигации

Морская астронавигация — раздел судовождения, предметом изучения которого являются средства и методы определения места судна, истинного направления на море и поправки компаса путем измерений координат небесных светил и навигационных искусственных спутников Земли (НИСЗ), а также задачи службы времени на судне (см. § 8) и задачи отображения обстановки наблюдений светил и НИСЗ.

До последнего времени методы морской астронавигации применялись преимущественно при плавании в открытом море и на океанских просторах, а для освоения их требовались специальная теоретическая подготовка и длительная практика. Развитие ЭКВМ и создание портативных приемоиндикаторов спутниковой навигационной системы (СНС) сделало возможным применение астронавигации на любых судах и в любом районе плавания. При обсервациях по небесным светилам от судоводителя теперь требуется умение опознавать их, измерять высоты и пеленги, выполнять несложные операции на пульте специализированной



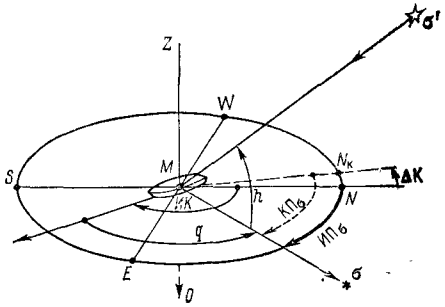


Рис. 52

или универсальной ЭКВМ. Результат обсервации получается точным, надежным и достаточно быстро.

Однако до определения места судна по астронавигационному ориентиру необходимо каждый раз ответить на вопрос: где находился движущийся ориентир в момент измерения навигационного параметра? Наблюдаемому светилу σ′ (см. рис. 43 и 52) на поверхности Земли соответствует географическое место светила (полюс освещения) σ′, имеющее координаты: широту φ_σ, тождественно равную склонению светила δ, и долготу λ_σ, тождественно равную гринвичскому часовому углу светила $t_{гр}$.

Величины δ и $t_{гр}$ можно выбрать из Морского астрономического ежегодника (МАЕ) или вычислить на ЭКВМ; для этой цели служат Астронавигационные таблицы, помещенные в приложении II. Аргументом для вычислений координат светила является гринвичское время измерения астронавигационного параметра, вычисляемое по правилам, сформулированным в гл. 2.

Вследствие вращения Земли географическое место светила (ГМС) быстро перемещается по земной поверхности; на экваторе это движение совершается со скоростью 900 уз. При небольших интервалах времени склонения светил можно считать неизменными и полагать, что географическое место светила движется по параллели. Высокая скорость движения ГМС требует точной регистрации момента измерения параметра и точного определения поправки часов; погрешность момента $T_{гр} = T + u$ не должна быть более 1 с.

Принцип определения истинного направления на светило и поправки компаса по наблюдениям светила сводится к следующему.

Угол в точке наблюдений M между географическим меридианом места судна P_nM и линией пеленга $M\sigma$ (ортодромией) есть истинный пеленг светила $ИП_\sigma$ (см. рис. 2 и 52). Он вычисляется из навигационного треугольника $P_nM\sigma$, например по формуле (47), если известны координаты места судна и ГМС. Эта задача решается на ЭКВМ, с помощью специальных таблиц или номограмм.

Компасное направление с судна на светило определяют, установив пеленгатор компаса в вертикальной плоскости $ZM\sigma$, проходящей через светило σ' и отвесную линию MZ, после чего отсчитывают компасный пеленг $КП_\sigma$. Вычислив на момент пеленгования $ИП_\sigma$ светила, находят поправку компаса:

$$\Delta K = ИП_\sigma - КП_\sigma. \qquad (61)$$

При плавании вне видимости береговых ориентиров поправку компаса можно определять только по наблюдениям светила. Важно знать, что при выходе компаса из строя или при его отсутствии (например, на спасательном средстве) управлять движением по избранному направлению можно, ориентируясь по направлению на светило. Чтобы в рассматриваемый момент T направить судно по линии избранного истинного курса $ИК$, достаточно привести светило на курсовой угол q, вычисляемый по формуле

$$q = ИП_\sigma - ИК.$$

Так как с течением времени координаты светила и места судна изменяются, то будут изменяться значения $ИП_\sigma$ и курсового угла q, которые следует периодически корректировать.

Принцип определения места судна по наблюдениям небесных светил показан на рис. 53. Предположим, что из места M (φ_0; λ_0) наблюдали светила в положениях σ_1' и σ_2'. Соответствующие светилам географические места имеют координаты:

в момент T_1 первых наблюдений светила σ_1': $\sigma_1(\varphi_1; \lambda_1)$;

в момент T_2 вторых наблюдений светила σ_2': $\sigma_2(\varphi_2; \lambda_2)$.

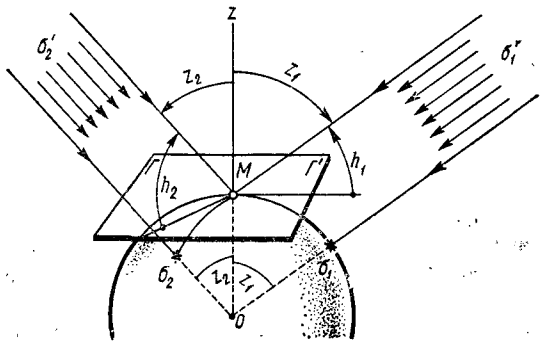


Рис. 53

Для определения положения места судна M относительно географических мест σ_1 и σ_2 достаточно знать расстояния $M\sigma_1 = z_1$ и $M\sigma_2 = z_2$: место судна находится в одной из точек пересечения кругов равных высот $I - I$ и $II - II$, описанных из ГМС радиусами z_1 и z_2. Выбор точки M или M' в качестве обсервованного места производят по двум признакам:

по координатам счислимого места, погрешность которого не может привести к ошибке места величиной MM';

по наблюденным направлениям на светила, которые в точках M и M' существенно различны.

Но как узнать расстояния z_1 и z_2, которые называют зенитными расстояниями? Дуги z_1 и z^2 на земной поверхности измеряют соответственно углы $ZO\sigma_1$ и $ZO\sigma_2$ при центре Земли O. Так как звезды удалены от Земли на расстояния, намного превышающие ее радиус, то можно полагать, что луч $\sigma_1'O$, пришедший в центр Земли, и луч $\sigma_1'M$, пришедший в глаз наблюдателя на судне, параллельны; аналогично луч $\sigma_2'O$ параллелен лучу $\sigma_2'M$. Отвесная линия OZ является секущей этих параллельных лучей, и поэтому $\angle ZO\sigma_1 = \angle ZM\sigma_1 = z_1$ и $\angle ZO\sigma_2 = \angle ZM\sigma_2 = z_2$.

Следовательно, для определения места судна необходимо измерить зенитные расстояния z_1 и z_2 — углы между отвесной линией и направлениями на светила $M\sigma_1$ и $M\sigma_2$, наблюдаемыми с судна. Практически на судах удобнее измерять вертикальные углы между плоскостью горизонта $ГГ'$ и направлениями на светила — высоты светил h_1 и h_2. Между высотами светил и их зенитными расстояниями существует очевидная связь:

$$z_1 = 90^\circ - h_1 \text{ и } z_2 = 90^\circ - h_2. \qquad (62)$$

Высоты светил измеряют специальным инструментом — навигационным секстаном (см. § 19).

Если судно будет перемещаться по окружности, описанной радиусом z из ГМС, то высота светила не изменится; такая окружность и называется *кругом равных высот*. Место судна, определенное в пересечении двух и более кругов равных высот, называется *обсервованным* и обозначается ⊙.

Как было показано в § 14, малый отрезок круга равных высот вблизи счислимого места судна принимают совпадающим с прямой линией и называют *высотной линией положения* (см. рис. 43). Для ее нанесения на путевую карту необходимо знать $ИП_\sigma$ — направление от счислимого места на ГМС, и перенос — расстояние от счислимого места C до линии положения по этому направлению. Перенос равен разности радиуса круга равных высот z и расстояния от счислимого места до ГМС: $n = z_c - z$, или разности высот светила на судне h и высоты светила h_c в счислимом месте C в один и тот же момент:

$$n = h - h_c. \qquad (63)$$

Астронавигационные способы определения места судна обладают следующими достоинствами:

они доступны при плавании в любом районе Земли, как вблизи берегов, так и вдали от них;

все необходимое для их применения находится на борту судна (секстан, часы, вычислительные средства);

при плавании вне видимости береговых ориентиров астронавигационные обсервации часто являются наиболее точными и надежными, а во многих случаях и единственно возможными;

даже по одной высотной линии положения можно получить ценную навигационную информацию, например уточнить пройденное расстояние или направление пути судна, определить одну из координат места судна или уточнить счислимое место, опознать береговые ориентиры (см. § 22).

§ 19. Навигационный секстан и наклоиомер

Навигационный секстан (рис. 54) — судовой навигационный инструмент, предназначенный для измерений вручную высот небесных светил над видимым морским горизонтом, а также горизонтальных и вертикальных углов при наблюдениях береговых ориентиров.

Для измерения высоты светила секстан держат в вертикальной плоскости, проходящей через светило, так, чтобы луч от светила попал в большое зеркало *1* и, отразившись в нем, пришел в малое зеркало *8*. После отражения в малом зеркале изображение светила поступает через трубу *2* в глаз наблюдателя. Необ-

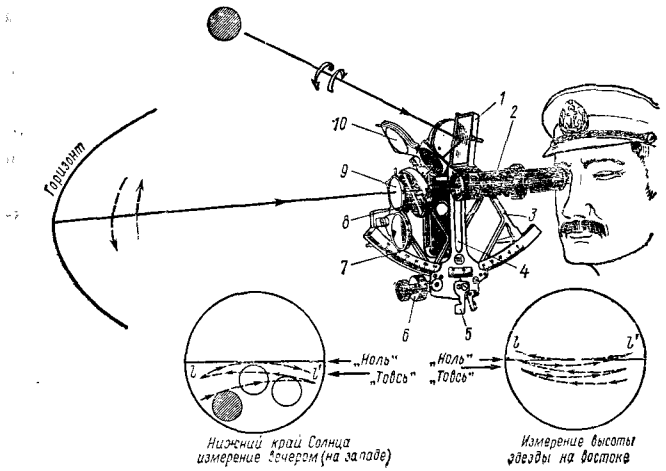


Рис. 54

ходимое для этого положение большого зеркала создается передвижением алидады *4* вдоль лимба *7* (при выжатом стопоре *5*).

Труба секстана направляется на видимый горизонт так, чтобы луч от горизонта пришел сквозь прозрачную половину малого зеркала *8* в глаз наблюдателя. Вид поля зрения трубы показан внизу рисунка. Задачей наблюдателя является точное совмещение изображения светила (или края Солнца и Луны) с линией горизонта в момент совпадения плоскости рамы *3* с вертикальной плоскостью, проходящей через светило и глаз; после этого по лимбу *7* отсчитывают десятки и единицы градусов измеренного угла соответственно положению индекса алидады; десятки, единицы и десятые доли дуговых минут считывают по шкале и индексу отсчетного барабана *6*. В конечном итоге получается отсчет измеренного угла — отсчет секстана (ОС), который затем исправляют поправкой секстана и получают измеренный навигационный параметр.

При необходимости для защиты глаза или улучшения контрастности изображения устанавливают светофильтры *10* и *9*.

Секстаны чаще всего снабжают двумя трубами: дневной (см. рис. 54), которая дает перевернутое изображение, и ночной, дающей более удобное при наблюдениях звезд прямое изображение. В хороших условиях точность измерения угла секстаном очень высока — предельная погрешность не превышает 1′. При измерениях без трубы эта погрешность увеличивается в три раза.

При подготовке к наблюдениям секстан выверяют и определяют его поправку. При подготовке к плаванию выверяют положение дневной трубы (рис. 55, а): секстан устанавливают на его упаковочном ящике, уголковые диоптры *1* и *2* устанавливают на лимбе секстана и наводят их верхние срезы на предмет (например, крышу строения), расположенный не ближе 50 м. Вращая, при необходимости, регулировочные винты, расположенные на оправе трубы, приводят визируемый предмет в середину поля зрения трубы и тем самым устанавливают ее в верное положение — ось трубы должна быть параллельна плоскости лимба секстана.

При подготовке к каждым наблюдениям проверяют перпендикулярность плоскостей зеркал плоскости лимба. Для проверки большого зеркала (рис. 55, *б*) диоптры устанавливают на лимбе в районе отсчетов 10 и 120°, а алидаду — посередине между ними и так, чтобы со стороны большого зеркала на его правой кромке были видны половина прямовидимого диоптра и половина отраженного правого диоптра. Вращая, при необходимости, ключом регулировочный винт большого зеркала, приводят в совмещение верхние срезы диоптров.

Для проверки малого зеркала (рис. 55, *в*) алидаду устанавливают на нулевой отсчет и наводят трубу на удаленный предмет

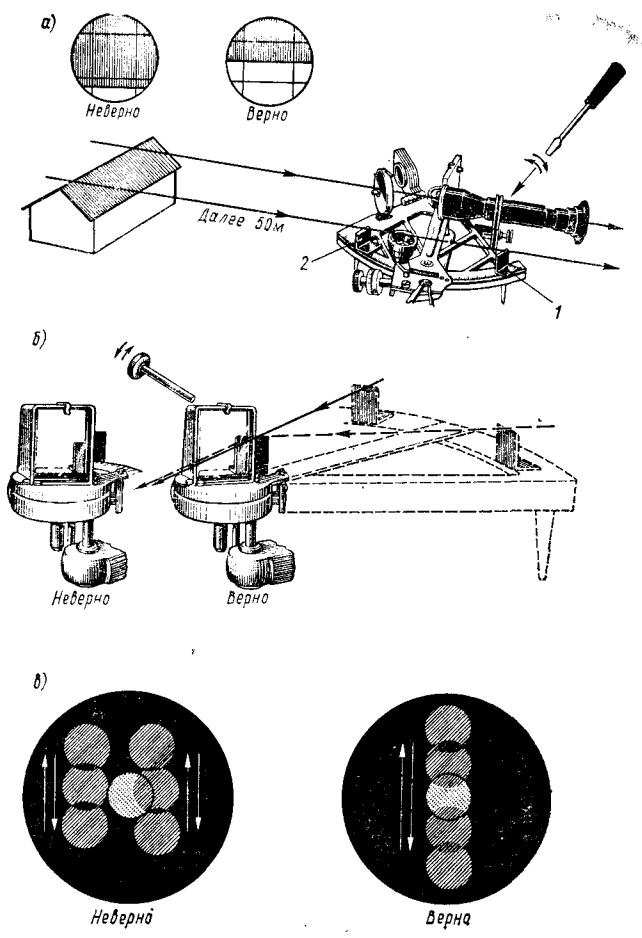


Рис. 55

при вертикальном положении рамы секстана. Далее вращают в ту или иную сторону отсчетный барабан и наблюдают перемещение в поле зрения отраженного изображения предмета относительно его прямовидимого изображения: при правильном положении малого зеркала отраженное изображение предмета должно точно проходить через прямовидимое. Регулирование положения малого зеркала производится вращением винта, расположенного на внешнем крае оправы зеркала. Другой винт на оправе малого зеркала, расположенный ближе к раме, служит для уменьшения поправки секстана, если это необходимо.

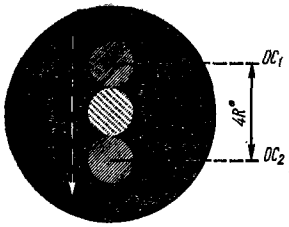


Рис. 56

Контроль за правильным положением зеркал производится после точного совмещения отраженного и прямовидимого изображений видимого горизонта: при вращении секстана относительно оси трубы изображения горизонта не должны расходиться.

Поправка секстана определяется непосредственно перед измерениями высот светила или сразу же после них. В принципе, поправка секстана должна определяться по прямовидимому предмету в измеряемом угле. При расстоянии до этого прямовидимого предмета более 1 мили поправку секстана можно определять по любому четко очерченному не менее удаленному предмету. Поэтому при астронавигационных наблюдениях поправку секстана чаще всего определяют путем совмещения прямовидимого и отраженного изображений светила, а не горизонта. После совмещения изображений читают отсчет секстана OC_i и вычисляют поправку секстана:

$$i = 0^\circ \text{ (или } 360^\circ) - OC_i. \qquad (64)$$

При наблюдениях Солнца обычно выполняют совмещение краев его прямовидимого и отраженного дисков (рис. 56). Затем по разности полученных отсчетов $OC_1 - OC_2 = 4R^{\odot}$ и полученной из табл. II-4 (см. приложение II) и учетверенной истинной величины полудиаметра Солнца $4R^{\odot}$ производят контроль качества измерений: эта разность не должна превышать 0,5′. Поправка секстана получается:

$$i = 0{,}5\,[(0^\circ - OC_1) + (360^\circ - OC_2)]. \qquad (65)$$

Пример. Согласно табл. II-4 26 июля; $4R^{\odot} = 15{,}8' \cdot 4 = 63{,}2'$.

Наблюдали: $OC_1 = 0°32{,}8'$ и $OC_2 = 359°29{,}9'$.

Вычислили: $4R^{\odot} - 4R^{\odot}_{\text{наб}} = 63{,}2' - (360°32{,}8' - 359°29{,}9') = 0{,}3'$.

Качество измерений — удовлетворительное: $i = 0{,}5[(-32{,}8) + (+30{,}1)] = -1{,}4'$.

Измерение высоты светила включает в себя два действия, показанных на рис. 54. Сначала изображение светила, приходящее через систему зеркал, приводят к линии горизонта. Для этого устанавливают $OC \approx 0°$, при наблюдениях Солнца устанавливают светофильтры перед большим и малым зеркалами, наводят трубу *2* на светило и наблюдают два его изображения. Далее, удерживая раму секстана в вертикальной плоскости, опускают трубу к горизонту и одновременно передвигают алидаду так, чтобы отраженное изображение светила не исчезло из поля зрения. При начальном освоении работы с секстаном эту операцию можно выполнять без трубы, наблюдая изображения светила непосредственно в малом зеркале. После грубого совмещения светила с видимым горизонтом — следует отпустить стопор алидады *5* (при наблюдениях Солнца — убрать светофильтр 9).

Второе действие — собственно измерение высоты светила — состоит в том, чтобы покачиванием секстана найти такое его положение, при котором высота будет измерена строго в вертикальной плоскости. Покачивание достигается проще всего незначительными поворотами секстана относительно луча, приходящего от светила в большое зеркало, и перемещением оси трубы по дуге $l - l'$ над горизонтом; светило необходимо совмещать с горизонтом именно в точке касания горизонта и дуги $l - l'$.

Совмещение можно выполнить двумя методами:

1) методом ожидания прихода светила на заранее установленную высоту светила OC, если вначале несколько «притопить» под горизонт светило на востоке (приподнять над горизонтом на западе) и затем, покачивая секстан, дождаться прихода светила в касание с горизонтом в нижней части дуги $l - l'$; этот метод показан на рис. 54 внизу слева;

2) методом приведения светила в ходе покачивания секстана в совмещение с горизонтом путем вращения отсчетного барабана; этот метод труднее в исполнении и применяется при измерениях медленно изменяющихся высот вблизи плоскости меридиана наблюдателя.

Для повышения точности измерений обычно наблюдают серию из пяти высот и вычисляют средний арифметический отсчет секстана, который примерно в два раза точнее единичного отсчета. В наблюдениях участвуют два оператора. Первый работает с секстаном: при приближении изображения светила к горизонту подает команду «Товсь!» и в момент касания светилом линии горизонта в нижней части дуги $l - l'$ команду «Ноль!». По последней команде второй оператор, работающий с часами, точно регистрирует момент измерения высоты — отсчеты секунд, минут и часа времени. По окончании серии измерений операторы контролируют запись измерений: первый — проверяет правильность отсчета времени по часам, а второй — последний отсчет секстана.

При необходимости измерение высоты и соответствующего ей момента по часам может выполнить один наблюдатель: в момент касания светилом горизонта он должен мысленно начать отсчет текущих секунд: «ноль — одна», «ноль — две» и т. д., и по счету «пять» заметить и записать показание часов. Отбросив от этого показания 5 с, получить момент измерения OC, установленного на секстане.

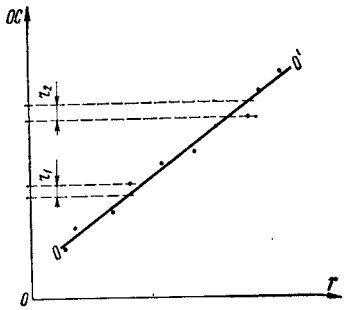


Рис. 57

С такой же целью можно воспользоваться секундомером, пуская его в ход в момент измерения высоты и останавливая на фиксированном отсчете часов. Этот метод широко применяется на судах.

Контроль качества измерений высот удобно выполнять по наибольшему выборочному размаху измерений (рис. 57). Построив график измеренных OC (показаны точками), проводят осредняющую линию $O - O'$ и по оси OC измеряют наибольшие отклонения OC от осредняющей в большую сторону r_1 и в меньшую сторону r_2. Построения рекомендуется выполнять в масштабе $1' = 1$ см и $1^c = 1$ мм, а в серии иметь десять OC. Наибольший размах $R = r_1 + r_2$ (по модулям); если $R \leqslant 1'$, то качество измерений отличное, при $1' < R \leqslant 2'$ качество измерений хорошее, при $2' < R \leqslant 3'$ (для звезд $2' < R \leqslant 5'$)—удовлетворительное. Тренировки в измерениях высот должны быть регулярными, так как эти навыки быстро утрачиваются.

По измеренному OC из формуляра секстана выбирается его инструментальная поправка s, после чего вычисляется измеренная высота светила:

$$h' = OC + i + s. \qquad (66)$$

Измеренная высота должна быть исправлена с учетом поправок за наклонение видимого горизонта (поправка учитывает возвышение глаза наблюдателя над уровнем моря и преломление световых лучей в приводном слое атмосферы) и за астрономическую рефракцию (поправка учитывает преломление идущего от светила луча в земной атмосфере). Величины этих поправок приведены в приложении II (см .табл. II-4). Высота светила, как угол между плоскостью истинного горизонта и истинным направлением на светило, находится последовательно по формулам:

$$h_в = h' - d; \; h = h_в - \rho \pm R^{\odot}_{\odot}; \qquad (67)$$

где $h_в$ — видимая высота над истинным горизонтом; она служит аргументом для выборки рефракции. Полудиаметр Солнца $R^{\odot}$ прибавляется при измерениях высоты его нижнего края и вычитается при измерениях высоты верхнего края.

Если высота светила более 15°, то она может быть исправлена с применением ПЭМК по формуле

$$h = OC + i + s - 1{,}76\sqrt{e_м} - \frac{0{,}97'}{\operatorname{tg} h_в} + (0{,}15' \cos h_в \pm R^{\odot}). \qquad (68)$$

Выражение, стоящее в скобках, вычисляется для Солнца. Для исправления высот планет и Луны необходимо иметь МАЕ и Мореходные таблицы.

Табл. II-4 (см. приложение II) и формула (68) позволяют учесть только приближенное значение наклонения видимого горизонта; в зависимости от высоты глаза наблюдателя e и состояния погоды действительное наклонение может отличаться от табличного до 2′ даже при хороших условиях плавания. Поэтому, как правило, величину d измеряют с помощью наклонномера, внешний вид которого показан на рис. 58, *а*. Наклономер помещают так, чтобы его визирная ось располагалась в плоскости горизонта *Я — Т — Г* (рис. 58, *б*). Луч от более яркого (левого) горизонта *Я* приходит к защитному стеклу *2*, его яркость ослабляется с помощью диафрагмы *1*, далее он поступает на крышеобразную призму *3*, теряет половину светового потока на гранях призм *3* и *7*, проходит объектив *8* и попадает в окуляр *9*. Луч от темной части горизонта *Т* проходит защитное стекло *4*, клиновой компенсатор *6* (установленный в подвижной каретке *5*)

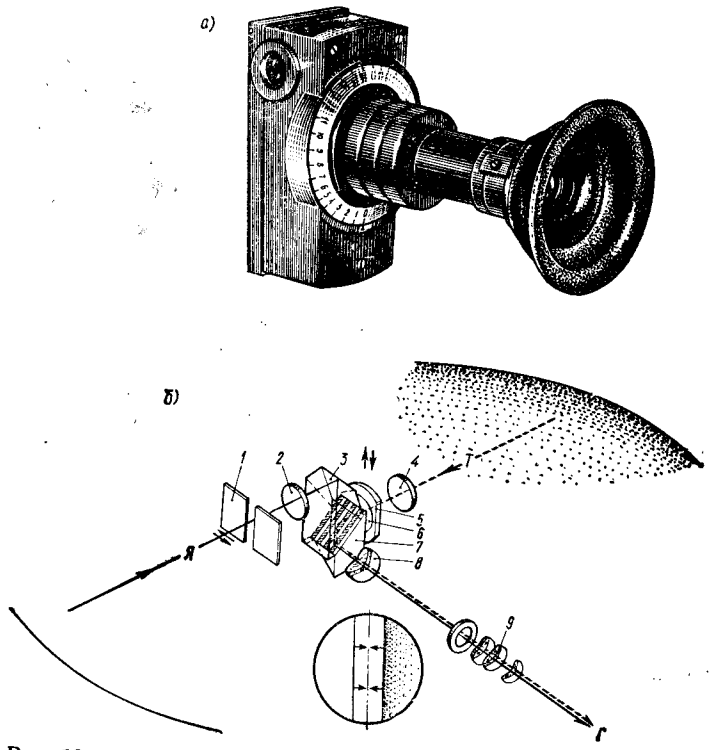


Рис. 58

и поступает на разделительные грани призм *3* и *7*, далее половина этого светового потока попадает в объектив *8* и окуляр *9*. В поле зрения наблюдаются повернутые изображения противоположных сторон горизонта. Задачей наблюдателя является совмещение в середине поля зрения кромок изображений горизонта посредством вращения накатного кольца с укрепленной на нем шкалой для отсчета d, связанного с клиновым компенсатором.

Измерение наклонения состоит из двух операций. Вначале описанным выше путем выполняют первое измерение d и получают первый отсчет d_1. Затем поворачиваются по горизонту на 180°, устанавливают наклономер так, чтобы диафрагма *1* была по-прежнему направлена в сторону яркого горизонта, и выполняют второе измерение d_2. Измеренным d считают среднее значение алгебраической разности полученных отсчетов (с учетом их знаков); его придают измеренной высоте с учетом знака: $d = (d_1 - d_2)/2$.

Наклоиомер типа Н-5 имеет поле зрение 8°, предел измерения угла ±15′, погрешность измерения d не более 0,4′.

Все операции по измерению высоты светила, измерению наклонения горизонта, определению поправок секстана, регистрации момента измерения высоты, исправлению высоты должны контролироваться, так как погрешность в истинной высоте светила даже на 1′ приводит к смещению высотной линии положения на местности на 1 милю.

Для преодоления вредного влияния «мертвого хода» в отсчетном устройстве секстана последнее движение отсчетного барабана следует выполнять в одну и ту же сторону (как при определении поправки секстана, так и при измерении высоты светила).

§ 20. Средства отображения астронавигационной обстановки

Навигационные звезды (см. приложение II, табл. II-3) по их расположению в созвездиях могут быть опознаны с помощью сезонных карт (схем) звездного неба, изображенных на рис. 59—62. Эти карты охватывают северную околополюсную область звездного неба (верхняя часть) и экваториальную область звездного неба, наблюдаемую в тех географических широтах, где расположены моря Советского Союза. Приведенные в табл. II-3 навигационные звезды выделены на схемах белыми кружками; видимый блеск звезд показан размерами их изображений в соответствии со шкалой видимых звездных величин, помещенной в правом верхнем углу каждой схемы (величину 0,0 имеет самая яркая северная звезда Вега из созвездия Лиры; блеск звезд созвездия Большой Медведицы оценивается около 2,0 — он примерно в 6 раз слабее блеска Веги).

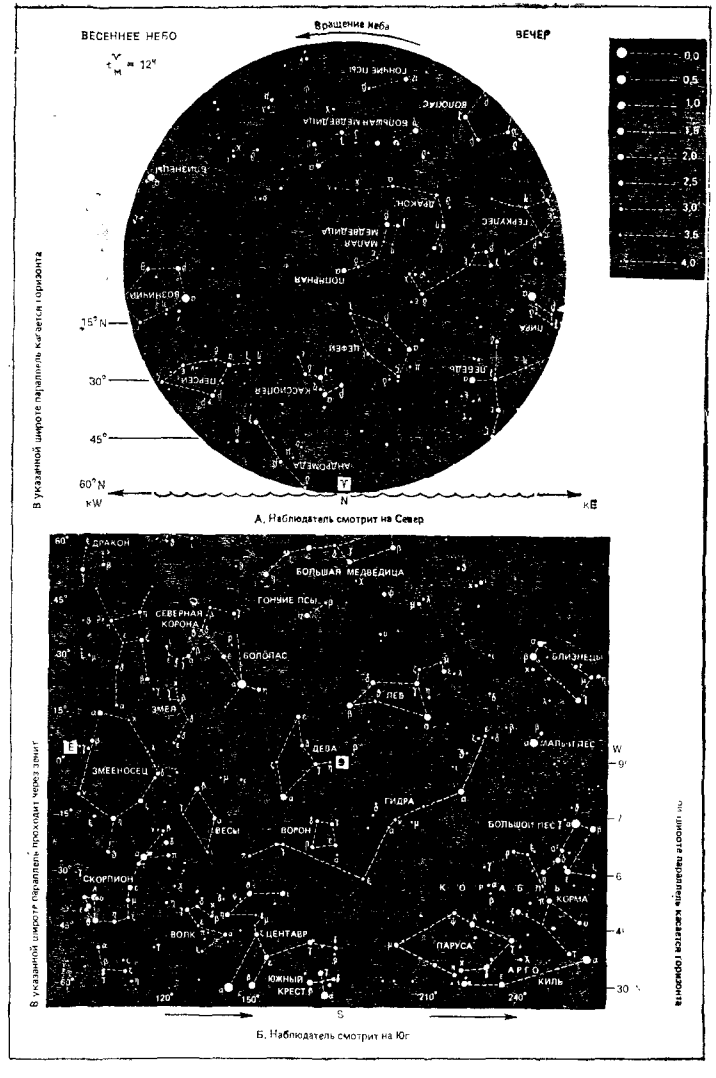


Рис. 59

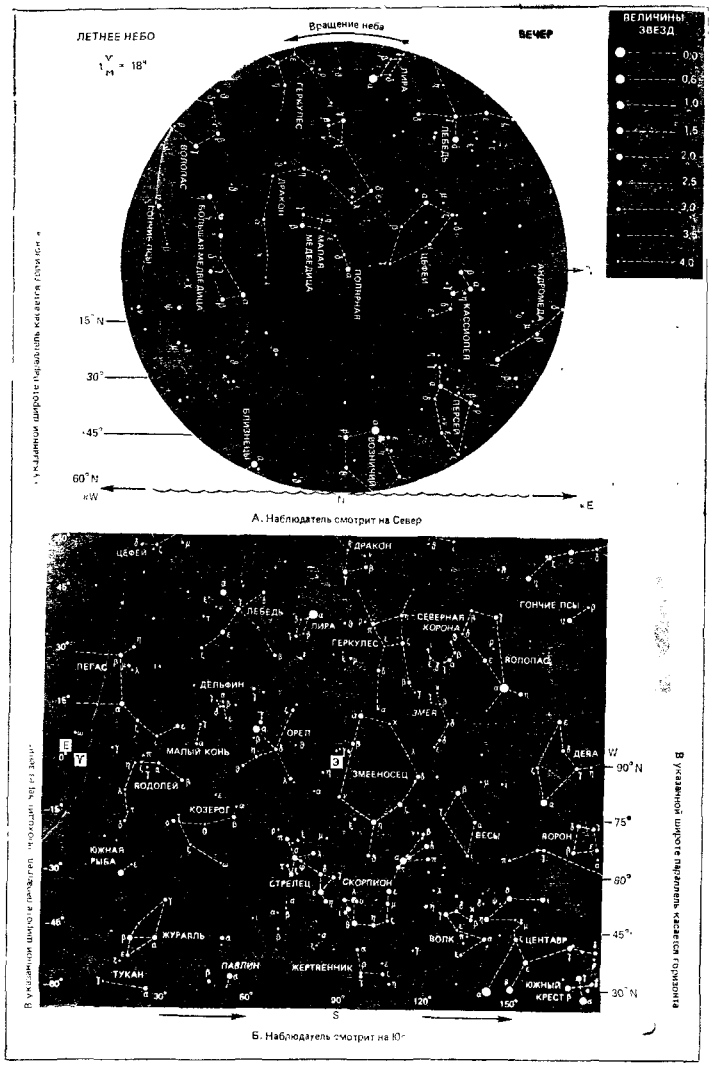

ЛЕТНЕЕ НЕБО
Вращение неба
ВЕЧЕР
ВЕЛИЧИНЫ ЗВЕЗД
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
3,0
3,5
4,0
ЛИРА
ГЕРКУЛЕС
ЛЕБЕДЬ
ВОЛОПАС
БОЛЬШАЯ МЕДВЕДИЦА
ДРАКОН
МАЛАЯ МЕДВЕДИЦА
ПОЛЯРНАЯ
ЦЕФЕЙ
КАССИОПЕЯ
АНДРОМЕДА
ПЕРСЕЙ
ВОЗНИЧИЙ
БЛИЗНЕЦЫ
15° N
30°
45°
60° N
W
E
N
А. Наблюдатель смотрит на Север
ЦЕФЕЙ
ДРАКОН
ЛЕБЕДЬ
ЛИРА
СЕВЕРНАЯ КОРОНА
ГЕРКУЛЕС
ГОНЧИЕ ПСЫ
ПЕГАС
ВОЛОПАС
ДЕЛЬФИН
ЗМЕЯ
ОРЕЛ
МАЛЫЙ КОНЬ
ЗМЕЕНОСЕЦ
ДЕВА
ВОДОЛЕЙ
КОЗЕРОГ
ВЕСЫ
ВОРОН
ЮЖНАЯ РЫБА
СТРЕЛЕЦ
СКОРПИОН
ЖУРАВЛЬ
ВОЛК
ЦЕНТАВР
ТУКАН
ПАВЛИН
ЖЕРТВЕННИК
ЮЖНЫЙ КРЕСТ
90° N
75°
60°
45°
30° N
S
Б. Наблюдатель смотрит на Юг

Рис. 60

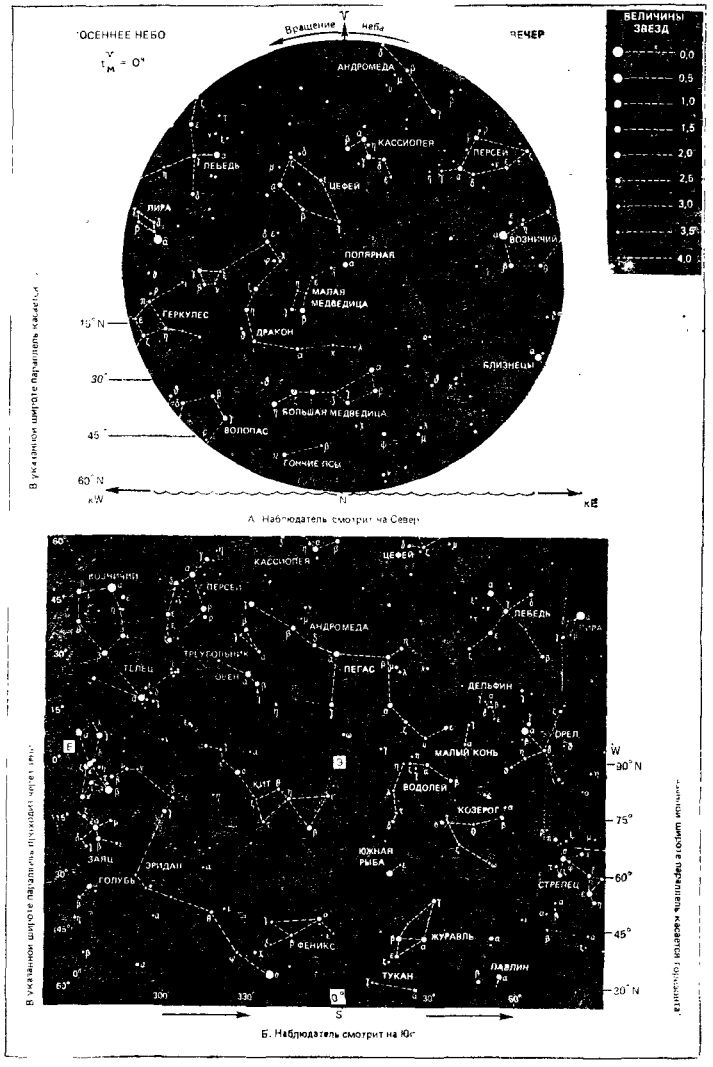

ОСЕННЕЕ НЕБО
Вращение неба
ВЕЧЕР
ВЕЛИЧИНЫ ЗВЕЗД
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
3,0
3,5
4,0
АНДРОМЕДА
КАССИОПЕЯ
ПЕРСЕЙ
ЛЕБЕДЬ
ЦЕФЕЙ
ЛИРА
ВОЗНИЧИЙ
ПОЛЯРНАЯ
МАЛАЯ МЕДВЕДИЦА
ГЕРКУЛЕС
ДРАКОН
БЛИЗНЕЦЫ
БОЛЬШАЯ МЕДВЕДИЦА
ВОЛОПАС
ГОНЧИЕ ПСЫ
15° N
30°
45°
60° N
W
E
N
А. Наблюдатель смотрит на Север
КАССИОПЕЯ
ЦЕФЕЙ
ВОЗНИЧИЙ
ПЕРСЕЙ
ЛЕБЕДЬ
АНДРОМЕДА
ТРЕУГОЛЬНИК
ОВЕН
ПЕГАС
ДЕЛЬФИН
ОРЕЛ
МАЛЫЙ КОНЬ
КИТ
ВОДОЛЕЙ
КОЗЕРОГ
ЮЖНАЯ РЫБА
ЗАЯЦ
ЭРИДАН
ГОЛУБЬ
СТРЕЛЕЦ
ФЕНИКС
ЖУРАВЛЬ
ТУКАН
ПАВЛИН
90° N
75°
60°
45°
30° N
S
Б. Наблюдатель смотрит на Юг

Рис. 61

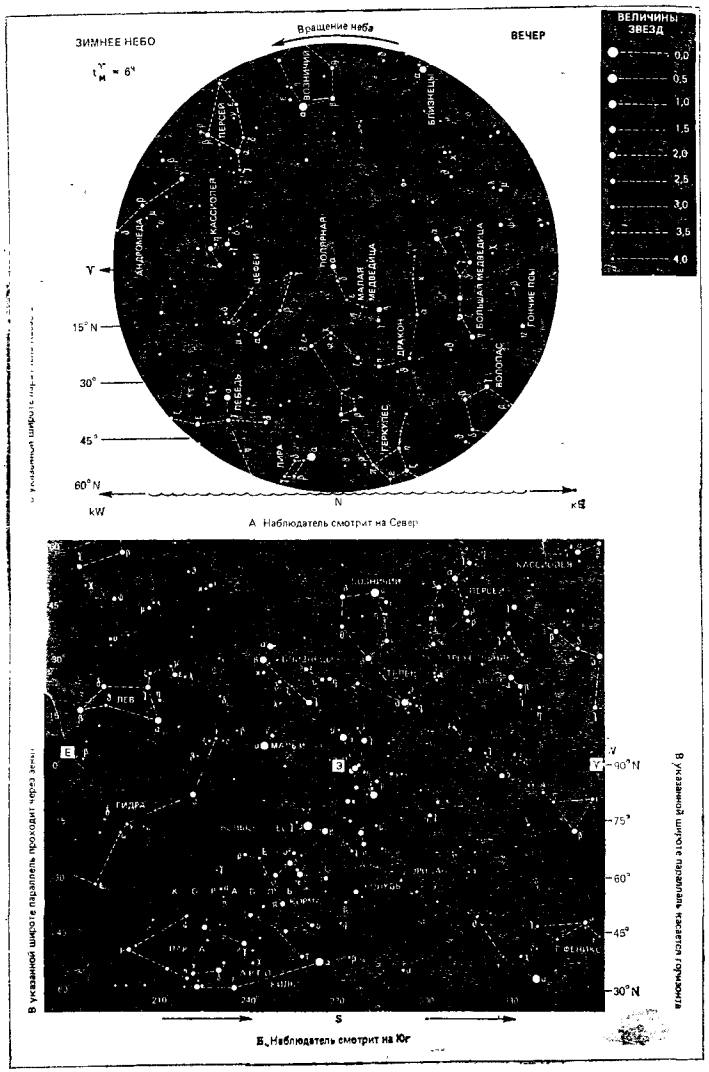


Рис. 62

Схемы показывают вид звездного неба вечером в соответствующие сезоны года. Ими можно пользоваться в другие сезоны и в другое время суток, если руководствоваться табл. 12. Аргументом для входа в эту таблицу служит *меридианное* время $T_м$ (см. гл. 2); его величину с погрешностью до получаса можно получить, уменьшив на $1^ч$ принятое на территории СССР зимнее декретное время или уменьшив на $2^ч$ летнее декретное время. В морских условиях $T_м$ вычисляют по формуле

$$T_м = T_с \mp №^{E}_{cW} \pm \lambda^{E}_{W}. \qquad (69)$$

Пример. Наблюдениям звезд 8 мая в пункте с координатами $\varphi = 59°N$; $\lambda = 25°E$ в момент $T_с = 00^ч\,30^м$ по летнему московскому времени соответствует меридианное время 7 мая $T_м = 00^ч\,30^м - 4^ч + 1^ч\,40^м = 22^ч\,10^м$.

Для выражения долготы в часовой мере принимается $1° = 4^м$. Согласно таблице полученному $T_м$ ближе всего соответствует схема на рис. 59, составленная для $T_м = 21^ч$. Мы наблюдаем на $1^ч\,10^м$ позже табличного момента, и поэтому наблюдаемые созвездия окажутся смещенными к западу на величину дуги $70^м : 4^м = 18°$.

Наилучшим образом астронавигационная обстановка отображается с помощью звездного глобуса (рис. 63). Глобус должен быть установлен по широте места судна и звездному времени наблюдений $t^{♈}_{м}$ (местному часовому углу точки весеннего равноденствия, в которой Солнце находится 21 марта и которая

Таблица 12. **Сроки наблюдений звездного неба по сезонным схемам**

Время	$T_м$, ч	Рис. 59	Рис. 60	Рис. 61	Рис. 62
Вечер	18	Июнь 22	Сентябрь 21	Декабрь 21	Март 22
	19	Июнь 6	Сентябрь 5	Декабрь 6	Март 7
	20	Май 22	Август 21	Ноябрь 20	Февраль 19
	21	Май 7	Август 6	Ноябрь 5	Февраль 4
	22	Апрель 21	Июль 22	Октябрь 21	Январь 20
Ночь	23	Апрель 6	Июль 6	Октябрь 6	Январь 5
	24 (0)	Март 23	Июнь 22	Сентябрь 21	Декабрь 22
	1	Март 7	Июнь 7	Сентябрь 6	Декабрь 6
Утро	2	Февраль 20	Май 22	Август 22	Ноябрь 21
	3	Февраль 5	Май 7	Август 6	Ноябрь 6
	4	Январь 21	Апрель 22	Июль 22	Октябрь 21
	5	Январь 5	Апрель 7	Июль 7	Октябрь 6
	6	Декабрь 21	Март 22	Июнь 22	Сентябрь 21
Звездное время $t^{♈}_{м}$		$12^ч$ (180°)	$18^ч$ (270°)	$0^ч$ (360°)	$6^ч$ (90°)

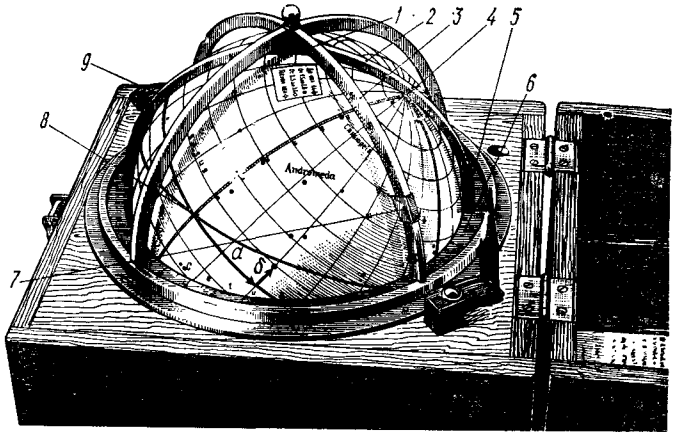


Рис. 63

Таблица 13. **Поправка компаса по наблюдениям звезды (программа для ПЭМК)**

Шаг	Команда	Код	Итог	Шаг	Команда	Код	Итог	Шаг	Команда	Код	Итог
00	ИП4	64		31	+	10		62	ИП8	68	
01	ИПД	6Г		32	ПА	4–		63	F sin	1С	
02	:	13		33	с/п	50	$\Delta\lambda^*_м$	64	ИП0	60	
03	П4	44						65	F cos	1Г	
04	ИП1	61						66	:	13	
05	ИП5	65		34	ИП9	69		67	ИП3	63	
06	×	12		35	ИП0	60		68	F cos	1Г	
07	ПС	4С		36	×	12		69	:	13	
08	ИП2	62		37	ИПД	6Г		70	ИП0	60	
09	ИП6	66		38	:	13		71	F tg	1Е	
10	×	12		39	ИП8	68		72	П0	40	
11	ИПС	6С		40	+	10		73	ИПД	6Г	
12	+	10		41	П8	48		74	×	12	
13	ИП4	64		42	с/п	50	$ч_σ$	75	–	11	
14	+	10						76	П9	49	
15	ИП3	63						77	F arccos	1–	
16	+	10		43	ИП0	60		78	П4	44	
17	П3	43	$t^{\curlyvee}_{гр}$	44	F sin	1С		79	ИП1	61	
				45	ИП8	68		80	ИПВ	6L	
				46	F sin	1С		81	2	02	
18	ИП7	67		47	×	12		82	:	13	
19	+	10		48	ИП0	60		83	–	11	
20	ПС	4С		49	F cos	1Г		84	Fx ⩾ 0	59	
21	с/п	50	$t^{\curlyvee}_{м}$	50	ИП8	68		85	90	90	
				51	F cos	1Г		86	ИПВ	6L	
				52	×	12		87	ИП4	64	
22	ИПВ	6L		53	ИПА	6–		88	–	11	
23	ИП0	60		54	F cos	1Г		89	П4	44	$ИП_σ$
24	×	12		55	×	12					
25	ИПД	6Г		56	+	10					
26	:	13		57	F arcsin	19		90	ИП4	64	
27	ИПА	6–		58	П3	43		91	ИП1	61	
28	+	10		59	с/п	50	h_c	92	–	11	
29	ПА	4–						93	П2	42	
30	ИПС	6С						94	с/п	50	ΔK
				60	F tg	1Е					
				61	ПД	4Г					
									[F] [АВТ]		

принята за начало счета звездного угла τ^*, определяющего положение меридиана звезды на карте или на глобусе).

Установка глобуса по широте (см. рис. 63): в северной широте, передвигая меридианное кольцо *2*, помещают Северный полюс *4* над точкой *N* горизонта *5* на угловом расстоянии, равном 90° — φ. При правильной установке под зенитом *1* на меридианном кольце должен быть отсчет, равный широте места. Северный полюс опознается по Полярной звезде. При плавании в южной широте таким же путем Южный полюс глобуса устанавливают над точкой *S* горизонта.

Установка глобуса по звездному времени. Вначале согласно табл. 13 и 14 с помощью ПЭМК вычисляют значение $t^{\curlyvee}_{м}$ (звездного времени) для заданного момента наблюдений по судовому времени в заданной долготе места наблюдений. Полученный отсчет $t^{\curlyvee}_{м}$ находят на шкале экватора глобуса и совмещают его с меридианным кольцом (положение *9*).

Дуга экватора от точки весеннего равноденствия *8*, соответствующей отсчету 360° (XXIV^ч) на экваторе, до меридиана

Таблица 14. **Ввод исходных данных и организация вычислений поправки компаса по наблюдениям звезды**

Аргументы, константы	Адрес ввода	Прохождение информации (с решением примера 1)		
		исходной	промежуточной	итоговой
Год — 1984	П0	2	$φ_м = 41{,}583\,333$	
Гринвичская дата — 1	П1	24	$КП_σ = 235{,}5$	
$T^ч_{гр}$	П2	12,3		$\Delta K = -3{,}1°$
Табл. 11–2А (приложение 11)	П3	249,150 0	$(457{,}842\,18 = t^{\curlyvee}_{гр})$	$(h_c = 20{,}670\,8)$
Табл. 11–2Б	П4	1,9		$(ИП_σ = 232{,}437)$
0,985 65	П5	0,985 65		
15,041 05	П6	15,041 05		
$λ_м$	П7	152,366 7		
Табл. 11–3А	П8	–11,08	$(-11{,}090\,3 = φ_σ)$	
Табл. 11–3А	П9	–0,31		
Табл. 11–3Б	ПА	158,91	$(769{,}092\,5 = \Delta\lambda^*_м)$	
Табл. 11–3Б	ПВ	–0,79	360	
	ПС	0	$(619{,}208\,9 = t^{\curlyvee}_{м})$	
	ПД	60		

Примечания. 1. В скобках указаны значения для тестовой задачи.

2. Правило знаков при вводе информации: северная широта и восточная долгота — положительны, южная широта и западная долгота — отрицательны. Звездное время $t^{\curlyvee}_{т}$ и звездный угол τ^* всегда положительны.

светила обозначается α и называется *прямым восхождением*; по указанным в Морском астрономическом ежегоднике величинам прямого восхождения и склонения планет можно нанести на глобус их видимые места в дату наблюдений.

Отсчитав по дуге горизонта *6* величину *ИП* наблюдавшегося светила и установив на этом отсчете вертикал *3*, согласно наблюдавшейся высоте светила по шкале вертикала наводят индекс *7* и опознают звезду или планету.

На рис. 63 показана установка глобуса для $\varphi = 50^\circ N$, $t_м^\Upsilon = 50^\circ W$, $ИП = 45^\circ$ и $h = 30^\circ$. По этому целеуказанию опознана звезда α Персея (Мирфак). Показано также положение видимого места планеты, имеющей прямое восхождение $\alpha = 30^\circ$ (или $\tau^* = 360^\circ - \alpha = 330^\circ$) и склонение $\delta = 10^\circ N$.

Погрешности решения астронавигационных задач с помощью глобуса не превышают 1,5—2° в угловых величинах и 6—8 мин во времени. Поворот глобуса на 15° по шкале экватора в сторону запада соответствует наблюдениям на 1 ч позже того момента $T_с$, для которого было найдено звездное время $t_м^\Upsilon$: поворот глобуса на 1° соответствует изменению срока наблюдений на 4 мин.

§ 21. Применение микрокалькулятора при определении поправки компаса по светилу

Изложенный в § 18 принцип ориентирования по направлению движения судна и определения поправки компаса по наблюдениям светила (см. рис. 52) реализуется следующим путем.

При подготовке к наблюдениям подбирают навигационное светило, расположенное на малой высоте. Лучше всего наблюдать светила прямовидимо, не прибегая к помощи имеющегося на пеленгаторе компаса откидного зеркала. Не рекомендуется пеленговать светила на высотах более 60°, так как при отклонении визирной плоскости пеленгатора от вертикала светила на некоторый угол i погрешность компасного пеленга возрастает пропорционально тангенсу высоты светила: $\Delta КП = i \operatorname{tg} h$ (при $h = 45^\circ$ $\Delta КП = i$).

Для определения поправки компаса измеряют *КП* светила и момент пеленгования по судовому времени $T_с$. Лучше измерить серию из 3—5 компасных пеленгов и моментов, а в дальнейших вычислениях использовать средние арифметические значения *КП* и *T*; эта рекомендация особенно важна при работе на качке.

При измерениях с пеленгатором гирокомпаса типа ПГК-2 необходимо тщательно совмещать визирную нить, светило и уровень в середине поля зрения. При работе с магнитным компасом следует избегать наклона его котелка вправо или влево от плоскости пеленгования.

Содержание действий судоводителя рассмотрим на примере. ПЭМК включают в работу в режиме «Градусы». Затем, действуя согласно порядку, изложенному в приложении I, вводят программу вычислений поправки компаса по наблюдениям звезд из табл. 13; проверяют правильность ввода программы.

Пример 1. 25 июня 1986 г. в момент по судовому времени $T_с = 22^ч 18^м$ ($№_с = 10^ч E$) по магнитному компасу измерили пеленг на яркую голубовато-белую звезду $КП = 235{,}5^\circ$, наблюдавшуюся на высоте около 20°. Необходимо определить:

1) поправку магнитного компаса;

2) курсовой угол, на котором должна в этот момент наблюдаться звезда, если курс судна равен $ИК = 200^\circ$.

После выполнения наблюдений компасных пеленгов и соответствующих им моментов времени вычисляют средние арифметические *КП* и момент $T_с$; по навигационной прокладке находят координаты места судна, например $\varphi^м = 41^\circ 35' N$ и $\lambda_м = 152^\circ 22' E$.

Подготовка исходных данных о времени наблюдений для ввода в ПЭМК:

Год работы . .	1986	Дата на судне . . .	июнь 25	$T_с = 22^ч 18^м$
Год АНТ . . .	1984	Гринвичская дата	июнь 25	$№_с = 10E$
Разность . . .	2	Гринвичское время		$T_{гр} = 12^ч 18^м$

Вводят исходную информацию согласно табл. 14, обращая внимание на указанное правило знаков аргументов. Величины из табл. II-2 и II-3 приложения II вводятся непосредственно в приведенном в таблицах виде; южная величина φ^* получает знак (—). Если звезда не была опознана, то после ввода информации по адресам [П0]—[П7] и [ПД] ПЭМК пускают в работу клавишами [в/о] [с/п].

После останова счета на табло ПЭМК видно звездное время $t_м^\Upsilon$, которое при необходимости уменьшают на 360°. В нашем примере $t_м^\Upsilon = 610{,}2^\circ - 360^\circ = 250{,}2^\circ$. Согласно изложенному в § 20, устанавливают глобус по широте и времени наблюдений. По наблюдавшимся *КП* и приближенной высоте звезды на глобусе опознают звезду α Девы (Спика). Затем вводят данные о координатах звезды из табл. II-3 по адресам [П8]—[ПВ]; клавишей [с/п] пускают ПЭМК в работу. После второго останова счета на табло видна разность долгот меридианов места судна и ГМС: $\Delta\lambda_м^* = 769{,}092\,5^\circ - 2 \times 360^\circ = 49{,}092\,5^\circ$.

Далее клавишей [с/п] пускают ПЭМК в работу и после третьего останова счета на табло имеют широту ГМС $\varphi_\sigma = -11{,}090\,3$.

Два последних останова счета предназначены для проверки правильности работы ПЭМК при решении тестовой задачи.

Вводят промежуточную информацию по адресам [П0], [П1], [ПВ]; клавишей [с/п] пускают ПЭМК в работу. После четвертого останова на табло видна высота светила h_c, вычисленная для места судна; она также используется в тестовой задаче.

Клавишей [с/п] производят последний пуск ПЭМК и после останова счета получают на табло искомую поправку компаса $\Delta K = -3{,}1°$.

Для вычисления курсового угла светила нажатием клавиш [ИП4] выводят на табло $ИП_\sigma = 232{,}4°$ и вычисляют: $q = ИП_\sigma - ИК = 232{,}4° - 200° = +32{,}4°$ (правый борт).

Если требуется повторное решение задачи, то необходимо заново ввести информацию согласно табл. 14.

Если была опознана планета, то по Морскому астрономическому ежегодинку вычисляют координаты ее ГМС δ и $t_м = t_{гр} \pm \lambda^{E}_{мW}$, которые вводят как промежуточную информацию по адресам [П8] и [ПА] соответственно. Счет ведут далее нажатием клавиш [БП] [43] [с/п] (опуская шаги программы 22—42). Аналогично вычисляют ΔK по Луне.

Для вычисления h_c и $ИП_\sigma$ в программе были использованы формулы:

$$\sin h_c = \sin \varphi_м \sin \varphi_\sigma + \cos \varphi_м \cos \varphi_\sigma \cos \Delta\lambda^{*}_{м}; \qquad (70)$$

$$\cos A = \sec \varphi_м \sec h_c \sin \varphi_\sigma - \operatorname{tg} \varphi_м \operatorname{tg} h_c. \qquad (71)$$

Эти формулы выводятся из навигационного (параллактического) треугольника $P_nM\sigma$ (см. рис. 52) по правилам сферической тригонометрии. Формула (71) дает азимут A в полукруговом счете, для представления его в форме истинного пеленга предназначены шаги 79—89 программы вычислений. В ходе этой операции учитывается величина $КП$ светила, поэтому наблюдать светила непосредственно вблизи точек N и S горизонта не рекомендуется (особенно при больших ΔK).

Содержание действий судоводителя при определении поправки компаса по наблюдениям Солнца рассмотрим на примере 2.

Действуя согласно приложению I, заблаговременно вводят в ПЭМК программу вычислений из табл. 15 и проверяют правильность ее ввода; затем решают приведенную в табл. 16 тестовую задачу и убеждаются в исправности ПЭМК.

Измеряют серию $КП$ Солнца и соответствующих им моментов T_c; вычисляют средние арифметические $КП_\sigma$ и T_c; по навигационной прокладке находят координаты места судна $\varphi_м$ и $\lambda_м$.

Пример 2. 30 июня 1998 г. в момент по судовому времени $T_c = 20^ч 55^м 27^с$ (часы установлены по 6-му восточному поясу) по гирокомпасу получен $КП$ Солнца, равный 291,5°. Координаты места наблюдений: $\varphi_м = 71° 32'N$, $\lambda_м = 62° 15'E$. Необходимо определить:

1) поправку гирокомпаса;

Таблица 15. **Поправка компаса по наблюдениям Солнца (программа для ПЭМК)**

Шаг	Команда	Код	Итог	Шаг	Команда	Код	Итог	Шаг	Команда	Код	Итог
00	ИП4	64		34	+	10		68	П5	45	h_c
01	ИП0	60		35	ИПА	6–					
02	×	12		36	+	10					
03	П4	44		37	ИП9	69		69	F tg	1E	
04	ИП5	65		38	+	10		70	ИП6	66	
05	ИП1	61		39	ИПД	6Г		71	F tg	1E	
06	×	12		40	:	13		72	×	12	
07	П5	45		41	ИП8	68		73	(–)	0L	
08	ИП6	66		42	+	10		74	ИП3	63	
09	ИП2	62		43	П8	48		75	F sin	1C	
10	×	12		44	ИП2	62		76	ИП0	60	
11	ИП7	67		45	1	01		77	F cos	1Г	
12	+	10		46	5	05		78	:	13	
13	ИП4	64		47	×	12		79	ИП5	65	
14	+	10		48	ИП8	68		80	F cos	1Г	
15	ИП5	65		49	+	10		81	:	13	
16	+	10		50	П8	48	$\lambda^{\odot}_{\sigma}$	82	+	10	
17	ИПД	6Г						83	F arccos	1–	
18	:	13		51	с/п	50		84	П4	44	Δ
19	ИП3	63									
20	+	10									
21	П3	43	$\varphi^{\odot}_{\sigma}$	52	ИП7	67		85	ИП1	61	
				53	+	10	$\Delta\lambda^{\odot}_{м}$	86	ИПВ	6L	
								87	2	02	
				54	F cos	1Г		88	:	13	
22	ИП9	69		55	ИП9	69		89	–	11	
23	ИП0	60		56	F cos	1Г		90	Fx ⩾ 9	59	
24	×	12		57	×	12		91	96	96	
25	П9	49		58	ИП3	63		92	ИПВ	6L	
26	ИПА	6–		59	F cos	1Г		93	ИП4	64	
27	ИП1	61		60	×	12		94	–	11	
28	×	12		61	ИП0	60		95	П4	44	$ИП_\sigma$
29	ПА	4–		62	F sin	1C					
30	ИПВ	6L		63	ИП3	63					
31	ИП2	62		64	F sin	1C		96	ИП4	64	
32	×	12		65	×	12		97	с/п	50	
33	ИПС	6C		66	+	10					
				67	F arcsin	19			[F] [АВТ]		

Примечание. При вычислении ΔK после останова счета и высвечивания на табло величины $ИП_\sigma$ следует нажать клавиши [ИП1], [–] и прочитать ответ на табло.

2) курсовой угол, на котором в данный момент должно наблюдаться Солнце, если судно следует по $ИК = 310°$;

3) курсовой угол Солнца спустя 20 мин после начального момента.

Подготовка исходных данных для ввода в ПЭМК:

Дата на судне—1998 г.	июнь 30	$T_c = 20^ч 55^м 27^с$; $№_c = 6E$
Гринвичская дата—1998 г.	июнь 30	$T_{гр} = 14^ч 55^м 27^с$.

Действуя согласно табл. 16, вводят исходные данные:

1) вычисляют количество полных четырехлетних циклов, прошедших после 1984 г., и остаток; в нашем примере: 1998—1984 = 14; 14 : 4 = 3 цикла; в остатке 2 года;

2) вводят количество циклов по адресу [П] [0];

3) в табл. II-1 находят ближайшую меньшую гринвичскую дату $Д_т = 28$; вычисляют разность заданной даты и $Д_т$: $Д_{гр} - Д_т = 2$ и вводят по адресу [П] [1];

4) из табл. II-1 выбирают на $Д_т$ величины $\varphi^{\odot}$ (по модулю), K_4, K_5, K_6, K_7^2, $\lambda^{\odot}$, K_9, K_A, K_B, K_C^2, и вводят по указанным адресам: при этом K_7^2 и K_C^2 выбирают по величине остатка 2;

5) вводят гринвичское время по адресу [П] [2], выразив его в долях часа, в нашем примере:

14 [↑] 55 [↑] 27 [↑] 60 [:] [+] 60 [:] [+] [П] [2]

6) вводят число 60 по адресу [П] [Д].

Пускают ПЭМК в работу клавишами [в/с], [с/п]. После останова счета необходимо сделать следующее:

при решении тестовой задачи проверить величину $\varphi^{\odot}$ по адресу [ИП] [3] и величину $\lambda^{\odot}$ по адресу [ИП] [8];

если в табл. II-1 указано южное наименование $\varphi^{\odot}$, то нажать клавишу [(—)]; полученное $-\varphi^{\odot}$ ввести по адресу [П] [3];

ввести промежуточную информацию согласно табл. 16;

для продолжения решения нажать клавиши [ИП], [8] и [с/п]; после останова счета на табло и по адресу [ИП] [4] находится $ИП_{\sigma}$;

для расчета ΔK нажать клавиши [ИП], [1], [—]; в нашем примере: $\Delta K = ИП_{\sigma} - КП_{\sigma} = 291{,}7° - 291{,}5° = +0{,}2°$.

Курсовой угол Солнца в момент $T_c = 20^ч 55^м$: $q = 291{,}7° - 310° = -18{,}3°$.

Курсовой угол Солнца в момент $T_c = 21^ч 15^м$: $q = 296{,}3° - 310° = -13{,}7°$ (знак «минус» указывает на q левого борта).

Вычисление $ИП_{\sigma}$ на момент $T_c = 20^ч 55^м + 20^м = 21^ч 15^м$ сводится к следующему. Полагая, что изменение времени на 4 мин соответствует изменению часового угла светила на 1°, выполняем следующие операции:

[ИП] [8] [↑] 20 [↑] 4 [:] [+] [БП] [52] [с/п]

После останова счета на табло получим $ИП_{\sigma} = 296{,}3°$.

Аналогичными действиями можно получать q на любой необходимый момент T_c и управлять движением судна по заданному курсу, удерживая Солнце или другое светило на необходимом q. Этим же путем можно находить истинные и магнитные пеленги Солнца и других светил на период выполнения девиационных работ как в порту, так и в открытом море.

Таблица 16. **Ввод исходных данных и организация вычислений поправки компаса по наблюдениям Солнца**

Аргументы, константы	Адрес ввода	Прохождение информации (с решением примера)		
		исходной	промежуточной	итоговой
Циклы	П0	3	$\varphi_м = 71{,}533\,3N$	
$Д - Д_т$	П1	2	$КП_6 = 291{,}5°$	
$T^ч_{гр}$	П2	14.924 167	0	
$\varphi^{\odot}_{табл.\ II\text{-}1}$	П3	23.283 3 (по модулю)	$(\varphi^{\odot} = 23{,}145\,8N)$	
K_4	П4	−0,25	0	$ИП_{\sigma} = 291{,}7°$
K_5	П5	−3,4	0	$h_c = 17{,}241\,4°$
K_6	П6	−0,134	0	
K_7	П7	1,3	$\lambda_м = 62{,}25E$	
$\lambda^{\odot}_{табл.\ II\ 1}$	П8	179,216 7	$(\lambda^{\odot} = 402{,}964\,1)$	
K_9	П9	−0,03	0	
K_A	ПА	−2,967	0	
K_B	ПВ	−0,126	360	
K_C	ПС	1	0	
60	ПД	60	0	

Примечания. 1. Правило знаков при вводе информации: северная широта и восточная долгота положительны, южная широта и западная долгота отрицательны. Величины $\varphi^{\odot}$ и $\lambda^{\odot}$ из табл. II-1 вводятся по модулю; знак $\varphi^{\odot}$ вводится при промежуточной информации согласно наименованию $\varphi^{\odot}$, указанному в табл. II-1.

2. После первого останова счета контролируют расчет $\varphi^{\odot}$ и $\lambda^{\odot}$ (для тестовой задачи). Для продолжения счета вводят промежуточную информацию, затем нажимают клавиши [ИП] [8] [с/п]. После второго останова счета нажимают клавиши [ИП] [1] [—] и читают ответ на табло: $+0{,}2° = \Delta K$.

Затраты времени при решении на ПЭМК рассмотренной задачи составляют: ввод программы и контроль ввода — до 4 мин; решение тестовой задачи — до 5 мин; непосредственное решение задачи — до 5 мин.

Точность решения задачи ориентирования по направлению движения судна и определения поправки компаса при пользовании Астронавигационными таблицами (см. приложение II) вполне достаточна для навигации малых судов.

При наличии Морского астрономического ежегодника эта же задача решается с помощью табл. 17 и 18.

После ввода программы из табл. 17 и ее контроля решают тестовую задачу из табл. 18 и убеждаются в исправности ПЭМК.

Пример 3. 30 октября 1984 г. $T_c = 08^ч 07^м$ ($№_c = 11E$) измерили $КП$ Солнца, равный 131,4°; $\varphi_м = 58° 46'N$; $\lambda_м = 168° 40'E$. Определить ΔK.

Гринвичское время — 29 октября 1984 г. $T_{гр} = 21^ч 07^м$.

Таблица 17. **Вычисление поправки компаса с использованием Морского астрономического ежегодника**

Шаг	Команда	Код	Итог	Шаг	Команда	Код	Итог	Шаг	Команда	Код	Итог
00	ИП3	63		27	ИП0	60		54	F tg	1E	
01	ИП2	62		28	F sin	1C		55	П0	40	
02	−	11		29	ИПС	6C		56	ИПД	6Г	
03	ИПВ	6L		30	F sin	1C		57	×	12	
04	+	10		31	×	12		58	−	11	
05	ИПД	6Г		32	ИП0	60		59	П9	49	
06	:	13		33	F cos	1Г		60	F arcos	1−	
07	ИП6	66		34	ИПС	6C		61	ПА	4−	A
08	×	12		35	F cos	1Г					
09	ИП2	62		36	×	12		62	ИП8	68	
10	+	10		37	ИПА	6−		63	ИПВ	6L	
11	ИП1	61		38	F cos	1Г		64	2	02	
12	+	10		39	×	12		65	:	13	
13	с/п	50	$t^{\vee}_{м}$	40	+	10		66	−	11	
				41	F arcsin	19		67	Fx ⩾ 0	59	
14	ИП9	69		42	П7	47	h_c	68	73	73	
15	+	10						69	ИПВ	6L	
16	ПА	4−	$\Delta\lambda^*_м$	43	F tg	1E		70	ИПА	6−	
				44	ПД	4Г		71	−	11	
17	ИП5	65		45	ИПС	6C		72	ПА	4−	
18	ИП4	64		46	F sin	1C		73	ИПА	6−	$ИП_\sigma$
19	−	11		47	ИП0	60					
20	ИПД	6Г		48	F cos	1Г		74	ИП8	68	
21	:	13		49	:	13		75	−	11	
22	ИП6	66		50	ИП7	67		76	с/п	50	ΔK
23	×	12		51	F cos	1Г					
24	ИП4	64		52	:	13					
25	+	10		53	ИП0	60					
26	ПС	4C	φ_σ								

|F| |АВТ|

Таблица 18. **Ввод исходных данных и организация вычислений поправки компаса по наблюдениям светил при использовании МАЕ**

Аргументы, константы		Адрес ввода	Прохождение информации (с примером)	
Звезды	Планеты, Солнце, Луна		исходной	итоговой
$\varphi_м$	$\varphi_м$	П0	58,766 7	
$\lambda_м$	$\lambda_м$	П1	168,666 7	
$t^{\vee}_{00}$	t_{00}	П2	184,065 0	
$t^{\vee}_{24}$	t_{24}	П3	184,080 0	
δ	δ_{00}	П4	−13,440 0	
δ	δ_{24}	П5	−13,770 0	
$T_{гр}$	$T_{гр}$	П6	21,116 7	
0	0	П7		h_c=6,742 9°
$КП_\sigma$	$КП_\sigma$	П8	131,4	
τ^*	0	П9	0	
0	0	ПА	0	$ИП_\sigma$=131,0°
360	360	ПВ	360	
0	0	ПС	0	
24	24	ПД	24	

Примечание. Правило знаков при вводе информации следующее: северная широта, северное склонение, восточная долгота — положительны; южная широта, южное склонение западная долгота — отрицательны

Порядок решения этой задачи следующий:

1) Аналогично показанному в примерах 1 и 2 вычислить гринвичское время измерения $КП_\sigma$ и гринвичскую дату; $T_{гр}$ ввести по адресу [П] [6], $КП_\sigma$ — по адресу [П] [8]; координаты места наблюдений $\varphi_м$ и $\lambda_м$ ввести соответственно по адресам [П] [0] и [П] [1].

2) При наблюдениях звезд выбрать из МАЕ на $00^ч$ заданной гринвичской даты величину $t_{гр}$ точки Овна (обозначим ее $t^{\vee}_{00}$) и эту же координату на $00^ч$ следующей гринвичской даты (обозначим ее $t^{\vee}_{24}$); ввести $t^{\vee}_{00}$ и $t^{\vee}_{24}$ соответственно по адресам [П] [2] и [П] [3]; ввести константы по адресам [П] [В] и [П] [Д].

3) Если наблюдавшееся светило не опознано, то пустить ПЭМК в работу клавишами [в/о], [с/п]; после останова счета на табло видно звездное время $t^{\vee}_{м}$, которое используют для установки звездного глобуса с целью опознания светила (см. § 20).

4) Если опознана звезда, то выбрать из МАЕ и ввести по адресам [П] [4] и [П] [5] ее склонение δ; по адресу [П] [9] ввести величину τ^*; пустить ПЭМК в работу клавишей [с/п]; после останова счета на табло видна ΔK, по адресу [ИП] [А] находится $ИП_\sigma$.

5) Если опознана планета, то выбрать из МАЕ для нее величины t_{00} и δ_{00} на $00^ч$ заданной даты, t_{24} и δ_{24} на $00^ч$ следующей даты и ввести их по указанным адресам; нажатием клавиш [в/о], [с/п] пустить ПЭМК в работу, после останова счета вновь нажать [с/п]; по окончании второго этапа вычислений на табло видна ΔK.

6) Если наблюдали Солнце — выполнить действия, аналогичные вычислениям ΔK по наблюдениям планеты.

7) Если наблюдали Луну, то ее t_{00} и δ_{00} выбирают на начало заданного часа $T_{гр}$, а t_{24} и δ_{24} — на начало следующего часа; по адресу [П] [Д] вводят 1; по адресу [П] [6] взамен полного $T_{гр}$ вводят количество минут и секунд в заданном моменте, выразив его в долях часа; далее действуют аналогично вычислениям ΔK по планете.

При необходимости повторить решение следует заново ввести исходные данные согласно табл. 18.

§ 22. Применение микрокалькулятора при определении места судна по высотам светил

Высотную линию положения строят на карте по переносу $n = h - h_c$ и его направлению $ИП_\sigma$ (см. § 18 и рис. 43).

Истинную высоту h получают согласно изложенному в § 19.

Действия судоводителя при вычислении элементов ВЛП n и $ИП_\sigma$ рассмотрим на примере 4.

Пример 4. В Черном море 25 июня 1985 г. наблюдали Солнце. В момент $T = 8^ч 27^м 42^с$ по летнему московскому времени ($№_с = 4E$) измерили по нижнему краю Солнца $OC = 19° 50{,}3'$, поправка секстана $i = +3{,}9'$, инструментальная поправка $s = +0{,}3'$. Поправка часов $u_с = -31$ с, $КП_σ = 75{,}0°$, курс 65°. Место судна по счислению: $φ_с = 43° 10{,}5'N$; $λ_с = 29° 50{,}0'E$.

Вычислить элементы ВЛП и поправку компаса.

Подготовка исходных данных включает в себя вычисление гринвичской даты и момента измерения высоты по гринвичскому времени (с точностью до 1 с), а также исправление измеренной высоты согласно формуле (67) и с использованием табл. II-4 или же по формуле (68) с использованием ПЭМК.

Дата на судне . . 1985г. Июнь 25	$T = 8^ч 27^м 42^с$
Поправка часов	$u_с = -31^с$
Судовое время	$T_с = 8^ч 27^м 11^с$
Часовой пояс	$№_с = 4E$
Гринвичская дата . . . Июнь 25	$T_{гр} = 4^ч 27^м 11^с$
Отсчет секстана	$OC_{\odot} = 19°50{,}3'$
Суммарная поправка секстана . . .	$i + s = +4{,}2'$
Измеренная высота	$h' = 19°54{,}5'$
Наклонение из табл. II-4А	$d = -2{,}6'$
Видимая высота	$h_в = 19°51{,}9'$
Рефракция из табл. II-4Б	$ρ = -2{,}6'$
Истинная высота нижнего края . .	$h_{\odot} = 19°49{,}3'$
Видимый полудиаметр из табл. II-4В	$R = +15{,}8'$
Истинная высота центра Солнца . .	$h = 20°05{,}1'$
Счислимая высота (по ПЭМК) . . .	$h_с = 19°59{,}9'$
Перенос ВЛП	$n = h - h_с = +$ **5,2 мили**
$ИП_σ$ (по ПЭМК)	76,2°

$$\Delta K = ИП_σ - КП_σ = +1{,}2°.$$

При работе с Астронавигационными таблицами (см. *приложение II*) и наблюдениях Солнца в ПЭМК вводят программу из табл. 15 и выполняют вычисления согласно табл. 16. В нашем примере получается: после первого останова $φ^{\odot} = 23{,}394\,0N$, $λ^{\odot} = 246{,}197\,9W$; после второго останова на табло $ИП_σ = 76{,}236\,1°$. По адресу [ИП] [5] искомая высота $h_с = 19{,}998\,8°$ или, раскрывая минуты дуги, 19 [—] 60 [×], после чего $h_с = 19°\,59{,}9'$.

При работе с Астронавигационными таблицами и наблюдениях звезд в ПЭМК вводят программу из табл. 13 и выполняют вычисления с использованием данных табл. 14. Искомая высота находится по адресу [ИП] [3], искомый $ИП_σ$ по адресу [ИП] [4].

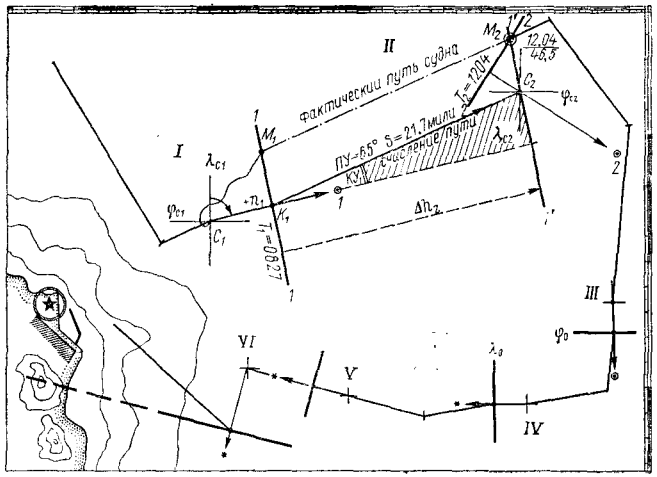


Рис. 64

При наблюдениях любых светил и работе с Морским астрономическим ежегодником в ПЭМК вводят программу из табл. 17 и выполняют вычисления с привлечением данных табл. 18. Искомая высота находится по адресу [ИП] [7], искомый азимут — по адресу [ИП] [А].

Построив ВЛП на карте (рис. 64), можно уточнить счисление переносом его в определяющую точку линии положения K_1 на том основании, что верное место судна находится где-то на ВЛП и всегда ближе к точке K_1, чем к счислимой точке C_1. Возле ВЛП рекомендуется указать момент T_1 измерения высоты.

При построении ВЛП положительная величина переноса прокладывается вдоль линии пеленга $ИП_σ$ «к светилу», а отрицательная — вдоль линии пеленга «от светила».

Поскольку судно движется, то наблюдения высоты для второй необходимой линии положения будут выполнены в другом месте. Для этой цели можно наблюдать другое или то же светило второй раз, но при выполнении следующего условия: разность пеленгов при вторых и первых наблюдениях $\Delta A = КП_{σ_2} - КП_{σ_1}$ должна быть не менее 40° (лучше всего 60—80°). Например, если при первых наблюдениях судно было в точке M_1, а затем следовало по направлению пути $ПУ = 65°$ и прошло расстояние $S = 21{,}7$ мили, то вторые наблюдения выполняются в точке M_2.

Продолжая решение примера 4, обработаем данные вторых наблюдений Солнца по условию: результаты наблюдений — $T = 12^ч 04^м 50^с$; $OC_{\odot} = 58° 29{,}9'$; $КП_σ = 119°$; $u_с = -32^с$;

$i + s = +4{,}0'$ ($\Delta A = 44°$); $\varphi_2 = 43°\,20{,}9'N$; $\lambda_2 = 30°\,23{,}8'E$ (выведены от точки K_1 по счислению).

В результате вычислений получим $\varphi^{\odot} = 23{,}389\,2N$; $\lambda^{\odot} = 300{,}469\,3W$; $h_c = 58°48{,}9'$; $ИП_{\sigma} = 120{,}3°$; $n = -2{,}4$ мили.

Построив по этим данным на карте от счислимой точки C_2 ВЛП *2—2*, на которой судно находилось в момент $T_c = 12^ч\,04^м$, можно определить *счислимо-обсервованное место* M_2 на этот момент: для этого необходимо переместить первую ВЛП *1—1* параллельно самой себе по направлению пути *ПУ* на величину пройденного расстояния *S*. ВЛП *1—1* таким образом приводится к одному месту наблюдений с ВЛП *2—2* и называется *приведенной 1′—1′*. Операция приведения линий положения к одному месту наблюдений должна выполняться в высшей степени тщательно и при максимально возможной точности счисления пути судна в интервале времени между вторыми и первыми наблюдениями. Обсервация устранила погрешность первого счислимого места C_1, существовавшую в момент первых наблюдений.

Если интервал времени между вторыми и первыми наблюдениями невелик и накапливающиеся в течение его погрешности счисления можно принять несущественными, то место M_2 можно принять *обсервованным*

Если по малости пройденного между наблюдениями высот расстояния *S* можно принять плоским заштрихованный на рис. 64 треугольник, то графическую операцию приведения первой ВЛП можно заменить введением в первую высоту поправки Δh_z, вычисляемой по формуле (при $S < 10$ миль):

$$\Delta h_z = S \cos КУ_1, \qquad (72)$$

где $КУ_1 = ИП_{\sigma_1} - ПУ$ — курсовой угол на светило. При $10 < S < 300$ миль пользуются формулой

$$h_1' = \arcsin(\sin h_1 \cos S + \cos h_1 \sin S \cos КУ_1), \qquad (73)$$

где h_1' — приведенная высота первого светила.

Теперь ВЛП *1—1* можно вычислить по высоте $h_1' = h_1 + \Delta h_z$ и с теми же счислимыми координатами φ_2, λ_2, которые были приняты для расчета элементов второй ВЛП, а затем построить обе ВЛП из общей для них счислимой точки C_2. Эта аналитическая операция приведения высот к одному месту наблюдений (иногда говорят «к одному зениту») чаще применяется при обработке высот нескольких звезд, а также при аналитическом расчете обсервованных координат места судна.

Иногда по условиям плавания можно получить только одну ВЛП. В зависимости от направления на светило по одной ВЛП можно уточнить:

— широту места судна, если $ИП_{\sigma} \approx 0°$ или $180°$ (положение *III*);

— долготу места судна, если $ИП_{\sigma} \approx 90°$ или $270°$ (положение *IV*);

— пройденное расстояние, если $ИП_{\sigma} \approx ПУ$ или $ПУ - 180°$ (положение *V*);

— снос с заданного пути, если $ИП_{\sigma} \approx ПУ \pm 90°$ (положение *VI*).

В последнем случае направление полученной ВЛП может быть использовано для опознания расположенных на берегу приметных мест (вершин гор и т. п.), как это видно на рис. 64.

Обсервованные географические координаты места судна могут быть вычислены прямым методом — непосредственно по координатам географических мест светил и высотам двух светил, приведенным к одному месту наблюдений согласно формулам (72) или (73). При этом решение задачи состоит из двух этапов: на первом этапе по данным Астронавигационных таблиц или МАЕ находят координаты географических мест светил соответственно гринвичскому моменту времени наблюдения каждого из них (см. табл. 13—18), исправляют измеренные высоты и приводят первую высоту к месту вторых наблюдений; на втором этапе вводят в ПЭМК программу из табл. 19 и вычисляют обсервованные координаты, руководствуясь данными табл. 20.

При вычислении координат ГМС необходимо учитывать следующее:

1. При работе с использованием данных табл. 13 и 14 программу вводят до 43-го шага и нажимают клавиши [*F*], [АВТ], после чего вводят исходные данные по адресам и принимают $\lambda_м = 0$, затем ПЭМК пускают на счет нажатием клавиш [в/о], [с/п]; после первого останова счета на табло имеют $t_{гр}^{\vee}$ и продолжают счет нажатием клавиши [с/п]; после второго останова счета по адресу [ИП] [А] имеют величину λ_{σ} и затем, по адресу [ИП] [8], величину φ_{σ}; если звезда не была опознана, то после первого останова на пульте вычисляют $t_м^{\vee} = t_{гр}^{\vee} \pm \lambda_W^E$ и используют $t_м^{\vee}$ для установки звездного глобуса; после опознания звезды вводят ее координаты из табл. II — 3А и II — 3Б (см. приложение II).

2. При работе с использованием данных табл. 15 и 16 программу вводят до 52-го шага и включают режим работы [F] [АВТ], после чего вводят исходные данные и ПЭМК пускают на счет клавишами [в/о],]с/п]; после останова счета по адресу [ИП] [3] находят φ_{σ}, по адресу [ИП] [8] — λ_{σ}.

3. При работе с использованием данных табл. 17 и 18 программу вводят до 27-го шага и включают режим [с/п] [F] [АВТ], после чего вводят из МАЕ исходные данные и $\lambda_м = 0$, затем

Таблица 19. **Прямое вычисление географических координат места судна (аналитическое решение задачи двух высот)**

Шаг	Команда	Код	Итог	Шаг	Команда	Код	Итог	Шаг	Команда	Код	Итог
00	ИП4	64		27	ИП9	69		53	F ↻	25	
01	F sin	1C		28	ИП2	62		54	(−)	0L	
02	ИП0	60		29	−	11		55	БП	51	
03	F sin	1C		30	П1	41	λ_1	56	58	58	
04	ИП3	63						57	F ↻	25	
05	F sin	1C		31	ИП6	66		58	ИПА	6−	
06	×	12		32	+	10		59	+	10	
07	−	11		33	F cos	1Г	t_2	60	ИП0	60	
08	ИП0	60		34	ИП7	67		61	+	10	
09	F cos	1Г		35	F tg	1E		62	2	02	
10	:	13			←			63	:	13	$\varphi_{ср}$
11	ИП3	63		36	xy	14		64	↑	0E	
12	F cos	1Г			→			65	ИП0	60	
13	:	13		37	:	13		66	−	11	
14	F arccos	1−		38	F arctg	1L		67	Fx<0	5C	
15	П9	49	t_1	39	ПА	4−	x	68	70	70	
								69	(−)	0L	
16	ИП5	65		40	F sin	1C		70	ИПД	6Г	
17	ИПС	6C		41	ИП8	68		71	−	11	
18	−	11		42	F sin	1C		72	F ↻	25	
19	Fx<0	5C		43	×	12		73	П0	40	
20	27	27		44	ИП7	67		74	FBx	0	
21	ИПС	6C		45	F sin	1C		75	Fx<0	5C	
22	2	02		46	:	13		76	00	00	
23	×	12		47	F arccos	1−	$\varphi_0-\lambda$	77	ИП0	60	φ_0
24	ИП9	69						78	с/п	50	
25	−	11		48	ИПА	6−					
26	П9	49		49	ИП0	60					
				50	−	11					
				51	Fx≥0	59					
				52	57	57					
									[F] [АВТ]		

Таблица 20. **Ввод исходных данных и организация вычислений обсервованных географических координат места судна по высотам двух светил**

Аргументы, константы	Адрес ввода	Прохождение информации (с решением примера 4)	
		исходной	итоговой
φ_2 (счислимая)	П0	43,348 3	$\varphi_0=43,405\ 8=43°\ 24,3'N$
	П1		$\lambda_0=30,380\ 5=30°\ 22,8'E$
λ_{σ_1}	П2	246,197 9	
φ_{σ_1}	П3	23,394 0	
h_1' (приведенная)	П4	20,44	
$ИП_{\sigma_1}$	П5	76,2	
λ_{σ_2}	П6	300,469 3	
φ_{σ_2}	П7	23,389 2	
h_2	П8	58,775	
0	П9	0	
0	ПА	0	
0	ПВ	0	
180	ПС	180	
0,000 8	ПД	0,000 8	

ПЭМК пускают на счет клавишами [в/о], [с/п]; после первого останова счета на табло будет $t_{гр}^{\vee}$, и счет продолжают нажатием клавиши [с/п]; если светило не было опознано, то выполняют расчет с заданной λ_c обычным путем и получают φ_σ по адресу [ИП] [С] и $\Delta\lambda_м$ по адресу [ИП] [А], после чего на пульте вычисляют $\lambda_\sigma = \Delta\lambda_м \mp \lambda_{cW}^{E}$. При работе с опознанным светилом λ_σ находится непосредственно по адресу [ИП] [А] и φ_σ — по адресу [ИП] [С].

Алгоритм вычисления обсервованных географических координат:

$$t_1 = \arccos \frac{\sin h_1' - \sin\varphi \sin\varphi_{\sigma_1}}{\cos\varphi \cos\varphi_{\sigma_1}}; \quad \lambda = t_1 - \lambda_{\sigma_1}; \quad t_2 = \lambda_{\sigma_2} + \lambda; \quad \operatorname{tg} x = \frac{\operatorname{tg}\varphi_{\sigma_2}}{\cos t_2};$$

$$\varphi_0 - x = \arccos \frac{\sin h_2 \sin x}{\sin\varphi_{\sigma_2}}; \quad \varphi_0 = (\varphi_0 - x) + x; \quad \varphi_{ср} = 0{,}5\,(\varphi_n + \varphi_{n+1}); \quad \Delta\varphi = \varphi_{ср} - \varphi_{i-1}; \quad |\Delta\varphi| - 0{,}000\,8° < 0.$$

Исходные данные: первое светило, $ИП_1$ которого по наблюдениям ближе к 90° (или к 270°), имеет координаты φ_{σ_1}, λ_{σ_1}, h_1'; второе светило — координаты φ_{σ_2}, λ_{σ_2}, h_2; широта — φ_2.

Порядок решения:

1. Ориентируясь по полученным из наблюдений истинным пеленгам $ИП_\sigma$ светил, приписать первый номер тому светилу, пеленг которого ближе к 90° или 270° (независимо от очередности наблюдений).

2. Ввести исходные данные по указанным адресам, соблюдая правило знаков: северные широты и восточные долготы — положительны, южные широты и западные долготы — отрицательны. Величины λ_σ вводятся по модулю.

3. Пустить ПЭМК в работу клавишами [в/о], [с/п].

4. После останова счета на табло и по адресу [ИП] [0] находится обсервованная широта φ_0 места судна (северная — положительна); по адресу [ИП] [1] находится обсервованная долгота λ_0 места судна (восточная — положительна).

В табл. 20 дано аналитическое решение задачи определения места судна по наблюдениям высот Солнца, основывающееся на условии примера 4. Для определения места судна на момент вторых наблюдений первую высоту h_1 привели к месту вторых наблюдений по формуле (73) и получили:

$$\Delta h_z = 21{,}7' \cos(76{,}2° - 65°) = +21{,}2;$$
$$h_1' = h_1 + \Delta h_z = 20°26{,}4'.$$

Глава 7

НАВИГАЦИОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ НА МАЛЫХ СУДАХ

§ 23. Принципы комплексирования средств навигации

Необходимым условием эффективного управления движением судна по избранному наивыгоднейшему пути является своевременная точная и полная информация о его месте, направлении и скорости движения относительно дна моря. Эта информация должна быть в высокой степени надежной.

Точность и надежность навигационной информации существенно повышаются, если поступающие от рассмотренных выше технических средств навигации сведения учитываются совместно, так как их погрешности имеют разную стабильность во времени и действуют по различным законам. Технические средства навигации, функционально увязанные в единую автоматизированную структуру и дающие полную информацию о месте и движении судна, называются *навигационным комплексом*. Принципиальная схема навигационного комплекса показана на рис. 65.

В состав этого комплекса входят анемометр *А*; указатели курса *К*, скорости *V*, истинного ветра K_U и *U*, глубины $H_э$, измеренной эхолотом *Э*; приемоиндикаторы *Пр*; компас *Км*; навигационная цифровая вычислительная машина *НЦВМ*; видеопрокладчик *ВП*; дисплеи: радионавигационной системы *Д РНС* и спутниковой навигационной аппаратуры *Д СНА*; телетайп *Т СНА*; эхолот *Э*; лаг *Л*; кварцевый хронометр *КХ*. Состав этого комплекса зависит от типа судна и его предназначения; здесь принимается во внимание экономическая целесообразность применения в составе комплекса тех или иных навигационных систем и устройств.

Автоматизированная обработка поступающей разнородной навигационной информации и выработка решений по управлению движением судна выполняются в НЦВМ.

Современные навигационные комплексы решают следующие основные задачи.

Планирование плавания. С помощью дисплея прокладчика на экране воспроизводится картографическое изображение района плавания. Подвижным маркером на этом изображении выбирают и фиксируют поворотные точки по заданному маршруту плавания. На экране высвечивается линия заданного пути, а координаты расчетных точек заносятся в память НЦВМ.

Определение места судна. По данным систем счисления пути (компаса, лага и времени), приемоиндикаторов навигационных

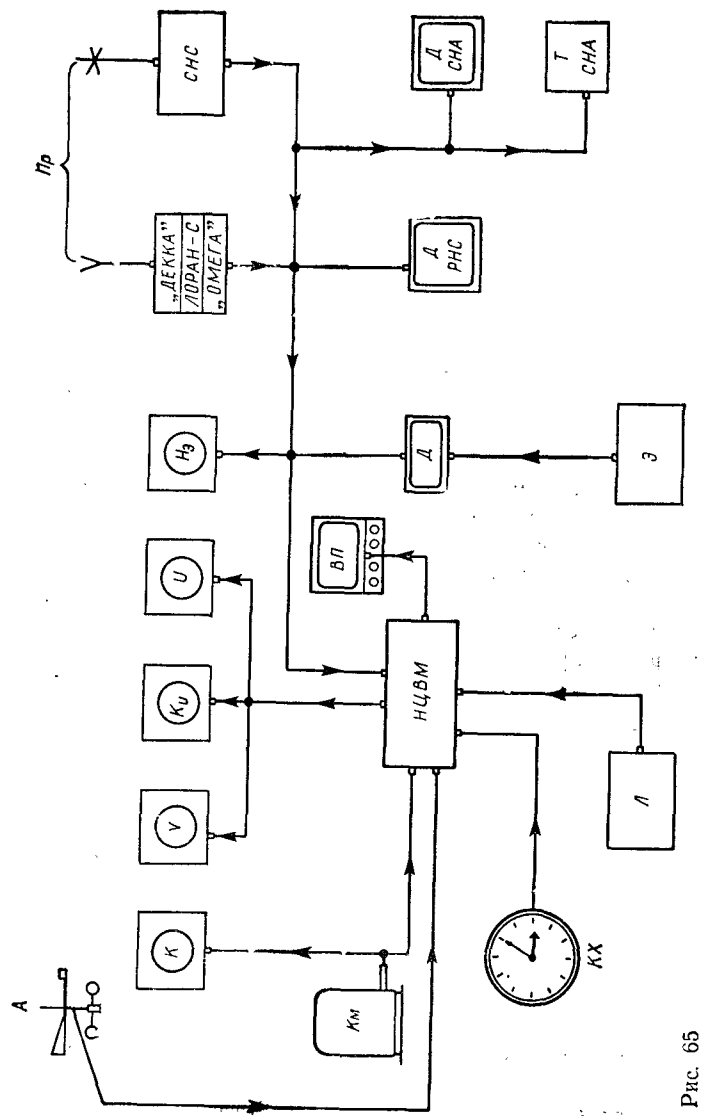


Рис. 65

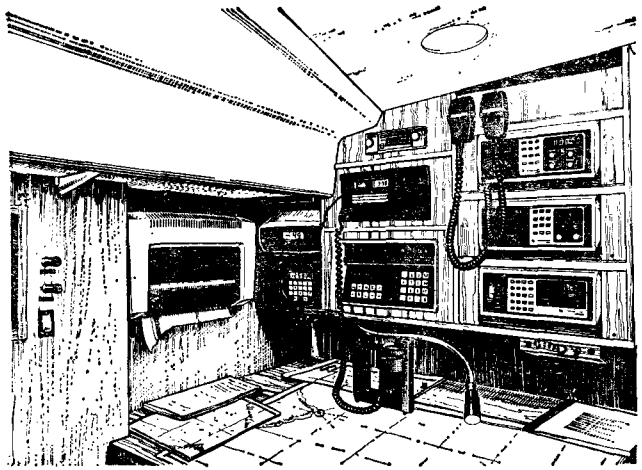


Рис. 66

гационных систем (радионавигационных и спутниковых) и дополнительно вводимой штурманом информации непрерывно вырабатываются вероятнейшие координаты места судна, путевой угол и путевая скорость, информация о направлении и величине сноса судна.

Слежение за плаванием по заданному маршруту и автоматическое управление судном. На основе информации о текущем месте судна осуществляется контроль за правильностью движения его по заданному пути. В случае отклонения судна от линии пути дается сигнал тревоги и вычисляется оптимальный режим возвращения судна на линию заданного пути; необходимые сигналы управления непосредственно поступают на руль. Предусматривается возможность проигрывания на дисплее ситуаций, возникающих при выполнении различных маневров судна.

Предупреждение столкновений судов. Осуществляется автоматическое обнаружение других судов и их сопровождение, определяются элементы движения этих судов и оценивается опасность столкновения с ними. Наиболее опасные цели высвечиваются на экране дисплея; при угрозе столкновения даются сигнал тревоги и рекомендации по безопасному расхождению.

Навигационные расчеты. Вычисляются направления и расстояния между заданными точками по локсодромии и ортодромии, элементы течения и др. Предусматривается возможность записи на магнитную ленту изображения на экране дисплея для последующего воспроизведения с целью анализа возникавших

ситуаций. На спортивных судах НЦВМ может вырабатывать рекомендации по оптимальному режиму управления парусами и т. п.

Навигационные комплексы для малых судов чаще всего создаются на основе приема информации от спутниковой навигационной системы (СНС) или от радионавигационной системы (см. § 17). Один из вариантов штурманского пульта навигационного комплекса малого судна показан на рис. 66. Над штурманским столом здесь размещены: печатающее документирующее устройство, эхолот, кварцевые часы и НЦВМ, спутниковая навигационная аппаратура, радиопеленгатор, аппаратура радиосвязи, лаг, и анемометр.

Как правило, ЦВМ спутниковой навигационной аппаратуры выполняет все функции НЦВМ комплекса, и кроме того, вырабатывает информацию о точности и надежности обсервованного места судна.

§ 24. Принцип работы спутниковой навигационной системы

Спутниковая (или космическая) навигационная система (СНС) представляет собой сложную упорядоченную структуру (рис. 67), состоящую из нескольких навигационных искусственных спутников Земли *НИСЗ*, наземных измерительных (НИП) и командных измерительных (КИП) пунктов и вычислительного центра *ВЦ*, пункта управления *ПУ* и размещаемой на судне спутниковой навигационной аппаратуры СНА.

СНС обеспечивает высокоточное определение обсервованных координат места судна φ_0 и λ_0 в любую погоду и в любом районе Земли; на этой основе вырабатывается вектор путевой скорости судна и корректируется его движение по заданному маршруту. Создание СНС является таким же важным событием для мореплавания, каким в свое время было изобретение компаса, секстана и хронометра, радиолокатора. СНС имеет достоинства астронавигационных и радионавигационных средств и свободна от их недостатков.

В настоящее время спутниковые навигационные системы являются наиболее перспективными для обеспечения точного и надежного мореплавания.

При пролете *НИСЗ* на каком-то первом витке орбиты *I* в зоне видимости *НИП* и *КИП* принимаются передаваемые им радиосигналы частоты f_0 и измеряются параметры орбиты (см. рис. 67). На основе этих траекторных измерений в *ВЦ* вырабатывается эфемеридная информация *ЭИ*, характеризующая движение *НИСЗ* по орбите. Эфемеридная информация и информация о точном времени *T* через *ПУ* и *КИП* передается на *НИСЗ*, где хранится до следующей ее корректуры.

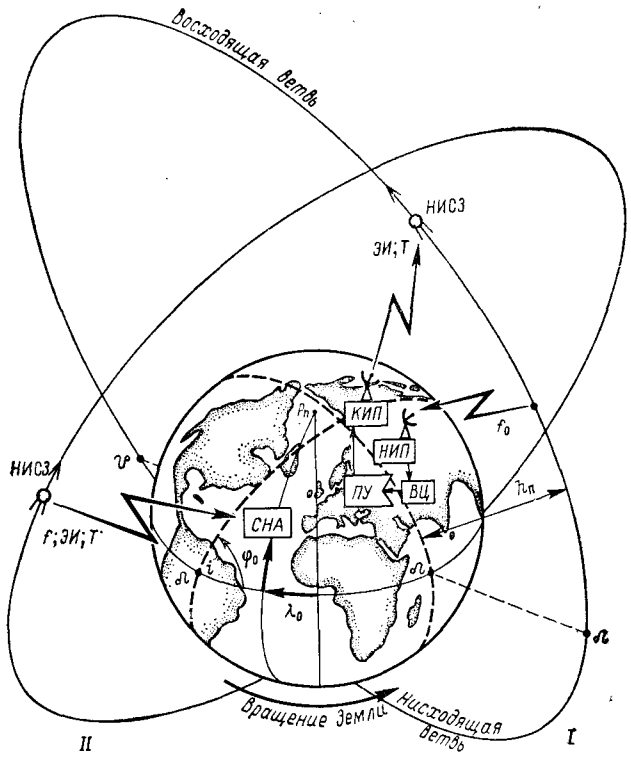


Рис. 67

При пролете *НИСЗ* на одном из последующих витков *II* в зоне его радиовидимости с судна в *СНА* поступают навигационные сигналы частоты f, *ЭИ* и *Т*. На их основе в *СНА* вычисляются обсервованные координаты судна φ_0, λ_0.

В принципе СНС может быть создана с использованием НИСЗ, летящих на низковысотных орбитах (при высоте полета $h_п$ до 2000 км), на средневысотных орбитах ($h_п$ от 2000 до 20 000 км) и на стационарных орбитах ($h_п$ около 36 000 км).

Действующие в настоящее время отечественная СНС «Цикада» и СНС США «Транзит» («Навсат») основаны на НИСЗ с высотой полета $h_п = 1000$ км и $h_п = 1100$ км соответственно.

Проекция движения НИСЗ на поверхность вращающейся Земли образует трассу (на рис. 67 показана пунктирной линией). Точка пересечения трассы и экватора называется *восходящим узлом* и обозначается астрономическим знаком ☊. Угол между экватором и плоскостью орбиты называется *наклонением орбиты i*. При $i = 90°$ орбиту называют *полярной*.

В СНС «Цикада» на круговых околополярных равноотстоящих по долготам восходящих узлов орбитах движутся четыре спутника типа «Космос-1000», имеющих наклонения орбит $i \approx 83°$ и периоды обращения около 105 мин. При таком периоде обращения НИСЗ в течение суток совершает около 13,5 оборота вокруг Земли.

В СНС «Навсат» функционируют пять НИСЗ при $i \approx 90°$ с периодом обращения около 107 мин. Полоса радиовидимости таких НИСЗ простирается примерно на 900 миль вправо и влево от трассы. Различают восходящую ветвь витка НИСЗ (в северном полушарии НИСЗ идет от восходящего узла ☊ до нисходящего узла ☋ орбиты) и нисходящую ветвь.

В общем случае по одному НИСЗ судно может получить четыре обсервации за сутки: по две на смежных восходящих или нисходящих витках. В среднем длительность сеанса связи с НИСЗ составляет около 16—18 мин, а вероятность получения обсервации по одному из НИСЗ системы — около 70 %. Дискретность обсерваций по всем НИСЗ системы равна примерно 35 мин в высоких широтах и 120 мин в малых широтах.

Спутники, подобные НИСЗ «Космос-1000», используются в спасательных системах КОСПАС — САРСАТ, предназначенных для определения места аварий судов по сигналам специальных буев.

В настоящее время разрабатываются средневысотные СНС, способные обеспечить непрерывное определение места судна с очень высокой точностью. Например, в разрабатываемой США СНС «Навстар» предполагается иметь 18 НИСЗ (по три НИСЗ на шести равноразнесенных орбитах при $i = 63°$); место судна будет непрерывно определяться по расстояниям до четырех НИСЗ, всегда находящихся в зоне радиовидимости. Для решения задач навигации потребуется иметь на судне только компас и СНА.

§ 25. Спутниковая навигационная аппаратура «Шхуна»

Для определения места судна по СНС «Цикада» отечественная промышленность выпускает СНА типа «Шхуна». Работа по НИСЗ СНС «Навсат» обеспечивается СНА «Бирюза-СН».

В обоих вариантах СНА используется доплеровский интегральный (разностно-дальномерный) метод обсервации. НИСЗ непрерывно излучает навигационные сигналы на частотах 150 и 400 МГц и периодически на частоте 150 МГц — сигналы эфемеридной информации и метки точного времени. На основе эфемеридной информации в специализированной ЦВМ СНА на любой момент может быть вычислено место НИСЗ в пространстве

Остается лишь решить задачу определения места судна по этому «космическому маяку».

Низковысотный НИСЗ перемещается относительно судна с очень большой скоростью, поэтому принимаемая СНА частота навигационных сигналов f заметно отличается от излучаемой с НИСЗ частоты f_0. Эта разность частот $f_д = f - f_0$ называется *доплеровским сдвигом частоты* и выражается формулой

$$f_д = (V_\sigma/\lambda_р)\cos Q = V_д/\lambda_р = \dot{Д}_i/\lambda_р,$$

где V_σ — относительная скорость перемещения НИСЗ и судна; Q — угол между орбитой и направлением с НИСЗ на судно; $\lambda_р$ — рабочая длина волны, соответствующая излучаемой частоте f_0; $Д_i$ — расстояние НИСЗ — судно.

Приемник СНА фиксирует доплеровский сдвиг частоты путем подсчета числа импульсов биений $N_б$ между частотой принятого сигнала и опорной частотой эталонного генератора СНА. Такой подсчет математически выражается интегрированием доплеровского сдвига частоты

$$N_б = \int_{t_1+\Delta t_1}^{t_2+\Delta t_2} f_д\, dt,$$

где t_1, t_2 — моменты излучения навигационных сигналов; Δt_1, Δt_2 — интервалы времени прохождения сигналов от НИСЗ до судна.

Учитывая всегда существующее рассогласование частот генераторов НИСЗ и СНА $\Delta f_р$, получаем основное уравнение доплеровского интегрального метода:

$$N_б = \frac{\Delta Д}{\lambda_р} + \Delta f_р t_и$$

или

$$\Delta Д = \lambda_р (N_б - \Delta f_р t_и),$$

где $t_и$ — время интегрирования.

Таким образом, каждому подсчитанному числу $N_б$ импульсов биений доплеровской частоты в течение времени интегрирования $t_и$ соответствует вполне определенная разность расстояний $\Delta Д$ от судна до НИСЗ в моменты начала и окончания интегрирования. Интервал времени интегрирования $t_и$ в различных моделях СНА может быть равен 24 с, 30 с, 1 мин, 2 мин.

Геометрическая модель обсервации доплеровским интегральным методом показана на рис. 68. Постоянной разности расстояний (например, для положения НИСЗ σ_1 в момент начала измерений N_σ и для положения НИСЗ σ_2 в момент окончания измерений) $\Delta Д = \text{const}$ в пространстве соответствует изоповерхность — *гиперболоид вращения* с фокусами в точках σ_1 и σ_2. В пересечении этого гиперболоида с поверхностью Земли образуется изо-

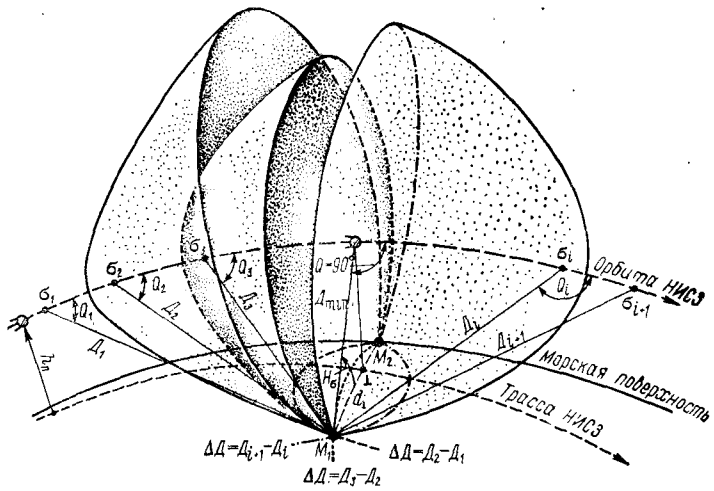


Рис. 68

линия равного значения разности расстояний $\Delta Д$ — ее называют *изодопой*.

В зависимости от принятого в данной СНА интервала интегрирования $t_и$ в течение сеанса связи с НИСЗ можно измерить несколько десятков навигационных параметров и получить столько же изолиний. Вследствие помех возможны потери сигналов НИСЗ, что при больших интервалах интегрирования приведет к значительному уменьшению числа изолиний; поэтому предпочтительны малые величины $t_и$. В течение сеанса связи судно перемещается, поэтому полученные изолинии должны быть приведены к одному месту наблюдений. Для этого штурман должен ввести в СНА возможно более точные данные о путевом угле и путевой скорости судна. Приведенные к одному месту изолинии пересекаются в двух возможных положениях судна M_1 и M_2, расположенных симметрично трассе и удаленных друг от друга на большое расстояние. Выбор точки, в которой находилось судно, производится исходя из данных счисления пути судна.

Навигационная задача (определение неизвестных φ_0, λ_0, $\Delta f_р$) в СНА решается на основе обобщенного метода линий положения по алгоритму метода наименьших квадратов (см. § 14). Уравнение линии положения при этом в общем виде запишется:

$$a\Delta\varphi + b\Delta\lambda + \lambda_р t_и \Delta f_р = \Delta Д - \Delta Д_с.$$

Для отыскания неизвестных система уравнений линий положения сводится к системе трех нормальных уравнений, решение которой подобно формулам (52) и дает поправки $\Delta\varphi_0$ и $\Delta\lambda_0$ к счислимым координатам, а также величину $\Delta f_р$. Решение

навигационной задачи в СЦВМ выполняется итерационным методом (методом последовательных приближений); если число потребовавшихся итераций невелико, то обсервация признается надежной.

Кроме измеренных навигационных параметров исходными данными для решения задачи являются эфемеридная информация о месте НИСЗ в начальные и конечные моменты интервалов интегрирования, геодезическая информация о принятой в СНА модели Земли, навигационная информация о счислимом месте судна, его пути и скорости, о высоте приемной антенны СНА над использованной моделью Земли (референц-эллипсоидом). Перечисленные сведения необходимы для вычисления счислимых разностей расстояний $\Delta Д_c$ в уравнениях линий положения.

Погрешность линии положения, обусловленная погрешностями измерения навигационного параметра, характеризуется формулой

$$m_{л.п} = \frac{m_{\Delta Д}}{g_{\Delta Д}},$$

где $m_{\Delta Д}$ — средняя квадратическая погрешность измерения $\Delta Д$; $g_{\Delta Д}$ — градиент линии положения.

В СНА «Шхуна» днем $m_{\Delta Д} \approx 10 - 15$ м. Величина градиента получается по формуле

$$g_{\Delta Д} = \frac{b}{Д} \sin Q \sqrt{1 - \cos^2 Q\,(1{,}35 - \cos^2 H_\sigma)},$$

где $b = \sigma_1\sigma_2$ — база интегрирования; Q и $Д$ соответствует направлению и расстоянию от середины базы до судна; H_σ — высота кульминации НИСЗ над горизонтом (наибольшая наблюдаемая высота в ходе сеанса связи).

Величина $g_{\Delta Д}$ зависит от расстояния НИСЗ — судно, интервала интегрирования (длины базы) и положения базы во времени относительно момента кульминации НИСЗ. В момент кульминации $Q = 90°$ и $Д = \min$, поэтому $g_{\Delta Д} = \max$. Для СНС «Цикада» при измерениях параметра в пределах 2 мин до или после момента кульминации получается $g_{\Delta Д} = 0{,}08 \div 0{,}16$ при $H_\sigma = 20 \div 80°$ соответственно, поэтому погрешность ЛП равна $m_{л.п} = 60 \div 190$ м. При измерениях около шестой минуты до или после кульминации НИСЗ $g_{\Delta Д} = 0{,}02$ и средняя квадратическая погрешность линии положения возрастает до 500—700 м.

Средняя квадратическая погрешность обсервации по СНС «Цикада», обусловленная погрешностями навигационного параметра, получается 110—130 м; в общем виде она характеризуется формулой

$$M_o = \frac{1{,}4 m_{л.п}}{\sqrt{N-1}\,\sin\theta_0},$$

где N — количество полученных линий положения в течение сеанса связи; θ_0 — средний угол пересечения линий положения.

Штурман должен стремиться получить большее число линий положения при симметричном их положении относительно момента кульминации НИСЗ (при этом возрастет $\sin\theta_0$). При обсервациях по СНС существуют две нерабочие зоны, где точность обсервации существенно снижается: первая зона возникает в полосе около ±100 миль от трассы НИСЗ при больших высотах его кульминации ($H_\sigma > 80°$), так как здесь изодопы пересекаются под очень острым углом (см. рис. 68); вторая зона образуется на границах зоны видимости НИСЗ вследствие усиления радиопомех и очень малых градиентов $g_{\Delta Д}$ при наблюдениях НИСЗ на высотах менее 10—15°.

По точности определения места судна СНС «Цикада» и «Навсат» в большинстве случаев удовлетворяют требованиям к точности мореплавания, упомянутым в § 12.

СНА «Шхуна» включает в себя антенну и антенный усилитель, приемное устройство и специализированную ЦВМ, пульт управления и регистрирующий прибор, прибор питания, приборы сопряжения с гирокомпасом и лагом. Аппаратура работает в трех режимах.

1. Проверка — по тестовой задаче проверяется работа СЦВМ и с помощью имитатора сигналов НИСЗ проверяется общее функционирование аппаратуры. Правильность прохождения проверки указывает код, который индицируется на табло и печатается регистрирующим прибором.

2. Ввод параметров — вводится информация, необходимая для начала работы аппаратуры, или оперативная корректура ранее введенных параметров. Содержание начальной информации следующее: счислимая широта φ_c и счислимая долгота λ_c, курс и скорость, московское зимнее время, поправки гирокомпаса и лага, высота антенны над референц-эллипсоидом СНА, направление и скорость течения, угол дрейфа.

3. Работа — на дисплее в течение каждой минуты последовательно указываются: московское зимнее время; интервал времени от момента начала счисления пути судна в СНА; счислимая широта на начало минуты, московское время; счислимая долгота на начало минуты, московское время. Длительность высветки составляет 10 с. В течение следующих 30 с дисплей погашен.

Через 30—40 с после появления НИСЗ в зоне радиовидимости осуществляется автоматический захват его сигналов и синхронизация СЦВМ с метками времени, поступающими от НИСЗ. На дисплее указываются часы, минуты и секунды московского времени с точностью до 0,5 с. Эту информацию можно использовать в судовой службе времени (см. гл. 2).

Спустя 10 мин после синхронизации измерения параметров заканчиваются, и СЦВМ автоматически решает навигационную задачу. На основе результата решения исправляются счислимые координаты, и регистрирующий прибор печатает: момент обсервации, обсервованные широту и долготу, направление и скорость сноса (после второй обсервации), признак учета или неучета сноса в автоматическом режиме.

Если навигационная задача не решена, то регистрирующий прибор печатает код, указывающий причину: недостаточное количество измерений, низкая точность результата, неверный ввод исходной информации и др.

В интервале между обсервациями на дисплее указываются московское время, интервал времени от последней обсервации, текущие счислимые координаты судна.

СНА «Шхуна» является высоко-автоматизированной аппаратурой, но точность ее обсервации во многом зависит от точности вводимой информации (курса, скорости, высоты антенны). Начальные данные о времени можно вводить с погрешностью до 5 мин, а начальные координаты судна — с погрешностью до 1°. При прохождении НИСЗ на высотах 15—70° и точном учете движения судна погрешность обсервованного места не превышает 4 кбт. Погрешность в учете скорости судна на 1 уз увеличивает погрешность места на 2 кбт.

§ 26. Работа судоводителя при использовании СНС

Спутниковая навигационная аппаратура различных моделей получила широкое распространение на судах морского и промыслового флотов. В 1983 г. обсервации по СНС составили около 75 % от всех обсерваций, выполненных на судах промыслового флота.

Наилучшие результаты от применения СНА судоводитель получает при условии заблаговременного планирования оптимальных условий обсервации. Как отмечалось выше, необходимо стремиться получить большое число линий положения, симметрично расположенных относительно кульминации НИСЗ, при высоте кульминации порядка $H_\sigma = 30 \div 60°$. Для оценки возможных сроков и условий обсерваций по СНС решается задача *отображения обстановки наблюдений* НИСЗ в течение заданного времени плавания. При этом оцениваются время восхода НИСЗ и длительность навигационного сеанса связи, высота кульминации НИСЗ как обобщенный показатель возможной точности обсервации.

Наиболее наглядно задача отображения обстановки решается с помощью планшета, изображенного на рис. 69, *а, б, в*. (Эти рисунки удобно перенести на оргстекло или кальку, а затем смонтировать вместе.) Рис. 69, *а* представляет собой проекцию Северного полушария Земли на плоскость экватора; рис. 69, *б* изображает такую же проекцию трассы НИСЗ типа «Космос-1000», цифрами обозначены положения НИСЗ после прохождения им восходящего узла ☊ (на 5-й, 10-й минутах и т. д.). Рис. 69, *в* изображает палетку зон радиовидимости НИСЗ в географических широтах $\varphi = 0°, 40°, 80°, \ldots$ Для каждой широты изображены зоны, границы которых отвечают высотам кульминации НИСЗ: $H_\sigma = 10°, 45°, 60°, 75°$. Продольный паз в центре палетки позволяет ориентировать зоны видимости применительно к любому заданному счислимому месту в Северном полушарии Земли. Аналогичным образом может быть построен планшет для Южного полушария Земли. На внешнем круге связи штрихами выделены 10-градусные деления, что позволяет измерять направления от счислимого места.

Исходными данными для работы с планшетом являются момент прохождения НИСЗ через восходящий узел $T_☊$, географическая долгота восходящего узла $\lambda_☊$, координаты места судна φ_c и λ_c, номер НИСЗ (номер витка). Порядок работы рассмотрим на примере, изображенном на рис. 69, *а*.

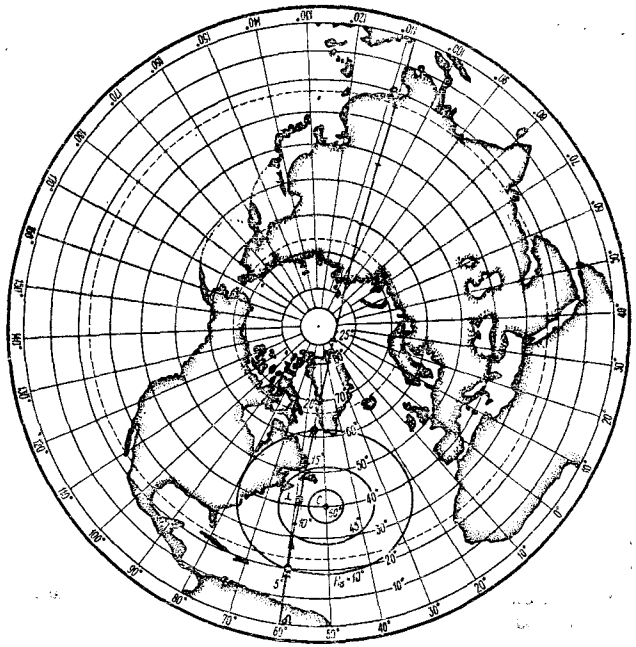
Предположим, что спутник № 0000 прошел восходящий узел в момент 0940 по московскому зимнему времени при $\lambda_☊ = 60°\ W$. Координаты судна $\varphi_c = 40°\ N$ и $\lambda_c = 50°\ W$.

Восходящий узел трассы ☊ совмещаем с отметкой меридиана 60° *W* на экваторе карты. Центр палетки для $\varphi = 40°$ совмещаем с местом судна на карте, а ее меридиан (осевую линию) совмещаем с меридианом карты. Рассматривая положение трассы и зон радиовидимости, заключаем: радиовосход НИСЗ будет спустя 6 мин после прохождения узла, момент радиовосхода $T_в = 0940 + 6 = 0946$ по московскому времени; радиозаход будет спустя 18 мин после прохождения узла, момент радиозахода $T_з = 0940 \div 18 = 0958$ по московскому времени; длительность навигационного сеанса связи $\Delta T_{св} = 18 - 6 = 12$ мин; высота кульминации приближенно $H_\sigma \approx 55°$; время кульминации $T_\perp = 0940 + 12 = 0952$; восход НИСЗ по $ИП_в = 205°$, кульминация по $ИП_\perp = 280°$, заход по $ИП_з = 355°$. Условия обсервации оптимальны.

За один период оборота НИСЗ по орбите восходящий узел смещается к западу на величину $\Delta\lambda_☊ = 26{,}3°$, поэтому на следующем витке обсервация по данному спутнику невозможна.

Изложенным методом можно оценить обстановку наблюдений всех спутников СНС в заданном месте на срок до 10 сут до или после заданного момента с вполне достаточной для ориентирования точностью.

В некоторых моделях СНА предусмотрена выработка всех элементов обстановки наблюдений любого НИСЗ системы или



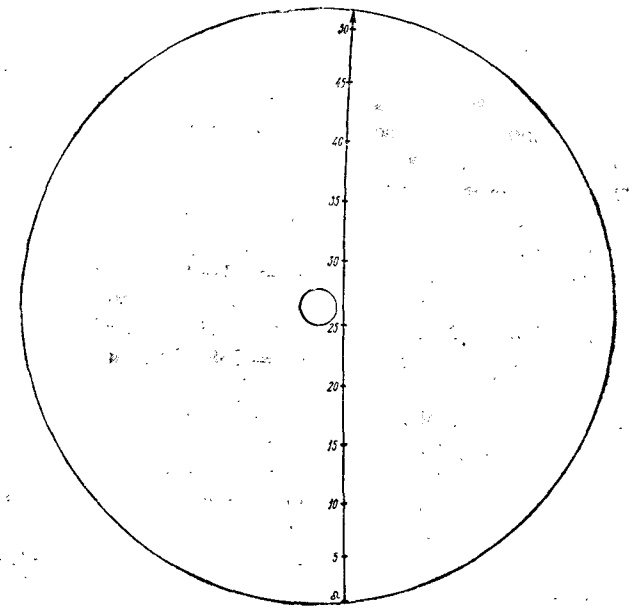


Рис. 69а, б

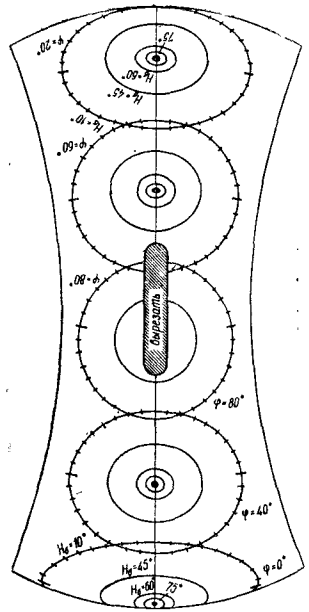


Рис. 69в (продолжение)

некоторых из них. Решение на планшете более наглядно и не требует включения аппаратуры, что важно для предварительных навигационных расчетов. Необходимые сведения о величинах λ_{Ω} и T_{Ω} в этом случае можно получить в гидрографической службе флотов или найти их самостоятельно, решив обратную задачу исходя из ранее известных данных о прохождениях НИСЗ.

Задача отображения обстановки может быть решена с помощью микрокалькулятора. После ввода программы вычислений из табл. 21[1] вводят исходные данные согласно табл. 22. Затем нажатием клавиш [в/о] [с/п] ПЭМК пускают в работу. После первого останова счета по адресу [ИП] [Д] находят период обращения НИСЗ; по адресу [ИП] [В] — широту и по адресу [ИП] [С] — долготу подспутниковой точки на трассе на тот момент $(T - T_{\Omega})$ после прохождения НИСЗ через восходящий узел, который был введен по адресу [П] [5]. Первый этап вычислений можно повторить для любого момента движения НИСЗ и по полученным координатам подспутниковых точек построить на карте изображение трассы. В табл. 22 приведен пример для НИСЗ типа «Космос-1000» и трассы, изображенной на рис. 69, *а*.

Получив по карте кратчайшее расстояние от места судна до трассы $d_{\perp}$ (например, равное 600 милям), вводят его по адресу [П] [0]; по адресу [П] [4] вводят принятую в данной СНА минимально допустимую высоту НИСЗ (например, 15°). Нажатием клавиши [с/п] продолжают счет. После останова счета на табло виден радиус зоны связи $z_{св}$.

Продолжают счет нажатием клавиши [с/п] и после останова окончательно имеют: высоту кульминации НИСЗ на табло и по адресу [ИП] [9], длительность сеанса связи $\Delta T_{св}$ по адресу [ИП] [*В*].

Заблаговременное отображение обстановки наблюдений особенно важно для тех практически возможных случаев, когда в зоне видимости одновременно находятся несколько НИСЗ, что

[1] Программа составлена Г. Б. Гладковым.

Таблица 21. **Отображение обстановки наблюдений НИСЗ**

Шаг	Команда	Код	Итог	Шаг	Команда	Код	Итог	Шаг	Команда	Код	Итог
00	3	03		30	П0	40		64	с/п	50	
01	ИП4	64		31	ИПС	6С					
02	ИП2	62		32	F sin	1С		65	ИП5	65	
03	:	13		33	F x<0	5С		66	ИПА	6 –	
04	1	01		34	38	38		67	:	13	
05	+	10		35	ИП0	60		68	F cos	1Г	
06	П9	49		36	(–)	0L		69	ИП0	60	
07	F x^y	24		37	П0	40		70	ИПА	6 –	
				38	ИП6	66		71	:	13	
08	F $\sqrt{\ }$	21		39	F cos	1Г		72	F cos	1Г	
09	ИП1	61		40	F x<0	5С		73	ПС	4С	
10	×	12		41	45	45		74	:	13	
11	ПД	4Г		42	ИП0	60		75	F arccos	1 –	
12	ИП3	63		43	(–)	0L		76	ИПС	6С	
	←			44	П0	40		77	×	12	
13	xy	14		45	ИП0	60		78	ИПД	6Г	
	→			46	ИП7	67		79	×	12	
14	:	13		47	+	10		80	ИП3	63	
15	ИП5	65		48	ИП8	68		81	:	13	
16	×	12		49	ИП5	65		82	2	02	
17	ПС	4С		50	×	12		83	×	12	
18	F sin	1С		51	–	11		84	ПВ	4L	$\Delta T_{св}$
19	ИП6	66		52	ПС	4С	λ_σ	85	ИПС	6С	
20	F sin	1С		53	с/п	50		86	ИП9	69	
21	×	12						87	F 1/x	23	
22	F arcsin	19	φ_σ	54	ИП4	64		88	–	11	
23	ПВ	4L		55	F cos	1Г		89	ИПС	6С	
24	F cos	1Г		56	ИП9	69		90	F arccos	1 –	
25	ИПС	6С		57	:	13		91	F sin	1С	
26	F cos	1Г		58	F arccos	1 –		92	:	13	
	→			59	ИП4	64		93	F arctg	1L	
27	xy	14		60	–	11		94	П9	49	H_σ
	←			61	ИПА	6 –		95	с/п	50	
28	:	13		62	×	12	$z_{св}$				
29	F arccos	1 –		63	П5	45			F АВТ		

Таблица 22. **Ввод исходных данных и организация вычислений элементов отображения обстановки наблюдений НИСЗ**

Аргументы, константы	Адрес П	Прохождение информации (с примером)		
		исходной	промежуточной	итоговой
	0		$d_\perp$=600 миль	
84,41	1			
6371	2			
360	3			
$h_п$, км	4	1000	h°_{min}=15	
$t-T_{\Omega}$, мин	5	0; 5; 10; 15; ...		$z_{св}$=1104 мили
i°	6	83		
λ_Ω	7	–60		
0,25	8			
	9			H_σ=34,8°
60	А			
	В		φ_σ ...	$\Delta T_{св}$=8,9 мин
	С		λ_σ ...	
	Д	105 мин	T_σ=105 мин	

Примечание. Правило знаков при решении: знак «плюс» имеют северная широта и восточная долгота, знак «минус» — южная широта и западная долгота.

чаще бывает в высоких широтах. При этом возможен перезахват СНА сигналов разных НИСЗ и срыв обсервации, что лучше предвидеть заранее.

В некоторых последних моделях СНА предусмотрено «программное слежение» за НИСЗ, обеспечивающее прием сигналов только от назначенного спутника.

При проведении сеанса связи с НИСЗ вводятся следующие данные.

Высота антенны h_A над принятым в СНС референц-эллипсоидом — находится как сумма превышения геоида над референц-эллипсоидом в данном месте $h_г$ и высоты антенны над ватерлинией $h_в$. Величина $h_г$ находится по специальной карте или по таблице, имеемой в инструкции по эксплуатации СНА; в некоторых моделях СНА величины $h_г$ введены в память СЦВМ, и тогда судоводитель вводит $h_A = h_в$. При необходимости в обоих случаях учитывают изменения высоты антенны при приливе и отливе. Сведения о величине $h_г$ могут иметь погрешность до 10—15 м, что привносит дополнительную погрешность в обсервованное место от 4 до 60 м при высотах кульминации от 15 до 80° соответственно. Величина h_A, введенная в СНА, должна контролироваться на каждой вахте и уточняться перед обсервацией по НИСЗ, проходящему в момент кульминации на большой высоте.

Курс и скорость — могут вводится как вручную, так и автоматически. Автоматический ввод предпочтительнее по точности результата и своевременности корректуры счисления.

Элементы сноса — могут вводиться по оценке их величины штурманом вручную; учитываться автоматически по их расчетам в СЦВМ на основе ряда последних обсерваций; учитываться полуавтоматически: вычисленные СЦВМ элементы сноса анализируются штурманом и утверждаются им для дальнейшего учета. В районах с приливо-отливными явлениями целесообразен только ручной вариант ввода.

В принципе СНА может использоваться путем дискретного включения на время очередного сеанса связи с НИСЗ, но ее возможности будут использованы более полно и результаты получатся точнее, если СНА включить в начале похода на работу в непрерывном режиме. Начальные данные лучше вводить на стоянке судна и сразу же контролировать правильность их ввода при первом сеансе связи.

Погрешности ввода путевого угла и особенно путевой скорости наиболее существенно влияют на точность обсервации по СНС, вызывая ошибку места преимущественно по направлению перпендикуляра к трассе НИСЗ; наиболее существенно влияние составляющей погрешности вектора путевой скорости, ориентированной вдоль направления трассы (в СНС «Цикада»,

«Навсат» — вдоль меридиана места). В среднем погрешность в один узел дает погрешность места порядка 2 кбт.

Получив обсервацию по СНС, судоводитель должен оценить ее качество и принять решение о ее учете для дальнейшего счисления. При нанесении обсервации по СНС «Навсат» на карту необходимо иметь в виду различие в опорных геодезических системах координат, принятых при составлении данной карты, и в алгоритме вычислений СНА. Координаты одной и той же точки на Земле в этих системах могут заметно отличаться; возникающая по этой причине погрешность нанесенной на карту обсервации по СНС может достигать 100 м и более. Компенсация этой погрешности возможна двумя путями.

1. Сравнивая вероятнейшее место судна, выведенное на стоянке из 10—15 обсерваций по СНС, и его место на крупномасштабном плане порта, получают поправки по широте и долготе места, которые в последующем учитывают при плавании в данном районе моря.

2. С помощью СЦВМ СНА или ЭКВМ вычисляют поправки координат по формулам М. С. Молоденского:

$$\Delta\varphi'' = -\frac{\Delta X \sin\varphi\cos\lambda + \Delta Y \sin\varphi\sin\lambda - \Delta Z\cos\varphi - (a\Delta f + f\Delta a)\sin 2\varphi}{R_M \sin 1''};$$

$$\Delta\lambda'' = -\frac{\Delta X \sin\lambda - \Delta Y\cos\lambda}{R_N \cos\varphi \sin 1''},$$

где ΔX, ΔY, ΔZ — смещение центра местного референц-эллипсоида от центра эллипсоида в СНА; a — большая полуось местного референц-эллипсоида; f — сжатие местного референц-эллипсоида; $R_N = a(1 - e^2\sin^2\varphi)^{1/2}$ — радиус кривизны в первом вертикале; e — эксцентриситет; R_M — радиус кривизны меридиана; Δf и Δa — разница параметров рассматриваемых референц-эллипсоидов; φ и λ — геодезические координаты места.

Критериями надежности обсервации, чаще всего автоматически оцениваемыми в СЦВМ СНА, служат:

— высота кульминации НИСЗ (обсервация ненадежна при H_0 менее 15 или более 70°, если интервал интегрирования невелик);

— измерения параметров по отношению к моменту кульминации — «симметричность» измерений (обсервация ненадежна, если все измерения выполнены до кульминации или же после нее);

— количество измеренных параметров (при малых интервалах интегрирования обсервация ненадежна, если $N < 10 \div 15$);

— количество итераций при расчете координат обсервованного места (оно ненадежно, если потребовалось более 5—7 итераций);

— аномальная невязка обсервованного и счислимого мест;

— аномальная величина рассогласования частот Δf_p.

Признаки ненадежности обсервации высвечиваются на экране дисплея СНА. Они не означают полной непригодности обсервации, но указывают на ее возможную пониженную точность и требуют от штурмана решения об учете такой обсервации, сообразуясь с обстоятельствами плавания.

§ 27. Судовые комплексы спутниковой навигации

Современные модели СНА высоко автоматизированы, малогабаритны, неэнергоемки и сравнительно дешевы. Они являются основой для автоматизации судовождения на маломерных коммерческих и рыбопромысловых судах, спортивных, прогулочных судах и яхтах. За последнее десятилетие количество СНА на судах мирового флота возросло более чем в 50 раз и быстро увеличивается, главным образом за счет применения дешевой одноканальной СНА. Распределение различных моделей СНА, выпущенных зарубежными фирмами, по разным потребителям показано в табл. 23.

Рассмотренная в § 25 отечественная СНА «Шхуна» обладает многими свойствами навигационного комплекса, изложенными в § 23, когда она автоматически сопряжена с компасом и лагом.

Среди примерно 45 тысяч экземпляров СНА на судах мирового флота наиболее известны комплексы фирм «Магнавокс»

Таблица 23. **Зарубежные потребители СНС «Навсат»**

Страны	% от общего количества	Распределение СНА по потребителям, %					
		Рыболовные суда	Танкеры	Грузовозы	Военные корабли	Яхты	Прочие суда
Япония	24	49	3	5	—	—	4
США	14	7	36	13	9	60	19
Великобритания	9	—	18	11	24	3	22
Испания	8	15	—	—	2	1	1
Норвегия	7	11	8	1	4	1	5
Дания	4	2	—	8	8	—	3
Голландия	3	—	1	7	2	—	6
Франция	3	5	—	—	1	7	5
Италия	3	3	10	1	1	3	3
ФРГ	2	—	4	1	3	9	3
Польша	1	2	2	1	—	2	2
Аргентина	1	1	—	—	11	1	1
Другие страны	21	5	18	52	35	13	26
Всего	100	100	100	100	100	100	100
% от общего числа	100	42	8	25	10	13	2

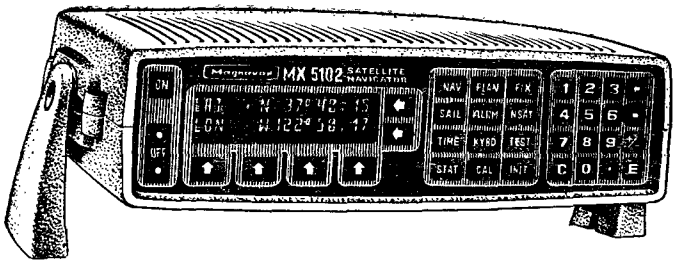


Рис. 70

(США), «Фуруно» (Япония), «Волкер САТНАВ» (Англия) и др. Для малых судов предназначены комплексы «Магнавокс» МХ-4102 и МХ-5102 (рис. 70), выпущенные в 1981—1982 гг.

Эти комплексы выполняют непрерывную автоматическую работу, отличаются большой простотой в эксплуатации; их основные характеристики следующие:

размеры приемоиндикатора — 36 × 29 × 8 см, масса — 5,4 кг;

питание — постоянный ток 10—30 В, 15—18 Вт;

батарейное питание — в течение 10 ч (аварийная защита памяти);

одноканальный прием — на частоте 400 МГц; точность обсервации — 5 кбт плюс 2 кбт на каждый узел ошибки при вводе путевой скорости судна.

Стоимость комплекса — около 3000 долларов.

Пульт оператора разделен на три зоны: правая — цифровая клавиатура, служащая для ввода информации; средняя — функциональная клавиатура для выполнения операций по обмену информацией между СНА и судоводителем; левая — шкалы визуальной информации (дисплей).

При нажатии функциональных клавиш происходит диалог судоводителя и СНА по принципу «запрос — ответ». Назначение некоторых функциональных клавиш показано ниже:

Функциональные клавиши	Навигационная информация по решаемым задачам
NAV	Текущие счислимые координаты: φ_c, λ_c; курс, скорость, направление и величина сноса
FIX	Данные последней спутниковой обсервации: T_c, φ_0, λ_0, H_σ; качество обсервации
SAIL	Планирование маршрута по заданным 9 точкам при плавании по дуге большого круга и по локсодромии: генеральные расстояние и направление, частные *ИК*; плавание и время на каждом курсе и в конце маршрута

ALRM	Визуальная и звуковая сигнализация о приближении на заданную дальность к выбранной точке либо отклонении от курса на значительное (заданное) расстояние, об окончании навигационного сеанса связи с НИСЗ
NSAT	Данные по решению задачи отображения обстановки на одни сутки (16 очередных прохождений НИСЗ системы)
TIME	Гринвичское время и дата; судовое время и дата; разница между ними с точностью до 1 с
STAT	Состояние системы, результаты самопроверки системы
TEST	Причина неисправности
CAL	Контроль ввода: поправок компаса и лага, высоты антенны, магнитного склонения и девиации

Работа с МХ-5102 требует учета тех же факторов, что и при использовании СНА «Шхуна». В ходе сеанса связи осуществляется программное слежение за НИСЗ с наилучшими геометрическими условиями обсервации. Автоматически или по запросу выполняется проверка СНА с идентификацией обнаруженных неисправностей и их причин.

Дальнейшим развитием идеи комплексирования средств навигации является создание гибридных комплексов, объединяющих СНА и приемоиндикаторы РНС «Омега», «Лоран-С», «Декка». Примером такого комплекса является аппаратура МХ-1105, работающая по СНС «Навсат» и РНС «Омега». При таком сочетании РНС используется для точного определения скорости судна, а СНС дает опору для точного определения поправок за условия распространения сигналов РНС. В конечном итоге повышается точность обсерваций как по РНС, так и по СНС.

Японские комплексы типов FSN-70 и JLE-3800 сопрягаются посредством интерфейса с приемоиндикаторами РНС «Омега» и «Лоран-С», а также с дисплеем для ведения видеопрокладки пути судна в автоматическом режиме.

Значительное улучшение качества СНС предполагается получить путем размещения НИСЗ на средневысотных орбитах и перехода к дальномерному методу определения места судна относительно нескольких одновременно наблюдаемых спутников [отечественная СНС «Глонасс» и СНС «Навстар» (США)].

Для удовлетворения всех требований к точности современного мореплавания (см. § 12), включая требования по минимуму затрат времени на обсервацию и по необходимой дискретности определения места судна вблизи опасностей, потребуется вывести на средневысотные орбиты от 18 до 24 НИСЗ при высоте их полета около 20 000 км. При размещении этих НИСЗ в шести орбитальных плоскостях, разнесенных по долготе на 60°, обеспечивается одновременное наблюдение не менее четырех спутников.

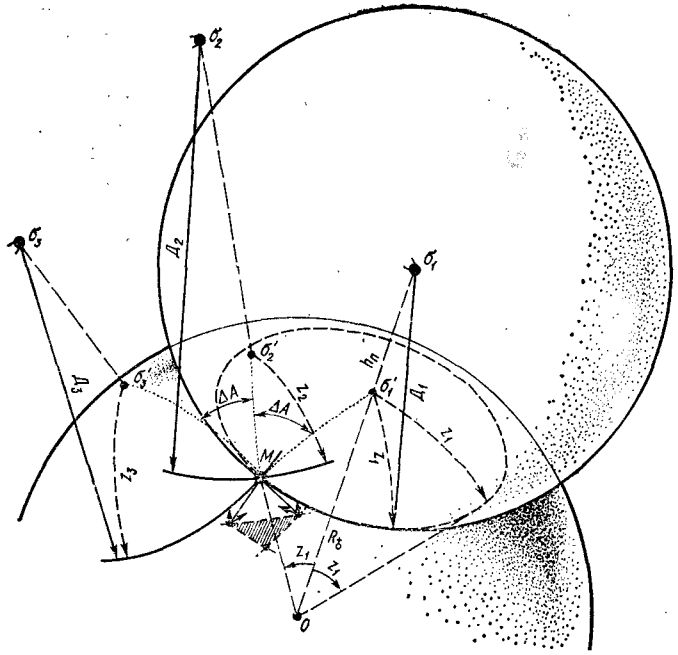


Рис. 71

На каждом НИСЗ размещается высокоточный эталон времени — «бортовые часы», указывающие системное время СНС. Такой же эталонный измеритель времени помещается в СНА. Сравнивая известное время излучения радиосигнала с НИСЗ и время приема его СНА, можно получить интервал времени прохождения сигнала от НИСЗ до судна ΔT_i и вычислить наклонную дальность $Д_i$ до каждого из наблюдаемых спутников (рис. 71). В силу нестабильности бортовых часов НИСЗ и часов СНА в измеренную дальность войдет погрешность $\Delta Д$, которую по малости времени наблюдений можно считать постоянной; такую дальность принято называть *псевдодальностью*.

Изоповерхностью наклонной дальности является *сфера* с центром в НИСЗ и радиусом $Д_i$. В пересечении с поверхностью Земли изоповерхность образует изолинию — *изостадию* (малый круг) с центром в географическом месте спутника (например, σ_1') и радиусом z_i, равным геоцентрическому зенитному расстоянию НИСЗ:

$$z_i = \arccos\left[1 - \frac{Д_i^2 - h_п^2}{2\left(R_♁^2 + R_♁ h_п\right)}\right],$$

где $R_♁$ — радиус Земли.

Для определения координат места судна φ_0, λ_0 и компенсации содержащейся в псевдодальностях постоянной погрешности $\Delta Д$ за счет рассогласования системного времени и часов СНА необходимо получить не менее трех изостадий при хорошем геометрическом расположении их градиентов.

Градиент наклонной дальности $g_д = 1$ и погрешность определения изоповерхности непосредственно равна погрешности измерения $Д_i$, которая в среднем может быть $m_д = 5$ м. Градиент изостадии зависит от угловой высоты НИСЗ над горизонтом h и равен $g_z = g_д \cos h$. Точность стадиометрической линии положения равна $m_{л.п} = m_д \sec h$; она заметно убывает по мере увеличения высоты НИСЗ над горизонтом h (например, при $h = 30°$ для $m_д = 5$ м имеем $m_{л.п} = 6$ м, а при $h = 80°$ — $m_{л.п} = 30$ м). При расположении НИСЗ в зените место не определяется.

Наличие постоянной погрешности $\Delta Д$ в псевдодальностях приведет к образованию фигуры погрешностей (треугольника на рис. 71) и необходимости отыскания вероятнейшего места судна M аналогично тому, как это делается в астронавигации при обсервациях по нескольким высотам светил (принцип такого решения в СЦВМ СНА дан в § 14, 22).

Точность обсервации по дальностям до нескольких НИСЗ в среднем может быть охарактеризована формулой

$$M_0 = \frac{1{,}4 m_{л.п}}{\sqrt{N-1}\,\sin \Delta A_0},$$

где N — количество измеренных дальностей; ΔA_0 — среднее значение разностей азимутов геометрических мест наблюденных НИСЗ.

Например, при $m_д = 5$ м, $N = 3$, $h = 45°$, $\Delta A = 60°$ имеем $M_0 = 7$ м. Практически с учетом дополнительного влияния радиотехнических, эфемеридных, геодезических и навигационных погрешностей можно ожидать погрешность в обсервованном месте до 30—40 м.

Представление о возможностях навигации при определении места судна по спутникам СНС «Навстар», движущимся на средневысоких орбитах, можно получить на примере судовой навигационной аппаратуры JLR-4000 GPS Navigator (рис. 72) выпускаемой радиокорпорацией Японии.

СНА JLR-4000 состоит из антенны (высотой 43 см, диаметром 6 см, массой 0,7 кг) и приемника-вычислителя (длиной передней панели 21 см, высотой 13 см, шириной приемника 32 см, массой 6 кг). Ее питание осуществляется постоянным током 10—40 В, потребляемая мощность — до 30 Вт. Дополнительно могут быть подключены печатающее устройство, управляемый на расстоянии дисплей, цветной видеопрокладчик и силовой преобразователь для питания переменным током.

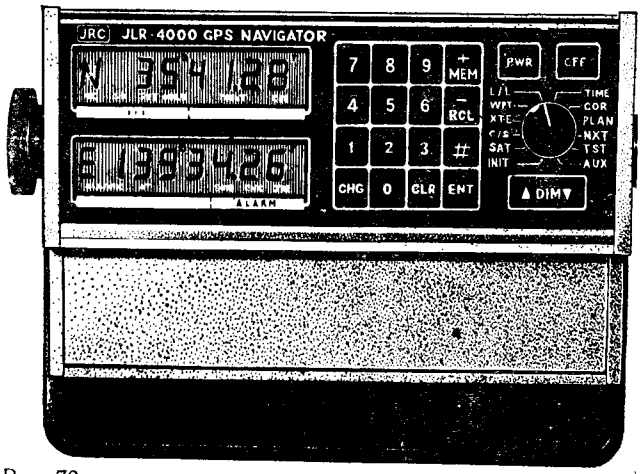


Рис. 72

Определение места судна и его скорости обеспечивается круглосуточно в любую погоду и в любой точке Земли. Средняя квадратическая погрешность обсервации равна 30 м, а скорости — 0,1 м/с. Такой высокой точностью не обладает ни одна система дальней радионавигации.

СНА JLR-4000 полностью автоматизирована и по простоте ее эксплуатации доступна мореплавателю любой квалификации. Данные о месте судна обновляются каждую секунду. По запросу выдаются следующие сведения:

расстояние, пеленг и время движения от настоящего места до заданной точки по намеченному маршруту плавания;

отклонение судна по направлению перпендикуляра к линии заданного пути;

сигнал о приходе в заданную точку маршрута и об отклонении от заданного пути, общее пройденное расстояние.

Встроенные кварцевые часы дают время с точностью до 100 нс. Широта и долгота места судна непрерывно индицируются на дисплеях приемника-вычислителя.

При подключении цветного видеопрокладчика на нем воспроизводится карта района плавания и автоматически ведется прокладка пути судна.

Непрерывное определение места судна с очень высокой точностью, когда погрешность места практически не превышает размеров самого судна, создает совершенно новые возможности для глобального управления мореплаванием в любую погоду. Не меньшее значение спутниковая навигация приобретет в ближайшие годы для других областей народного хозяйства: разведки природных ресурсов и геофизической съемки, геодезической съемки, управления воздушным движением и т. п.

Приложение 1

ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА РАБОТЫ С МИКРОКАЛЬКУЛЯТОРАМИ ТИПА «ЭЛЕКТРОНИКА» БЗ-34 И МК-54

Программируемые ЭМК типа «Электроника» БЗ-34 и МК-54 предназначены для выполнения инженерных, статистических и научных расчетов при индивидуальном пользовании ими; они могут широко использоваться при решении задач судовождения и позволят существенно повысить надежность навигации. Возможность автоматического выполнения вычислений по программе, содержащей 98 шагов; оперативная стэковая («стеллажная») память; наличие 14 регистров памяти для записи исходной и итоговой информации; возможность работы с градусной мерой углов — таковы основные преимущества ПЭМК этого типа.

Для повышения эффективности пользования ПЭМК судоводитель должен соблюдать следующие общие рекомендации:

тщательно готовить исходные данные; это является основным условием правильного решения задачи;

вычисления начинать только после контроля правильности ввода исходных данных по адресам, указанным в таблице прохождения информации для решаемой задачи;

при подготовке ПЭМК к решению задачи обязательно проверить ввод программы и решить тестовую задачу (в книге приведены примеры для решения каждой тестовой задачи).

Не следует экономить время путем сокращения контрольных действий.

При подготовке исходных данных и выполнении других несложных вычислительных операций непосредственно на пульте ПЭМК рекомендуется пользоваться «клавишным алгоритмом» — заранее составленной оптимальной последовательностью операций, графически оформленной применительно к расположению и окраске клавиш на данном ПЭМК. При работе с ПЭМК «клавишный алгоритм» должен быть всегда перед глазами судоводителя, что снизит вероятность неверных действий.

Для ввода в ПЭМК угол должен быть выражен в градусах и их десятичных долях; время в часах и их десятичных долях. Приведем клавишные алгоритмы этих преобразований.

а) Угол в долях градуса.

Пример. Угол 145° 29,3′ выразить в долях градуса.

145 [↑] 29,3 [↑] 60 [:] [+]

Итог на табло ПЭМК: 145,488 33.

Примечание. Цифры набираются непосредственно на пульте в указанной последовательности; в рамках указаны клавиши выполняемых операций.

б) Угол в градусах и дуговых минутах.

Пример. Угол 145,488 33° выразить в градусах и дуговых минутах (например, для работы на карте).

145.488 33 [↑] 145 [—] 60 [×]

Итог на табло ПЭМК: 29,299 8 Ответ: 145° 29,3′.

в) Время в долях часа.

Пример. Момент по часам $T_c = 17^ч\ 49^м\ 19^с$ выразить в долях часа.

17 [↑] 49 [↑] 19 [↑] 60 [:] [+] 60 [:] [+]

Итог на табло ПЭМК: 17,821 945.

г) Время в часах, минутах и секундах.

Пример. Момент $T = 17{,}821\ 945^ч$, вычисленный на ПЭМК, выразить в часах, минутах и секундах времени.

17.821 945 [↑] 17 [—] 60 [×] 49 [—] 60 [×]

Итог на табло ПЭМК: 8,219 45 49,316 7 3,167 19,002. Ответ: $17^ч\ 49^м\ 19^с$.

д) Угол в часовой мере выразить в градусной мере.

Пример. Момент $T = 5^ч\ 45^м\ 17^с$ выразить в градусной мере.

5 [↑] 45 [↑] 17 [↑] 60 [:] [+] 60 [:] [+] 15 [×]

Итог на табло ПЭМК: 86,320 833°.

е) Угол в градусной мере выразить в часовой мере.

Пример. Угол $t = 132°\ 33{,}9'$ выразить в часовой мере.

132 [↑] 33,9 [↑] 60 [:] [+] 15 [:] 8 [—] 60 [×] 50 [—] 60 [×]

Итог на табло ПЭМК: 132,565 8,837 666 6 50,259 996 15,599 76.

Ответ: $8^ч\ 50^м\ 16^с$.

Ввод программы. После включения ПЭМК (согласно инструкции по технической эксплуатации) нажать клавиши [в/о], [F], [ПРГ] — на табло высветится 00 — номер шага первой вводимой из описания команды. Последовательно набирая на пульте символы команд, ввести программу. На табло будут видны номер очередной команды и коды трех последних введенных команд. Исправление ошибочно введенной команды выполняется путем смещения программы на шаг влево клавишей [←ШГ] или на шаг вправо клавишей [→ШГ] и вводом правильной команды.

Для осуществления контроля ввода всей программы следует нажать клавиши [в/о], [F], [ПРГ] (если ПЭМК был переведен в режим автоматического счета нажатием клавиш [F], [АВТ]) и, последовательно нажимая клавишу [→ШГ], проверить соответствие кодов введенных команд тем кодам, которые указаны в описании программы.

Вычисления. После ввода программы нажать клавиши [F] [АВТ]. Ввести исходные данные из таблицы прохождения информации, которая имеется в описании каждой навигационной задачи, направляя их в указанные регистры памяти. Пустить ПЭМК в работу клавишами [в/о], [с/п]. Продолжение счета без обращения в начало программы осуществляется нажатием клавиши [с/п]. При необходимости повторить решение по тем же исходным данным следует проверить всю исходную информацию по ее адресам.

Выпускаемый с 1986 г. ПЭМК «Электроника» МК-52 позволяет вводить программу из 512 шагов и хранит ее до 5000 ч; он наиболее удобен при решении навигационных задач.

Приложение II

АСТРОНАВИГАЦИОННЫЕ ТАБЛИЦЫ НА 1984—2000 ГГ.

Астронавигационные таблицы (АНТ) предназначены для вычисления координат географических мест Солнца и основных навигационных звезд, наблюдаемых в широтах более 40°N, с применением программируемых или обыкновенных электронных микрокалькуляторов, а также истинных высот светил.

При работе в период с 1984 по 2000 г. погрешность в высотной линии положения судна, обусловленная погрешностями расчета координат географических мест светил по АНТ, не превысит 1 мили при наблюдениях их вблизи плоскости местного меридиана и 0,5 мили при наблюдении на востоке или на западе (если широта месте судна превышает 40°N). Такие погрешности соизмеримы с погрешностями измерения высоты светила навигационным секстаном на борту малого судна и допустимы для астронавигационного ориентирования вдали от навигационных опасностей.

При определении поправки компаса по наблюдениям светил погрешности вычисляемых по АНТ координат не оказывают заметного влияния

Широта и долгота географического места Солнца вычисляются с помощью табл. II-1 по формулам:

Таблица 11-1. **Координаты географического места Солнца на указанных календарных дат) 1984 високосный год (в момент всемирного времени $T_{гр} = 0^{ч}$**

Гринвичская календарная дата		Широта ГМС, град	Интерполяционные коэффициенты						Долгота ГМС, град	Интерполяционные коэффициенты					
			Изменение, минуты дуги			Год после високосного				Изменение, минуты дуги			Год после високосного		
			за цикл	за сутки	за час	1	2	3		за цикл	за сутки	за час	1	2	3
		$\varphi^{\odot}$	K_4	K_5	K_6	K_7^1	K_7^2	K_7^3	$\lambda^{\odot}$	K_9	K_A	K_B	K_C^1	K_C^2	K_C^3
Январь	1	23,083 3S	−0,32	−5,133	−0,203	−3,5	−2,4	−1,3	179,238 3W	−0,11	−7,000	−0,295	−5,5	−3,9	−1,5
	4	22,825 0	−0,35	−6,500	−0,269	−4,6	−3,2	−1,8	178,885 0	−0,13	−6,767	−0,284	−5,5	−3,9	−1,4
	7	22,500 0	−0,39	−7,867	−0,315	−5,6	−3,9	−2,1	178,545 0	−0,12	−6,400	−0,271	−5,3	−3,6	−1,3
	10	22,106 7	−0,42	−9,133	−0,370	−6,6	−4,5	−2,6	178,223 3	−0,09	−6,000	−0,255	−5,1	−3,4	−1,3
	13	21,648 3	−0,44	−10,500	−0,423	−7,7	−5,2	−2,8	177,923 3	−0,04	−5,567	−0,236	−4,8	−3,1	−1,2
	16	21,128 3	−0,46	−11,633	−0,474	−8,5	−5,8	−3,1	177,646 7	+0,03	−5,067	−0,216	−4,4	−2,8	−1,0
	19	20,546 7	−0,48	−12,767	−0,523	−9,4	−6,4	−3,4	177,395 0	+0,09	−4,533	−0,193	−3,8	−2,4	−0,8
	22	19,906 7	−0,49	−13,900	−0,570	−10,2	−6,9	−3,7	177,171 7	+0,13	−3,967	−0,169	−3,2	−2,1	−0,6
	25	19,211 7	−0,52	−14,933	−0,614	−11,0	−7,5	−3,9	176,975 0	+0,15	−3,333	−0,144	−2,6	−1,8	−0,3
	28	18,463 3S	−0,54	−16,125	−0,663	−11,8	−8,0	−4,2	176,808 3W	+0,15	−2,500	−0,114	−2,2	−1,6	−0,2
Февраль	1	17,388 3S	−0,57	−17,200	−0,709	−12,8	−8,6	−4,5	176,630 0W	+0,13	−1,900	−0,085	−1,7	−1,2	+0,1
	4	16,526 7	−0,59	−18,067	−0,746	−13,4	−9,1	−4,8	176,533 3	+0,14	−1,300	−0,060	−1,3	−1,0	+0,1
	7	15,623 3	−0,60	−18,867	−0,780	−14,1	−9,5	−5,0	176,466 7	+0,15	−0,667	−0,035	−1,0	−0,6	+0,3
	10	14,678 3	−0,61	−19,600	−0,811	−14,7	−9,9	−5,3	176,431 7	+0,19	−0,133	−0,011	−0,6	−0,3	+0,4
	13	13,698 3	−0,60	−20,233	−0,840	−15,2	−10,2	−5,4	176,426 7	+0,24	+0,400	+0,013	−0,1	+0,1	+0,6
	16	12,683 3	−0,60	−20,900	−0,866	−15,7	−10,6	−5,6	176,450 0	+0,29	+0,967	+0,036	+0,5	+0,5	+0,7
	19	11,640 0	−0,59	−21,467	−0,889	−16,1	−10,8	−5,7	176,500 0	+0,34	+1,500	+0,058	+1,0	+0,9	+0,8
	22	10,566 7	−0,59	−21,933	−0,910	−16,4	−11,0	−5,8	176,576 7	+0,36	+1,967	+0,081	+1,6	+1,1	+1,1
	25	9,470 0	−0,60	−22,333	−0,928	−16,7	−11,3	−5,9	176,675 0	+0,36	+2,467	+0,099	+1,9	+1,3	+1,2
	28	8,351 7S	−0,61	−22,700	−0,944	−17,1	−11,6	−6,0	176,796 7W	+0,34	+2,800	+0,116	+2,1	+1,4	+1,3
Март	1	7,595 0S	−0,62	−22,933	−0,953	+5,6	+11,1	+16,7	176,888 3W	+0,32	+3,100	+0,126	−0,7	−1,5	−1,5
	4	6,448 3	−0,62	−23,200	−0,965	+5,6	+11,2	+16,9	177,041 7	+0,31	+3,433	+0,140	−0,8	−1,7	−1,9
	7	5,286 7	−0,62	−23,433	−0,974	+5,6	+11,3	+17,1	177,213 3	+0,31	+3,733	+0,153	−1,0	−1,8	−2,1
	10	4,115 0	−0,61	−23,567	−0,982	+5,7	+11,4	+17,2	177,400 0	+0,33	+3,966	+0,164	−1,1	−1,9	−2,4
	13	2,935 0	−0,59	−23,700	−0,986	+5,7	+11,5	+17,3	177,598 3	+0,36	+4,167	+0,172	−1,1	−1,9	−2,6
	16	1,598 3	−0,56	−23,700	−0,989	+5,8	+11,6	+17,4	177,808 3	+0,40	+4,333	+0,180	−1,1	−1,9	−2,8
	19	0,566 7S	−0,54	−23,733	−0,988	+5,7	+11,6	+17,4	178,026 7	+0,43	+4,433	+0,185	−1,1	−1,9	−2,8
	22	0,618 3N	+0,53	+23,667	+0,986	−5,8	−11,6	−17,4	178,251 7	+0,44	+4,533	+0,189	−0,9	−1,9	−2,9
	25	1,800 0	+0,52	+23,500	+0,981	−5,8	−11,6	−17,3	178,478 3	+0,43	+4,567	+0,191	−0,9	−2,0	−2,9
	28	2,976 7N	+0,52	+23,300	+0,974	−5,8	−11,4	−17,2	178,705 0W	+0,40	+4,525	+0,190	−0,9	−2,1	−3,0
Апрель	1	4,530 0N	+0,52	+23,033	+0,962	−5,7	−11,3	−17,0	179,005W	+0,35	+4,467	+0,186	−0,9	−2,2	−2,9
	4	5,681 7	+0,51	+22,700	+0,949	−5,6	−11,1	−16,8	179,226 7	+0,33	+4,333	+0,181	−1,0	−2,2	−2,9
	7	6,818 3	+0,49	+22,400	+0,936	−5,4	−10,9	−16,5	179,441 7	+0,32	+4,133	+0,174	−1,1	−2,2	−2,9
	10	7,936 7	+0,47	+21,967	+0,920	−5,4	−10,8	−16,3	179,648 3	+0,33	+3,933	+0,166	−1,1	−2,0	−2,8
	13	9,036 7	+0,44	+21,533	+0,902	−5,2	−10,6	−16,0	179,846 7	+0,35	+3,700	+0,156	−1,0	−1,8	−2,6
	16	10,111 7	+0,41	+21,033	+0,881	−5,1	−10,4	−15,7	180,033 3	+0,37	+3,400	+0,145	−0,9	−1,6	−2,5
	19	11,163 3	+0,39	+20,500	+0,858	−5,0	−10,1	−15,3	180,205 0	+0,39	+3,100	+0,134	−0,6	−1,4	−2,3
	22	12,186 7	+0,37	+19,867	+0,834	−5,0	−9,9	−14,9	180,361 7	+0,37	+2,800	+0,120	−0,4	−1,2	−2,1
	25	13,180 0	+0,36	+19,233	+0,807	−4,8	−9,5	−14,4	180,501 7	+0,33	+2,467	+0,105	−0,3	−1,2	−1,8
	28	14,141 7N	+0,34	+18,533	+0,778	−4,7	−9,2	−13,9	180,621 7W	+0,28	+2,067	+0,090	−0,3	−1,2	−1,6

Гринвичская календарная дата		Широта ГМС, град	Интерполяционные коэффициенты					
			Изменение, минуты дуги			Год после високосного		
			за цикл	за сутки	за час	1	2	3
		$\varphi^{\odot}$	K_4	K_5	K_6	K_7^1	K_7^2	K_7^3
Май	1	15,068 3N	+0,33	+17,767	+0,748	−4,5	−8,8	−13,4
	4	15,956 7	+0,31	+17,000	+0,715	−4,2	−8,4	−12,9
	7	16,836 7	+0,28	+16,133	+0,681	−4,0	−8,0	−12,3
	10	17,613 3	+0,25	+15,300	+0,645	−3,8	−7,6	−11,5
	13	18,376 7	+0,22	+14,333	+0,606	−3,6	−7,2	−11,0
	16	19,093 3	+0,19	+13,367	+0,566	−3,4	−6,7	−10,3
	19	19,761 7	+0,16	+12,367	+0,524	−3,1	−6,2	−9,6
	22	20,378 3	+0,13	+11,333	+0,481	−2,9	−5,7	−8,8
	25	20,943 3	+0,11	+10,233	+0,436	−2,7	−5,2	−8,1
	28	21,455 0N	+0,08	+8,925	+0,390	−2,4	−4,7	−7,3
Июнь	1	22,051 7N	+0,04	+7,600	+0,327	−2,0	−3,9	−6,2
	4	22,430 0	+0,01	+6,400	+0,278	−1,7	−3,3	−5,4
	7	22,750 0	−0,02	+5,233	+0,228	−1,3	−2,5	−4,5
	10	23,011 7	−0,05	+4,000	+0,178	−1,1	−2,1	−3,6
	13	23,210 0	−0,08	+2,800	+0,127	−0,7	−1,6	−2,7
	16	23,348 3	−0,12	+1,533	+0,075	−0,5	−1,0	−1,8
	19	23,425 0	−0,15	+0,333	+0,024	−0,2	−0,5	−0,9
	22	23,440 0	−0,18	−0,933	−0,028	+0,1	+0,1	0,0
	25	23,393 3	−0,22	−2,167	−0,081	+0,4	+0,7	+0,8
	28	23,283 3N	−0,25	−3,400	−0,134	+0,7	+1,3	+1,7
Июль	1	23,113 3N	−0,28	−4,600	−0,181	+1,0	+1,9	+2,6
	4	22,883 3	−0,31	−5,800	−0,231	+1,3	+2,5	+3,5
	7	22,591 7	−0,34	−6,967	−0,280	+1,6	+3,1	+4,3
	10	22,241 7	−0,37	−8,133	−0,328	+1,8	+3,6	+5,2
	13	21,835 0	−0,39	−9,233	−0,376	+2,1	+4,2	+6,0
	16	21,373 3	−0,41	−10,333	−0,421	+2,4	+4,7	+6,8
	19	20,856 7	−0,44	−11,400	−0,466	+2,7	+5,2	+7,6
	22	20,286 7	−0,47	−12,400	−0,508	+3,0	+5,8	+8,3
	25	19,665 0	−0,50	−13,367	−0,549	+3,2	+6,2	+9,1
	28	18,995 0N	−0,54	−14,475	−0,589	+3,4	+6,6	+9,8
Август	1	18,030 0N	−0,57	−15,533	−0,639	+3,7	+7,2	+10,7
	4	17,253 3	−0,58	−16,333	−0,674	+3,9	+7,7	+11,3
	7	16,435 0	−0,60	−17,167	−0,708	+4,1	+8,1	+11,9
	10	15,578 3	−0,60	−17,900	−0,740	+4,3	+8,5	+12,4
	13	14,683 3	−0,61	−18,600	−0,769	+4,5	+8,9	+13,0
	16	13,753 3	−0,62	−19,233	−0,797	+4,7	+9,2	+13,5
	19	12,790 0	−0,64	−19,867	−0,822	+4,8	+9,5	+14,0
	22	11,796 7	−0,66	−20,433	−0,846	+5,0	+9,8	+14,4
	25	10,775 0	−0,68	−20,933	−0,888	+5,1	+9,9	+14,8
	28	9,728 3N	−0,70	−21,475	−0,888	+5,2	+10,2	+15,2

Продолжение

Долгота ГМС, град	Интерполяционные коэффициенты					
	Изменение, минуты дуги			Год после високосного		
	за цикл	за сутки	за час	1	2	3
$\lambda^{\odot}$	K_9	K_A	K_B	K_C^1	K_C^2	K_C^3
180,723 3W	+0,24	+1,633	+0,073	−0,3	−1,1	−1,3
180,803 3	+0,20	+1,267	+0,055	−0,3	−0,8	−1,1
180,865 0	+0,19	+0,800	+0,037	−0,3	−0,7	−0,8
180,905 0	+0,19	+0,333	+0,018	−0,3	−0,4	−0,6
180,923 3	+0,21	−0,067	+0,001	0,0	−0,1	−0,3
180,921 7	+0,23	−0,500	−0,016	+0,2	+0,2	0,0
180,898 3	+0,23	−0,900	−0,033	+0,4	+0,4	+0,4
180,855 0	+0,20	−1,267	−0,049	+0,6	+0,6	+0,6
180,790 0	+0,16	−1,633	−0,070	+0,7	+0,6	+0,9
180,706 7W	+0,11	−2,025	−0,080	+0,7	+0,7	+1,2
180,568 3W	+0,04	−2,400	−0,097	+0,7	+0,7	+1,5
180,446 7	+0,02	−2,633	−0,109	+0,6	+0,9	+1,5
180,313 3	+0,02	−2,900	−0,119	+0,6	+1,0	+1,7
180,168 3	+0,04	−3,100	−0,127	+0,6	+1,2	+1,8
180,016 7	+0,07	−3,167	−0,132	+0,8	+1,4	+2,0
179,850 0	+0,09	−3,267	−0,135	+0,9	+1,4	+2,1
179,698 3	+0,08	−3,267	−0,135	+1,1	+1,5	+2,1
179,535 0	+0,06	−3,200	−0,134	+1,1	+1,4	+2,1
179,393 3	+0,01	−3,100	−0,129	+1,1	+1,2	+2,0
179,216 7W	−0,03	−2,967	−0,126	+0,9	+1,0	+2,0
179,065 0W	−0,06	−2,800	−0,118	+0,7	+0,9	+1,8
178,925 0	−0,07	−2,567	−0,110	+0,6	+0,8	+1,6
178,796 7	−0,05	−2,300	−0,099	+0,5	+0,8	+1,4
178,683 3	−0,01	−2,000	−0,085	+0,5	+0,7	+1,2
178,586 7	+0,03	−1,633	−0,071	+0,5	+0,7	+0,9
178,508 3	+0,05	−1,433	−0,054	+0,5	+0,6	+0,7
178,448 3	+0,06	−0,800	−0,037	+0,5	+0,4	+0,5
178,406 7	+0,04	−0,367	−0,019	+0,5	+0,1	+0,2
178,388 3	+0,01	+0,067	−0,001	+0,3	−0,3	−0,1
178,390 0W	−0,02	+0,800	+0,018	+0,1	−0,5	−0,5
178,428 3W	−0,03	+1,133	+0,042	−0,2	−0,8	−0,9
178,483 3	−0,02	+1,567	+0,060	−0,4	−1,0	−1,3
178,563 3	+0,02	+1,967	+0,079	−0,6	−1,2	−1,6
178,665 0	+0,06	+2,433	+0,097	−0,6	−1,2	−1,9
178 788 3	+0,08	+2,833	+0,115	−0,6	−1,4	−2,2
178,931 7	+0,11	+3,233	+0,132	−0,6	−1,6	−2,5
179,095 0	+0,11	+3,600	+0,148	−0,6	−1,8	−2,7
179,275 0	+0,09	+3,967	+0,162	−0,6	−2,0	−2,9
179,473 3	+0,06	+4,267	+0,175	−0,8	−2,2	−3,2
178,685 0W	+0,03	+4,575	+0,186	−0,9	−2,4	−3,4

Гринвичская календарная дата		Широта ГМС, град	Интерполяционные коэффициенты					
			Изменение, минуты дуги			Год после високосного		
			за цикл	за сутки	за час	1	2	3
		$\varphi^{\odot}$	K_4	K_5	K_6	K_7^1	K_7^2	K_7^3
Сентябрь	1	8,296 7N	−0,71	−21,933	−0,911	+5,3	+10,5	+15,6
	4	7,198 3	−0,70	−22,300	−0,926	+5,4	+10,7	+15,9
	7	6,083 3	−0,69	−22,600	−0,940	+5,5	+10,9	+16,2
	10	4,955 0	−0,68	−22,867	−0,951	+5,5	+11,0	+16,4
	13	3,811 7	−0,67	−23,067	−0,959	+5,7	+11,2	+16,5
	16	2,660 0	−0,67	−23,200	−0,966	+5,8	+11,3	+16,7
	19	1,500 0	−0,68	−23,300	−0,971	+5,8	+11,3	+16,8
	22	0,333 3N	−0,68	−23,500	−0,973	+5,8	+11,3	+16,9
	25	0,835 0S	+0,68	+23,367	+0,974	−5,8	−11,3	−16,9
	28	2,005 0S	+0,68	+23,333	+0,973	−5,7	−11,3	−17,0
Октябрь	1	3,171 7S	+0,67	+23,200	+0,969	−5,7	−11,3	−16,8
	4	4,331 7	+0,65	+23,067	+0,963	−5,6	−11,2	−16,7
	7	5,485 0	+0,62	+22,867	+0,955	−5,5	−11,1	−16,7
	10	6,626 7	+0,60	+22,600	+0,944	−5,5	−11,1	−16,5
	13	7,756 7	+0,57	+22,300	+0,931	−5,5	−10,9	−16,3
	16	8,870 0	+0,56	+21,867	+0,916	−5,5	−10,8	−16,1
	19	9,963 3	+0,54	+21,467	+0,898	−5,3	−10,5	−15,9
	22	11,036 7	+0,53	+20,967	+0,878	−5,2	−10,3	−15,6
	25	12,085 0	+0,52	+20,400	+0,856	−5,1	−10,1	−15,2
	28	13,106 7S	+0,50	+19,675	+0,831	−4,9	−9,8	−14,7
Ноябрь	1	14,418 3S	+0,46	+18,867	+0,794	−4,6	−9,3	−14,1
	4	15,361 7	+0,42	+18,133	+0,763	−4,4	−9,0	−13,7
	7	16,268 3	+0,38	+17,333	+0,729	−4,2	−8,6	−13,1
	10	17,131 7	+0,35	+16,433	+0,693	−4,1	−8,3	−12,5
	13	17,953 3	+0,31	+15,500	+0,654	−3,9	−7,9	−11,9
	16	18,728 3	+0,28	+14,500	+0,613	−3,7	−7,4	−11,2
	19	19,451 7	+0,25	+13,433	+0,570	−3,5	−6,9	−10,4
	22	20,125 0	+0,22	+12,333	+0,524	−3,2	−6,3	−9,6
	25	20,741 7	+0,19	+11,167	+0,476	−2,9	−5,7	−8,8
	28	21,300 0S	+0,16	+9,967	+0,426	−2,5	−5,1	−7,9
Декабрь	1	21,798 3S	+0,12	+8,733	+0,375	−2,2	−4,5	−7,2
	4	22,235 0	+0,08	+7,433	+0,321	−1,9	−3,9	−6,2
	7	22,606 7	+0,04	+6,133	+0,266	−1,6	−3,3	−5,3
	10	22,910 0	0,00	+4,733	+0,210	−1,3	−2,7	−4,3
	13	23,148 3	−0,04	+3,400	+0,152	−0,9	−2,0	−3,3
	16	23,316 7	−0,08	+1,967	+0,094	−0,7	−1,3	−2,3
	19	23,415 0	−0,12	+0,567	+0,036	−0,3	−0,6	−1,2
	22	23,441 7	−0,16	−0,567	−0,023	0,0	+0,1	−0,2
	25	23,400 0	−0,19	−2,233	−0,082	+0,4	+0,8	+0,9
	28	23,285 7S	−0,23	−3,900	−0,140	+0,7	+1,4	+1,9

Продолжение

Долгота ГМС, град	Интерполяционные коэффициенты					
	Изменение, минуты дуги			Год после високосного		
	за цикл	за сутки	за час	1	2	3
$\lambda^{\odot}$	K_9	K_A	K_B	K_C^1	K_C^2	K_C^3
179,988 3W	+0,02	+4,833	+0,199	−1,1	−2,5	−3,6
181,233 0	+0,04	+5,000	+0,207	−1,2	−2,6	−3,8
181,483 3	+0,08	+5,167	+0,213	−1,2	−2,5	−4,0
181,741 7	+0,11	+5,233	+0,218	−1,3	−2,6	−4,0
181,906 7	+0,13	+5,300	+0,222	−1,1	−2,5	−4,1
181,273 3	+0,13	+5,333	+0,223	−1,0	−2,5	−4,1
181,541 7	+0,11	+5,333	+0,222	−1,0	−2,5	−4,1
181,806 7	+0,08	+5,233	+0,222	−1,0	−2,6	−4,1
182,065 7	+0,04	+5,133	+0,214	−1,1	−2,6	−4,0
182,321 7W	+0,01	+4,933	+0,207	−1,2	−2,6	−3,9
182,568 3W	0,00	+4,733	+0,198	−1,2	−2,4	−3,8
182,805 0	+0,02	+4,433	+0,187	−1,2	−2,3	−3,7
183,028 3	+0,05	+4,133	+0,175	−1,1	−2,0	−3,4
183,236 7	+0,07	+3,800	+0,161	−0,9	−1,7	−3,2
183,428 3	+0,08	+3,400	+0,146	−0,7	−1,6	−2,9
183,600 0	+0,07	+3,000	+0,129	−0,5	−1,4	−2,4
183,750 0	+0,04	+2,500	+0,110	−0,4	−1,2	−2,2
183,875 0	−0,01	+2,033	+0,089	−0,3	−1,0	−1,9
183,973 3	−0,05	+1,500	+0,066	−0,2	−0,8	−1,5
184,046 7W	−0,08	+1,100	+0,042	−0,2	−0,6	−1,1
184,100 0W	−0,09	+0,100	+0,009	−0,2	−0,2	−0,5
184,106 7	−0,07	−0,533	−0,017	0,0	+0,2	−0,1
184,081 7	−0,04	−1,133	−0,042	+0,2	+0,7	+0,3
184,026 7	−0,03	−1,533	−0,068	+0,4	+1,0	+0,9
183,938 3	−0,03	−2,400	−0,094	+0,8	+1,4	+1,4
183,818 3	−0,05	−3,033	−0,120	+1,0	+1,6	+1,9
183,665 7	−0,09	−3,600	−0,146	+1,1	+1,9	+2,3
183,483 3	−0,14	−4,233	−0,171	+1,1	+2,0	+2,8
183,270 0	−0,18	−4,800	−0,196	+1,2	+2,3	+3,2
183,028 3W	−0,20	−5,333	−0,219	+1,2	+2,6	+3,6
182,760 0W	−0,18	−5,833	−0,240	+1,3	+2,9	+4,0
182,470 0	−0,15	−6,267	−0,258	+1,4	+3,2	+4,4
182,156 7	−0,11	−6,633	−0,274	+1,6	+3,5	+4,6
181,826 7	−0,09	−6,967	−0,287	+1,7	+3,7	+5,0
181,480 0	−0,08	−7,200	−0,298	+2,0	+3,8	+5,2
181,121 7	−0,09	−7,333	−0,304	+2,1	+3,9	+5,5
180,753 3	−0,12	−7,400	−0,309	+2,1	+3,9	+5,6
180,378 3	−0,15	−7,467	−0,311	+2,0	+3,7	+5,7
180,003 3	−0,17	−7,367	−0,310	+1,9	+3,7	+5,7
179,633 3W	−0,17	−7,150	−0,305	+1,7	+3,6	+5,6

Таблица II-2. **Гринвичское звездное время**

А. Звездное время $t^{\Upsilon}_{гр}$ на $T_{гр} = 0^{ч}$ первого числа календарного месяца текущего года, градусы

Месяцы	Годы			
	1984, 1988, 1992, 1996	1985, 1989, 1993, 1997	1986, 1990, 1994, 1998	1987, 1991, 1995, 1999
Январь	99,811 7	100,556 7	100,318 3	100,078 3
Февраль	130,363 7	131,111 7	130,873 3	130,633 3
Март	158,950 0	158,710 0	158,471 7	158,231 7
Апрель	189,505 0	189,265 0	189,025 0	188,785 0
Май	219,073 3	218,835 0	218,595 0	218,355 0
Июнь	249,628 3	249,390 0	249,150 0	248,910 0
Июль	279,198 3	278,958 3	278,720 0	278,480 0
Август	309,753 3	309,515 0	309,275 0	309,035 0
Сентябрь	340,318 3	340,068 3	339,830 0	339,590 0
Октябрь	9,878 3	9,638 3	9,393 3	9,158 3
Ноябрь	40,433 3	40,193 3	39,953 3	39,713 3
Декабрь	70,091 7	69,761 7	69,523 3	69,283 3

Б. Поправка текущего календарного года $\Delta_г$, минуты дуги, (всегда положительна) — по адресу П4

1984	1,7	1988	3,8	1992	5,9	1996	7,6
1985	1,8	1989	4,0	1993	6,1	1997	7,7
1986	1,9	1990	4,1	1994	6,0	1998	7,5
1987	2,0	1991	4,2	1995	6,0	1999	7,5

Таблица II-3. **Координаты географических мест звезд на 1984 г.**

А. Широта географического места звезды и ее годовое изменение

№ п/п	Обозначение звезды в созвездии	Широта ГМС φ^*, градусы	Годовое изменение Δ_φ минуты дуги
1	α Большой Медведицы	61,841 7N	−0,32
2	β Большой Медведицы	56,471 7N	−0,32
3	γ Большой Медведицы	53,786 7N	−0,33
4	δ Большой Медведицы	57,125 0N	−0,33
5	ε Большой Медведицы	56,050 0N	−0,32
6	ζ Большой Медведицы	55,011 7N	−0,31
7	η Большой Медведицы	49,395 0N	−0,30
8	α Малой Медведицы	89,188 3N	+0,27
9	β Малой Медведицы	74,223 3N	−0,25
10	α Льва	12,046 7N	−0,29
11	β Льва	14,661 7N	−0,34
12	α Волопаса	19,265 0N	−0,31
13	α Девы	11,980 0S	−0,31
14	α Лиры	38,768 3N	+0,06
15	α Лебедя	45,221 7N	+0,22
16	α Орла	8,825 0N	+0,15
17	α Змееносца	12,570 0N	−0,04
18	α Скорпиона	26,400 0S	−0,13
19	α Кассиопеи	56,446 7N	+0,33
20	β Кассиопеи	59,058 3N	+0,33
21	α Пегаса	15,118 3N	+0,32
22	β Пегаса	27,995 0N	+0,33
23	γ Пегаса	15,095 0N	+0,33

Продолжение

№ п/п	Обозначение звезды в созвездии	Широта ГМС φ^*, градусы	Годовое изменение Δ_φ, минуты дуги
24	α Андромеды	29,000 0N	+0,33
25	β Андромеды	35,535 0N	+0,32
26	γ Андромеды	42,251 7N	+0,29
27	α Персея	49,803 3N	+0,21
28	α Возничего	45,983 3N	+0,06
29	α Овна	23,385 7N	+0,28
30	α Ориона	7,406 7N	+0,01
31	β Ориона	8,218 3S	+0,07
32	α Тельца	16,478 3N	+0,12
33	α Большого Пса	16,693 3S	−0,08
34	α Близнецов	31,926 7N	−0,13
35	β Близнецов	28,166 7N	−0,15
36	α Малого Пса	5,266 7N	−0,16
37	α Южной Рыбы	29,703 3S	+0,32
38	α Северной Короны	26,768 3N	−0,19
39	β Кита	18,070 0S	+0,33
40	α Гидры	8,590 0S	−0,26

Примечания. 1. Координаты ГМС даны на 1 июля 1984 г. В другие даты они могут отличаться до 0,038 3° (до 0,5′). Правила вычисления координат ГМС на текущий год пояснены в гл. 6.

2. Конфигурации созвездий Тельца, Возничего, Близнецов, Льва, Девы, Скорпиона периодически искажаются появляющимися в них планетами. Сведения о видимости планет можно найти в Морском астрономическом ежегоднике или в Астрономическом календаре издательства «Наука» на текущий год.

Б. Звездный угол и его годовое изменение, блеск и цвет звезды

№ п/п	Собственное имя звезды	Звездный угол τ^*, градусы	Годовое изменение Δ_τ, минуты дуги	Блеск m	Цвет
1	Дубхе	194,313 3	−0,92	2,0	т. ж
2	Мерак	194,778 3	−0,90	2,4	б
3	Фекда	181,750 0	−0,78	2,5	б
4	Мегрец	176,338 3	−0,74	3,4	б
5	Алиот	166,663 3	−0,66	1,7	б
6	Мицар	159,173 3	−0,60	2,4	б
7	Бенетнаш	153,266 7	−0,59	1,9	г. б
8	Полярная	326,318 3	−11,68	2,1	ж. б
9	Кохаб	137,301 7	−0,04	2,2	ж
10	Регул	208,120 0	−0,80	1,3	б. ж
11	Денебола	182,938 3	−0,76	2,2	б
12	Арктур	146,263 3	−0,68	0,2	о
13	Спика	158,910 0	−0,79	1,2	г. б
14	Вега	80,891 7	−0,51	0,1	б
15	Денеб	49,771 7	−0,51	1,3	б
16	Альтаир	62,491 7	−0,73	0,9	б
17	Рас Альхаг	96,445 0	−0,70	2,1	б
18	Антарес	112,885 0	−0,92	1,2	к
19	Шедар	350,101 7	−0,86	2,5	т. ж
20	Кафф	357,918 3	−0,80	2,4	ж. б
21	Маркаб	14,005 0	−0,75	2,6	б
22	Сеат	14,246 7	−0,73	2,3	о
23	Альгениб	356,895 0	−0,77	2,9	г. б
24	Альферас	358,108 3	−0,78	2,2	б

Продолжение

№ п/п	Собственное имя звезды	Звездный угол τ^*, градусы	Годовое изменение Δ_τ, минуты дуги	Блеск m	Цвет
25	Мирах	342,791 7	−0,84	2,4	о
26	Аламак	329,273 3	−0,92	2,3	т. ж
27	Мирфак	309,210 0	−1,07	1,9	ж
28	Капелла	281,128 3	−1,11	0,2	ж
29	Хамаль	328,433 3	−0,85	2,2	к. ж
30	Бетельгейзе	271,426 7	−0,81	0−1	о
31	Ригель	281,561 7	−0,72	0,3	б
32	Альдебаран	291,251 7	−0,85	1,1	о
33	Сириус	258,893 3	−0,66	−1,6	б
34	Кастор	246,608 3	−0,96	2,0	б
35	Поллукс	243,918 3	−0,92	1,2	б
36	Процион	245,385 7	−0,78	0,5	ж
37	Фомальгаут	15,891 7	−0,83	1,3	б
38	Альфакка	126,491 7	−0,64	2,3	б
39	Дифда	349,301 7	−0,75	2,2	о
40	Альфард	218,301 7	−0,74	2,2	о

Примечания. 1. Обозначения цвета звезд: б — белый, г — голубой, ж — желтый, к — красный, о — оранжевый, т. ж — темно-желтый, г. б — голубоватый.

2. Блеск звезды ослабевает по мере ее приближения к горизонту, а цвет смещается в красную сторону. При высоте звезды около 5° оценку ее блеска следует увеличить на +2.

$$\varphi^{\odot} = \varphi_{г}^{\odot} + 0{,}016\,7\left(K_4 Ц + K_5 C + K_6 T_{гр}^{ч} + K_7\right); \qquad (II.1)$$

$$\lambda^{\odot} = \lambda_{т}^{\odot} + 0{,}016\,7\left(K_9 Ц + K_A C + K_B T_{гр}^{ч} + K_c\right) + 15 T_{гр}^{ч}, \qquad (II.2)$$

где $T_{гр}^{ч}$ — момент измерения высоты Солнца или его компасного пеленга по всемирному времени (в часах и их долях); $\varphi_{т}^{\odot}$ и $\lambda_{т}^{\odot}$ — табличные координаты ГМС Солнца на ближайшую меньшую табличную гринвичскую дату; K — интерполяционные коэффициенты.

Широта и долгота географического места навигационной звезды вычисляются с помощью табл. II-2 и II-3 по формулам:

$$\varphi^{*} = \varphi_{т}^{*} + n\Delta_{\varphi}; \qquad (II.3)$$

$$\lambda^{*} = t_{гр}^{♈} + 0{,}016\,7\Delta_{г} + 0{,}985\,6\,(Д - 1) + 15{,}041\,0\,T_{гр}^{ч} + \tau_{г}^{*} + n\Delta_{\tau}, \qquad (II.4)$$

где $Д$ — дата наблюдений по всемирному времени; $T_{гр}^{ч}$ — момент измерения высоты звезды или ее компасного пеленга по всемирному времени (в часах и их долях); $t_{гр}^{♈}$, $\varphi_{т}^{*}$, $\tau_{т}^{*}$ — табличные координаты точки весны (точки Овна) и навигационной звезды; $\Delta_г$ — поправка года наблюдений; n = год наблюдений — 1984 г.; Δ_φ, Δ_τ — годовые перемены φ^* и τ^*

Для 2000 г. данные из табл. II-2 выбирают на 1996 г. и учитывают $\Delta_г = +9{,}1'$, а после 28 февраля полученный угол λ^* уменьшают на 59,1′. При расчетах координат Солнца после 28 февраля 2000 г. в табл. II-1 входят по предыдущей дате.

Поправки для исправления измеренных навигационным секстаном высот светил приведены в табл. II-4.

Программы вычислений, таблицы ввода исходной навигационной информации и правила вычислений приведены в гл. 6.

Таблица II-4. **Поправки для исправления высот звезд и Солнца**

А. Наклонение видимого горизонта — выбирается по возвышению глаза наблюдателя над уровнем моря e, м; вычитается из измеренной высоты светила

e	1,0	1,4	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4
d'	1,8	2,1	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	3,0	3,1	3,2	3,2
e	3,6	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	5,2	5,4	5,6
d'	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	3,9	4,0	4,1	4,2

Б. Астрономическая рефракция — выбирается по видимой высоте светила; вычитается из видимой высоты $h_в = OC + i + s - d$

$h_в^\circ$	ρ′	$h_в^\circ$	ρ′	$h_в^\circ$	ρ′	$h_в^\circ$	ρ′	$h_в^\circ$	ρ′
0	34,4	9	5,9	18,5	2,9	27−26	1,9	45−48	0,9
0,5	28,7	10	5,3	19	2,8	27−28,5	1,8	48−52	0,8
1	24,3	11	4,8	19−19,5	2,7	28,5−30	1,7	52−55	0,7
2	18,2	12	4,4	19,5−20,5	2,6	30−31	1,6	55−60	0,6
3	14,3	13	4,1	20,5−21	2,5	31−33	1,5	60−64	0,5
4	11,7	14	3,8	21−22	2,4	33−35	1,4	64−70	0,4
5	9,8	15	3,6	22−23	2,3	35−37	1,3	70−75	0,3
6	8,4	16	3,3	23−24	2,2	37−40	1,2	75−80	0,2
7	7,4	17	3,1	24−25	2,1	40−42	1,1	80−86	0,1
8	6,5	18	3,0	25−26	2,0	42−45	1,0	86−90	0

В. Видимый полудиаметр Солнца — выбирается по календарной дате; прибавляется к высоте нижнего края, вычитается из высоты верхнего края

1.12 – 4.02	4.03 – 27.03	28.04 – 13.05	14.05 – 24.08	25.08 – 18.09			
R'	16,3	16,2	16,1	16,0	15,9	15,8	15,9

19.09 – 10.10	11.10 – 2.11	3.11 – 1.12
16,0	16,1	16,2

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов Ю. К. Использование радиотехнических средств в морской навигации. 2-е изд. М., Транспорт, 1978.
2. Баскин А. Болдырев В. «Гибридные» приемоиндикаторы: есть ли перспективы? — Морской флот, 1983, № 10, с. 37.
3. Белоусов Л. Н., Кузнецов А. Г. Судоводитель маломерного судна. М., Транспорт, 1981.
4. Гаврюк М. И. Использование малых вычислительных машин при решении задач судовождения. М. Транспорт, 1980.
5. Гедымин А. В. Картография. М., Учпедгиз, 1946.
6. Ермолаев Г. Г. Морская лоция. 3-е изд. М., Транспорт, 1975.
7. Коган В. М., Чичинадзе М. В. Судовой гироазимут-компас «Вега». М., Транспорт, 1983.
8. Кондрашихин В. Т. Определение места судна. М., Транспорт, 1981.
9. Кожухов В. П., Воронов В. В., Григорьев В. В. Магнитные компасы. М., Транспорт, 1981.
10. Космос — Земле/И. В., Мещеряков, А. А. Большой, С. Д. Сильвестров и др. М., Наука, 1981.
11. Красавцев Б. И. Мореходная астрономия. 2-е изд. М., Транспорт, 1978.
12. Лудченко Е., Кондрашихин В., Чикуров М. Справочник судоводителя по электронавигационным приборам. Одесса, Маяк, 1983.
13. Макаров И. В. Основы судовождения. 2-е изд. М., Транспорт, 1981.
14. Мореходные приборы и инструменты/В. В. Григорьев, Д. А. Самохвалов, А. И. Цурбан и др. М., Транспорт, 1970.
15. Нечаев П. А., Григорьев В. В. Магнитно-компасное дело. 4-е изд. М., Транспорт, 1983.
16. Нечаев П. А., Кудревич Н. Б. Электронавигационные приборы. 3-е изд., М., Транспорт, 1974.
17. Павлов Г. Н., Чекалин Г. П. Электронавигационные приборы промысловых судов. М., Пищевая промышленность, 1980.
18. Родионов А. И, Сазонов А. Е. Автоматизация судовождения. М., Транспорт, 1983.
19. Смирнов А. И., Каманин В. И., Груздев Н. М. Практика кораблевождения. М., Воениздат, 1978.
20. Соненберг Г. Д. Радиолокационные и навигационные системы/Пер. с англ. Л., Судостроение, 1982.
21. Справочник штурмана/Под ред. В. Д. Шандабылова. М., Воениздат, 1968.
22. Судовые комплексы спутниковой навигации/П. С. Волосов, Ю. С. Дубинко, Б. Г. Мордвинов, В. Д. Шинков. 2-е изд. Л., Судостроение, 1983.
23. Тарасов С. В. Приборы времени. М., Машиностроение, 1976.
24. Титов Р. Ю., Файн Г. И. Мореходная астрономия. 3-е изд. М., Транспорт, 1979.
25. Файн Г. И. Навигация, лоция и мореходная астрономия. 2-е изд. М., Транспорт, 1982.
26. Электронавигационные приборы/И. А. Блинов, А. В. Жерлаков, В. К. Перфильев и др. 3-е изд. М., Транспорт, 1978.
27. Yakushenkov A. La marine marchande soviétique et le développement de la navigation par satellite. — Navigation (Fr.), 1984, № 128, p. 419—424.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3

РАЗДЕЛ I. **УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ, ВРЕМЕНИ И ПРОЙДЕННОГО РАССТОЯНИЯ** 5

Глава 1. **Аппаратура для измерения направлений** . . . 5
- § 1. Принципы измерения направления на море 5
- § 2. Магнитное поле Земли и его элементы . . 10
- § 3. Магнитные компасы 12
- § 4. Определение и уничтожение девиации . . 18
- § 5. Гироскопические компасы 32
- § 6. Определение поправки компаса. Перевод и исправление румбов 39

Глава 2. **Измерение времени на судне** 41
- § 7. Основы измерения времени 41
- § 8. Служба времени на малом судне 47

Глава 3. **Аппаратура для измерения скорости судна, пройденного расстояния и глубины моря** 51
- § 9. Измерение скорости судна и пройденного расстояния 51
- § 10. Определение поправки лага и скорости судна на мерной линии. Расчет пройденного расстояния 55
- § 11. Измерение глубины моря 57

РАЗДЕЛ II. **СУДОВЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ СЧИСЛЕНИЯ ПУТИ И ЕГО КОНТРОЛЯ** 60

Глава 4. **Счисление пути судна и методы его контроля** 60
- § 12. Принципы счисления пути. Морские карты и навигационные пособия 60
- § 13. Аналитическое счисление 68
- § 14. Методы контроля счисления пути 72

Глава 5. **Радионавигационные устройства** 83
- § 15. Навигационные радиолокаторы 83
- § 16. Радиопеленгаторы 87
- § 17. Радионавигационные системы 91

Глава 6. **Астронавигационные средства** 96
- § 18. Принципы астронавигации 96
- § 19. Навигационный секстан и наклономер . . 101
- § 20 Средства отображения астронавигационной обстановки 108

§ 21. Применение микрокалькулятора при определении поправки компаса по светилу 116
§ 22. Применение микрокалькулятора при определении места судна по высотам светил 123

Глава 7. **Навигационные комплексы на малых судах** . . 130
§ 23. Принципы комплексирования средств навигации 130
§ 24. Принцип работы спутниковой навигационной системы 133
§ 25. Спутниковая навигационная аппаратура «Шхуна» 135
§ 26. Работа судоводителя при использовании СНС 140
§ 27. Судовые комплексы спутниковой навигации 147

Приложение I. **Основные правила работы с микрокалькуляторами типа «Электроника» БЗ-34 и МК-54** 153
Приложение II. **Астронавигационные таблицы на 1984—2000 гг.** 155
Список литературы 166

БИБЛИОТЕКА ЖУРНАЛА «КАТЕРА И ЯХТЫ»

Баррикадо Георгиевич Мордвинов
Владимир Тимофеевич Кондрашихин
Роман Андреевич Скубко

СРЕДСТВА НАВИГАЦИИ МАЛЫХ СУДОВ

Зав. редакцией А. Д. Старков
Редактор Т. Н. Сморкалова
Художественный редактор О. П. Андреев
Технические редакторы А. И. Казаков и Р. К. Чистякова
Корректоры Т. С. Александрова, И. М. Савенок
Обложка художника Б. Н. Осенчакова

ИБ № 1088

Сдано в набор 27.01.86. Подписано к печати 09.06.86. М-35435. Формат 84×108 1/32. Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 8,82. Усл. кр.-отт. 9,14. Уч.-изд. л. 10,5. Изд. № 3937—84. Заказ № 1892 Тираж 28000 экз. Цена 55 к.

Издательство «Судостроение», 191065, Ленинград, ул. Гоголя, 8

Отпечатано в типографии № 2 Ленуприздата, 191104, Ленинград, Литейный пр., 55, с матриц Ленинградской типографии № 2 головного предприятия ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 198052, г. Ленинград, Л-52, Измайловский проспект, 29