

5.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ НАВИГАЦИИ

5.1.1. Земной сферонд.

Меры длины и скорости

В целях навигации Земля принимается за эллипсоид вращения или земной сферонд. Эллипсоид с официально принятыми размерами называют референц-эллипсоидом. В СССР с 1946 г. принят референц-эллипсоид Красовского. В других странах приняты эллипсоиды с иными параметрами, поэтому переход с карты на карту следует выполнять не по координатам, а по пеленгу и расстоянию.

При решении задач навигации, не требующих высокой точности, Землю принимают за шар, у которого длина минуты дуги большого круга равна одной морской миле, т. е. 1852 м. Радиус такого шара $R = 6\,366\,707 \text{ м} = 3\,437\,743 \text{ м. мили}$, а длина его экватора $S = 40\,003 \text{ км} = 21\,600 \text{ м. миль}$.

Длина 1 мин эллиптического меридиана зависит от широты и для референц-эллипсоида Красовского составляет: $\Delta l' = 1852,23 - 9,34 \cos 2\varphi$.

На экваторе она равна 1842,89 м, на полюсе — 1861,57 м. В большинстве стран и в СССР с 1931 г. длина морской или стандартной мили принята равной 1852 м.

Кабельтов составляет 0,1 мили и равен 185,2 м.

Единицей скорости является узел, равный одной морской миле в час; $1 \text{ уз} = 1852 \text{ м/ч} = 30,8667 \text{ м/мин} = 0,5144 \text{ м/с} = 0,167 \text{ км/мин}$. Для быстрых приближенных расчетов можно принять: скорость в м/с, умноженная на 2, равна скорости в узлах; скорость в узлах, деленная на 6, равна скорости в км/мин. Для перехода от скорости в узлах к скорости в км/ч необходимо скорость в узлах умножить на 2 и от результата отнять его десятую часть; скорость в км/ч, деленная на 2 и сложенная с десятой частью результата, даст скорость в узлах.

5.1.2. Дальность видимого горизонта и объектов в море

Дальность видимого горизонта D_e (в милях) при нормальном состоянии атмосферы (рис. 5.1)

$$D_e = 2,1 \sqrt{e}, \quad (5.1)$$

где e — высота глаза наблюдателя, м.

По этой формуле составлена табл. 22 МТ—75.

Наклонение видимого горизонта вычисляется по формуле

$$d' = 1,766 \sqrt{e} \quad (5.2)$$

или выбирается из табл. 11-а МТ—75.

Дальность видимости предметов,

$$D_{\Pi} = 2,1 \sqrt{e} - 1,2\gamma' + \sqrt{(2,1 + \sqrt{e} - 1,2\gamma')^2 + 4,41(h - e)}, \quad (5.3)$$

где h — высота предмета, м;

γ' — разрешающая способность глаза (при нормальном зрении $\gamma' \approx 1$; при наблюдении в бинокль с W -кратным увеличением γ' надо уменьшить в W раз).

Для огней можно принять $\gamma' = 0$, тогда

$$D_{\Pi} = 2,1(\sqrt{h} + \sqrt{e}). \quad (5.4)$$

На морских картах и в навигационных пособиях дальность видимости D_k указывается с высоты глаза $e = 5 \text{ м}$. Если высота глаза иная, то указанную на карте дальность исправляют поправкой:

$$\Delta D_k = 2,1 \sqrt{e} - 4,7, \quad (5.5)$$

которая положительна при $e > 5 \text{ м}$.

Дальность радиолокационного горизонта D_p зависит от высоты антенны h_a

$$D_p = 2,4 \sqrt{h_a}. \quad (5.6)$$

Дальность обнаружения объектов D_{po} с использованием судовой радиолокационной станции может быть оценена по формуле

$$D_{po} = 1,15 D_{\Pi}, \quad (5.7)$$

на практике D_{po} может быть менее рассчитанной, так как формула (5.7) отражающих способностей объекта не учитывает.

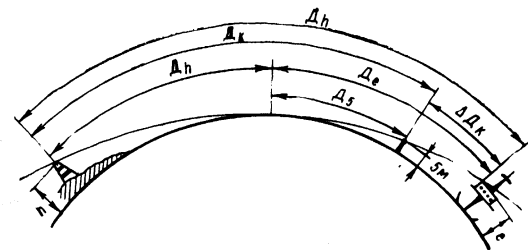


Рис. 5.1. Дальность видимости предметов и огней

5.2.2. Проверка скорости и поправки лага в плавании

5.2.1. Определение скорости судна и поправки лага

Технической скоростью называется скорость относительно воды, когда механизмы развивают полную мощность при волнении не более 2 и при ветре до 3 баллов.

Техническую скорость судна определяют после постройки или ремонта на ходовых испытаниях на специально оборудованных мерных линиях или радиолокационных полигонах. По результатам наблюдений вычисляют зависимость скорости от частоты вращения винта и поправку лага.

Длина пробега должна быть равна одной миле при $V < 12$ уз, двум милям при $V = (12 \div 24)$ уз и трем милям при $V > 24$ уз. Направление пробега располагают перпендикулярно текущим течениям. При проведении скоростных испытаний действие течения должно быть исключено выполнением нескольких пробегов, число которых зависит от характера предполагаемого течения. При отсутствии течения скорость судна V и поправку лага $\Delta\lambda$ (в %) вычисляют по формулам:

$$V = \frac{3600S}{t}; \quad \Delta\lambda = \frac{S - \text{рол}}{\text{рол}} 100, \quad (5.8)$$

где S — длина пробега, мили;

t — время пробега, с;

рол — разность отсчетов лага ($\text{ол}_2 - \text{ол}_1$).

При постоянном течении выполняют два пробега, тогда

$$V = \frac{V_1 + V_2}{2}; \quad \Delta\lambda = \frac{\Delta\lambda_1 + \Delta\lambda_2}{2}. \quad (5.9)$$

При переменном течении и во время специальных испытаний выполняют три или четыре пробега.

На ходовых испытаниях составляется также таблица или график зависимости V от частоты вращения винта N . Если известна скорость судна V_0 относительно воды при какой-то одной частоте вращения N_0 винта, тогда для определения скорости судна V при другой частоте вращения N можно воспользоваться приближенной формулой

$$V = V_0 (N/N_0)^{0,9}. \quad (5.10)$$

Вместо поправки лага часто используют величину, называемую коэффициентом лага:

$$K_{\lambda} = S \cdot \text{рол} \text{ или } K_{\lambda} = 1 + \Delta\lambda \cdot 100. \quad (5.11)$$

Пройденное судном расстояние по показаниям лага S_{λ} (плавание по лагу)

$$S_{\lambda} = (1 + \Delta\lambda/100) \text{рол} \text{ или } S_{\lambda} = K_{\lambda} \text{рол}. \quad (5.12)$$

Высокоточные обсервации по данным судовой РЛС позволяют определять скорость судна и проверять поправку лага. Следует иметь в виду, что определенная таким образом поправка лага будет иметь погрешность за счет неизвестного течения. Для ее исключения нужно использовать не имеющий ветрового дрейфа свободно плавающий объект, который следует привести на $KV = 0^\circ$ и затем измерить радиолокатором два расстояния D_1 и D_2 , замечая промежуток времени t между измерениями по секундомеру. Скорость и поправка лага рассчитываются затем по формулам (5.8). Длина пробега должна быть не менее 3—4 миль. Для повышения точности можно сделать несколько пробегов; в этом случае погрешность составит $\pm 0,5\%$.

Расстояние S можно также измерить между двумя точными обсервациями (например, по фазовой РНС). В таких случаях S должно быть не менее 20—30 миль, а в результате будут получены, строго говоря, не скорость по лагу V_{λ} или его поправка $\Delta\lambda$, а путевая скорость V и поправка плавания при данном (обычно неизвестном) течении.

5.2.3. Уничтожение и определение остаточной девиации

Девиацию магнитного компаса определяют на девиационных створах, поочередно ложась на 8 курсов (главные и четвертные румбы):

$$\delta = MP - KP. \quad (5.13)$$

Определение девиации по отдаленному предмету, положение которого известно, выполняется для небольших судов. Судно разворачивается на равноотстоящие магнитные курсы и в моменты, соответствующие главным и четвертным румбам, пеленгует ориентир. Магнитный пеленг может быть получен осреднением компасных пеленгов

$$MP = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 KP. \quad (5.14)$$

Девиация путевого компаса определяется по сличению с главным:

$$\delta_{\Pi} = KK_{\Gamma\lambda} - KK_{\Pi} + \delta_{\Gamma\lambda}. \quad (5.15)$$

Систематическую проверку девиации магнитного компаса осуществляют по сличению с гирокомпасом:

$$\delta = \Gamma KK - KK + \Delta\Gamma K - d. \quad (5.16)$$

Остаточная девиация не должна превышать у главного компаса 3° , у путевого 5° .

Если контрольные определения девиации выявляют ее расхождение с табличной более чем на 1° , необходимо исправление таблицы

девиации. Если девиация превышает 4° , то надо ее уничтожить или подуничтожить, после чего обязательно составление новой таблицы девиации. На судах в эксплуатации обычно уничтожают только полукруговую, а иногда — и креновую девиации.

Уничтожение полукруговой девиации способом Эри по сравнению с гирокомпасом, поправка которого известна, — наиболее простой и достаточно точный способ, применимый в открытом море. Рекомендуются следующий порядок действий.

1. По формуле

$$\Gamma K K = MK - (\Delta \Gamma K - d) \quad (5.17)$$

найти курсы по гирокомпасу, соответствующие главным магнитным курсам: N, E, S и W.

2. Управляя по гирокомпасу, привести судно на ближайший главный магнитный курс. Сохраняя курс по гирокомпасу, магнитами-уничтожителями — поперечными на курсах N или S, продольными на курсах E или W — довести наблюдаемую девиацию до нуля.

3. Медленным поворотом привести судно на смежный главный магнитный курс, управляя по гирокомпасу, магнитами-уничтожителями вновь довести до нуля девиацию, наблюдаемую на этом курсе.

4. Медленным поворотом в ту же сторону привести судно на следующий главный магнитный курс, управляя по гирокомпасу. Сохраняя курс по гирокомпасу, магнитами-уничтожителями уменьшить наблюдаемую девиацию вдвое. Это достигается, когда $KK = MK - \delta/2$.

5. Медленным поворотом судна в ту же сторону привести его на последний главный магнитный курс, управляя по гирокомпасу. Магнитами-уничтожителями уменьшить вдвое девиацию, наблюдаемую на этом курсе.

6. Записать положение магнитов-уничтожителей на внутренней стороне дверцы нактоуза и, если позволяют условия, определить для контроля $\Delta \Gamma K$.

Подуничтожение полукруговой девиации способом пол-Эри по сравнению с гирокомпасом выполняют как и описанным выше способом Эри, но только на двух смежных главных магнитных курсах N и E, E и S и т. д., на которых наблюдаемую девиацию надо довести до нуля магнитами-уничтожителями. Способ дает удовлетворительные результаты, если для коэффициентов A и E из прежней таблицы девиации выполняется условие $(|A| + |E|) < 2^\circ$.

Уничтожение креновой девиации способом Кожухова выполняют после уничтожения полукруговой девиации, производимой силой $СЛН$. Для применения способа надо вместо котелка компаса установить инклинометр и на курсах E или W перемещением кренового магнита добиться, чтобы измеряемое магнитное наклонение I' равнялось его величине I в данном районе. Величину I определяют по магнитным картам или измеряют инклинометром на берегу.

Подуничтожение креновой девиации выполняют при бортовой качке судна на курсах, близких к N или S. Для этого надо перемещением кренового магнита добиться минималь-

ной амплитуды колебаний катушки компаса.

После любого уничтожения или подуничтожения девиации необходимо определить из наблюдений ее остаточную величину на нескольких курсах, вычислить коэффициенты девиации, а по ним — новую таблицу девиации.

Определение девиации выполняют обычно на восьми главных и четвертных компасных курсах (N, NE и т. д.) по пеленгам створов или по сравнению с гирокомпасом. В последнем случае повороты судна надо выполнять медленно в одну и ту же сторону, а поправку гирокомпаса желательно определить до и после маневрирования.

Вычисление коэффициентов девиации A, B, C, D и E по значениям δ , определенным на восьми KK , выполняют по формулам:

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{1}{8} (\delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_8); \\ B &= \frac{1}{4} [(\delta_3 - \delta_7) + 0,71 (\delta_2 + \delta_4 - \delta_6 - \delta_8)]; \\ C &= \frac{1}{4} [(\delta_1 - \delta_5) + 0,71 (\delta_2 - \delta_4 - \delta_6 + \delta_8)]; \\ D &= \frac{1}{4} (\delta_2 - \delta_4 + \delta_6 - \delta_8); \\ E &= \frac{1}{4} (\delta_1 - \delta_3 + \delta_5 - \delta_7). \end{aligned} \right\} \quad (5.18)$$

Затем вычисляют δ через 10° по формуле

$$\delta = \underbrace{D \sin 2KK + E \cos 2KK + A}_{\text{III}} \pm \underbrace{\pm \underbrace{B \sin KK + C \cos KK}_{\text{VI}}}_{\text{VII}} \quad (5.19)$$

где римскими цифрами обозначены части формулы так, как это принято в стандартных схемах для вычислений. В таких схемах приведены множители при коэффициентах девиации. В расчетах учитывают, что в обозначениях частей формулы (5.19) для первой полуокружности курсов ($KK < 180^\circ$) $\delta = \text{IV} + \text{VII}$, а для противоположных курсов $\delta = \text{IV} - \text{VII}$.

Для контроля рекомендуется по вычисленным значениям девиации построить график, который не должен иметь резких «выбросов», а также сравнить вычисленные значения девиации с полученными из наблюдений на тех же курсах: допустимое расхождение — до $0,2^\circ$.

Исправление таблицы девиации в плавании состоит в определении новых значений наиболее изменчивых полукруговых коэффициентов B и C и в вычислении таблицы девиации с использованием прежних значений дру-

гих коэффициентов. Для уточнения B и C достаточно определить девиацию $\delta_{нов}$ на двух смежных главных курсах (N и E или E и S и т. д.) и найти изменения $\Delta\delta = \delta_{нов} - \delta_{табл}$ табличной девиации $\delta_{табл}$ на этих курсах, что дает изменения полукруговых коэффициентов $\Delta B = \Delta\delta_E = -\Delta\delta_N$ и $\Delta C = \Delta\delta_N = -\Delta\delta_S$, где индексами отмечены курсы, на которых определены изменения девиации.

5.3. СЧИСЛЕНИЕ ПУТИ СУДНА

5.3.1. Учет циркуляции при прокладке

При учете циркуляции решаются две задачи: прямая и обратная. Прямая задача состоит в нахождении точки, из которой следует проложить новый курс после окончания поворота. При обратной задаче находят точку начала поворота, начав поворот в которой, судно ляжет на новый курс после его окончания в намеченной точке. Учет циркуляции выполняется графическими приемами по таблицам или по диаграмме.

Приемы учета циркуляции:

а) из точки A начала поворота (рис. 5.2, а) перпендикулярно к линии первого курса откладывают $R_{ц}$, из центра O проводят дугу радиусом $R_{ц}$. Далее, касательно к окружности проводят новый курс. Точка касания B — точка окончания поворота;

б) проводят биссектрису CO угла ACB (рис. 5.2, б) между старым AC и новым CB курсами. В произвольной точке D восстанавливают перпендикуляр к линии первого курса, откладывают на нем $DE = R_{ц}$ и через точку E проводят прямую EO , параллельную DA , до пересечения с биссектрисой угла ACB в точке O . Далее, радиусом $R_{ц}$ отмечают точки A и B начала и окончания поворота;

в) из таблицы или с диаграммы циркуляции выбирают расстояние d_1 до нового курса. Из точки A (рис. 5.2, в) откладывают d_1 и получают точку C , из которой по новому курсу

откладывают d_1 для получения точки B . Если положение точки A неизвестно, тогда первоначально находят точку C как точку пересечения курсов и от нее откладывают отрезки d_1 ;

г) из начальной точки A (рис. 5.2, г) проводят промежуточный $ИК_{пр} = ИК_1 + \frac{\alpha}{2}$, а по

нему откладывают $d = 2 R_{ц} \sin (\alpha/2)$ — плавание по промежуточному курсу, получая точку B . Последний метод находит широкое применение для учета циркуляции крупнотоннажных судов при плавании в узкостях.

5.3.2. Ветровой дрейф судна и его учет

Угол между северной частью истинного меридиана и направлением движения судна относительно воды называется *путевым углом*:

$$ПУ_{\alpha} = ИК + \alpha, \quad (5.20)$$

где α — угол дрейфа, который имеет знак «плюс», если ветер дует в левый борт, и знак «минус» — если в правый.

Угол дрейфа α определяется из наблюдений или предвычисляется по формулам, номограммам и таблицам.

Соединив серию из трех или четырех наблюдений, полученных достаточно точными методами, на карте получают линию пути, откуда определяют величину угла $\alpha = ПУ_{\alpha} - ИК$.

Приблизленно дрейф судна относительно воды можно определить пеленгованием кильватерной струи. Взяв несколько отсчетов KY ($KП$), получим $\alpha = OKY - 180^{\circ} = ОКП - ГKK$.

Угол дрейфа можно определить и по ориентире, положение которого неизвестно. Измеряют серию пеленгов и расстояний до предмета, а затем на планшете или карте делают построение: от произвольно выбранной точки прокладывают пеленги и расстояния; линия, проведенная через полученные точки, даст направление пути.

Учет дрейфа при прокладке. При наличии угла дрейфа рассчитывается и прокладывается на карте

$$ПУ_{\alpha} = ГKK + \Delta GK + \alpha. \quad (5.21)$$

Пройденное по лагу расстояние $S_{л}$ откладывается по линии пути, так как лаг при $\alpha < 10^{\circ}$ дрейф учитывает. Если же $\alpha > 10^{\circ}$, то по линии пути откладывается расстояние

$$S = S_{л} \sec \alpha. \quad (5.22)$$

При обратной задаче, когда требуется рассчитать $ГKK$, направление $ПУ$ снимают с карты, после чего

$$ГKK = ПУ_{\alpha} - \alpha - \Delta GK. \quad (5.23)$$

Для нахождения считаемой точки в момент траверза ориентира следует рассчитать $ИП = ИК \pm 90^{\circ}$ и линию пеленга провести до пересечения с линией пути.

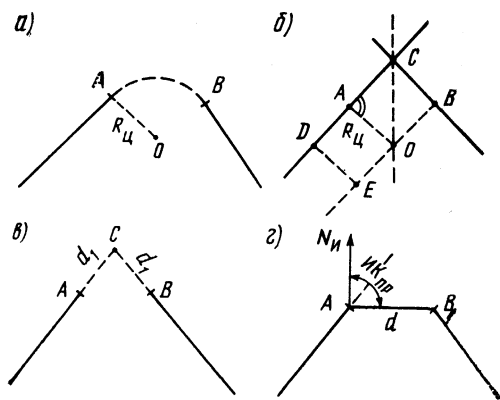


Рис. 5.2. Приемы учета циркуляции

5.3.3. Счисление при плавании на течении

Элементами течения является K_T — направление течения (считают, что течение направлено из компаса) и v_T — скорость течения. Данные о течении получают из пособий или с морских карт.

Графическое решение задачи по учету течения, производимое обычно на навигационной карте, состоит в построении навигационного треугольника или треугольника скоростей, сторонами которого являются вектор V_d скорости судна относительно воды, направленный по линии истинного курса, вектор v_T скорости течения по его направлению K_T и вектор V истинной скорости судна, направленный по линии пути (рис. 5.3, а).

Угол β , заключенный между линиями истинного курса и пути, называется углом сноса; он считается положительным, если $ПУ_\beta > ИК$, и отрицательным, если $ПУ_\beta < ИК$.

Для ведения счисления необходимо знать угол β и истинную скорость V . Тогда

$$ПУ_\beta = ИК + \beta. \quad (5.24)$$

Плавание $S = Vt$ может быть вычислено или снято с карты. Следует различать 2 варианта задачи.

Прямая задача. Задан $ИК$, требуется найти β и V . Из начальной точки учета течения (см. рис. 5.3, а) по линии $ИК$ отложить вектор скорости судна V_d . Из конца вектора V_d проложить K_T и на нем отложить скорость течения v_T . Соединив начальную точку V_d с концом вектора течения v_T , получим направление движения $ПУ_\beta$ и путевую скорость V .

Обратная задача. Намечаем точку F (рис. 5.3, б), в которую должно прийти судно; соединив ее с начальной точкой O , получим линию $ПУ_\beta$. Из точки O отложить вектор скорости течения v_T , из его конца радиусом, равным скорости судна по лагу V_d , сделать засечку на линии пути. С помощью параллельной линейки перенести вектор V в точку O и получить значение $ИК$. Для получения счислимой точки необходимо рассчитать $S_d = \text{рол} \cdot K_d$ и отложить плавание на линии истинного курса, а затем полученную точку перенести на линию пути $ПУ_\beta$ по направлению течения.

Для нахождения счислимой точки в момент траверза необходимо рассчитать $ИП = ИК \pm 90^\circ$ и провести линию пеленга до линии пути (см. рис. 5.3, б). Из полученной точки B по направлению, обратному направлению течения, найти точку E . Зная OE , можно рассчитать время прихода на траверз:

$$T_2 = T_1 + OE/V_d. \quad (5.25)$$

При использовании автоматических счислителей координат для учета течения в автосчислитель вводится поправка курса ΔK , равная сумме $(\Delta GK + \beta)$ и коэффициент лага $K_d = V/V_d$.

При плавании в океанах и открытых морях при счислении пути судна следует учитывать

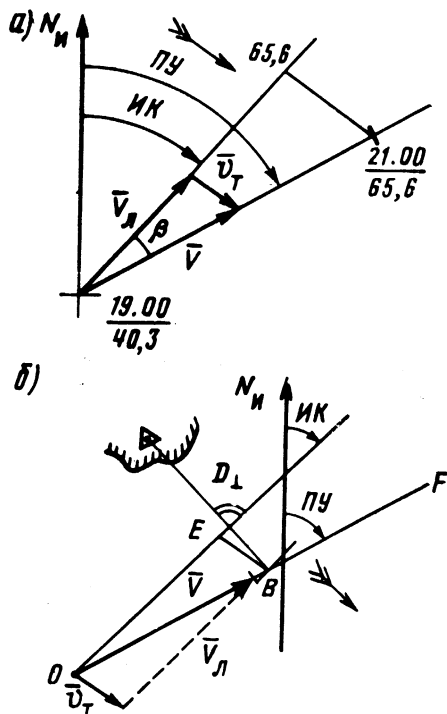


Рис. 5.3. Учет течения

ветровое течение, скорость которого достигает 0,5—0,8 уз. Такое течение в северном полушарии отклоняется вправо от направления ветра приблизительно на 45° , а скорость в узлах

$$v_T = 0,013U / \sqrt{\sin \varphi}, \quad (5.26)$$

где U — скорость истинного ветра, уз.

5.3.4. Совместный учет дрейфа и сноса течением

Если угол дрейфа α и элементы течения известны, тогда при заданном $ИК$ из начальной точки O прокладывают линию $ПУ_\alpha = ИК + \alpha$, на ней откладывают вектор скорости судна по лагу V_d (рис. 5.4). Из конца вектора V_d откладывают вектор течения v_T . Соединив начальную точку O с концом вектора течения v_T , получим линию пути $ПУ_c$ ($ПУ_\beta$).

В случае когда задан $ПУ_c$, из начальной точки O откладывают вектор течения, из конца этого вектора радиусом, равным V_d , делают засечку на линии $ПУ_c$, получая направление $ПУ_\alpha$, которое переносят в начальную точку; далее $ИК = (ПУ_\alpha - \alpha)$.

Когда известен суммарный угол сноса c , на карте прокладывается линия пути

$$ПУ_c = ИК + c. \quad (5.27)$$

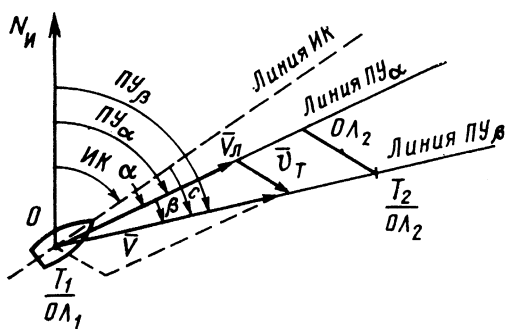


Рис. 5.4. Совместный учет дрейфа и сноса течением

Расчет траверзного расстояния до объекта. Если взять два пеленга объекта, то по расстоянию S , пройденному судном по линии пути за промежуток времени между взятием двух пеленгов, можно рассчитать траверзное расстояние (рис. 5.5):

$$D_{\perp} = S \sin q \operatorname{cosec} \Delta \Pi \sin (q + \Delta \Pi), \quad (5.28)$$

где q — угол между курсом и первым пеленгом;

$\Delta \Pi = \Pi \Pi_2 - \Pi \Pi_1$ — значение изменения пеленга.

Для получения D_{\perp} можно воспользоваться табл. 30 МТ—75.

Если вместо пеленгов измерить расстояние D до объекта, тогда

$$D_{\perp} = D \cos q, \quad (5.29)$$

а расстояние до траверза

$$S_{\perp} = D \sin q, \quad (5.30)$$

где q — курсовой угол ориентира в момент измерения расстояния.

5.3.5. Методы определения пути судна

Если, проходя мимо ориентира, измерить серию расстояний и пеленгов на него, тогда разность пеленгов, взятых в момент $D_{кр}$ и в момент D_{\perp} , даст значение угла c (рис. 5.6, а). Такая разность может быть обнаружена радиолокатором при углах $c > 10^\circ$. Зная c и $ИК$, находим $ПУ_c$ по формуле (5.27).

Значение $ПУ_c$ можно определить, если измерить три пеленга на один и тот же ориентир (рис. 5.6, б) и заметить время плавания между ними:

$$ПУ_c = \Pi \Pi_2 + q_2, \quad (5.31)$$

причем q_2 получают по формуле

$$\operatorname{ctg} q_2 = \frac{\tau \operatorname{ctg} \theta_1 - \operatorname{ctg} \theta_2}{1 + \tau}. \quad (5.32)$$

Если пеленги взяты через равные промежутки времени, тогда $\tau = 1$ и

$$\operatorname{ctg} q_2 = (\operatorname{ctg} \theta_1 - \operatorname{ctg} \theta_2) / 2. \quad (5.33)$$

В общем виде эта задача может быть решена графически. После прокладки на карте трех разновременных навигационных изолиний необходимо на кальке провести произвольную прямую и на ней последовательно отложить два произвольных отрезка $S_1 = kt_1$ и $S_2 = kt_2$ (где k — выбранный коэффициент 0,1; 0,5; 2 и т. д.). Вмещая такие отрезки между линиями проложенных на карте пеленгов, получим направление прямой, параллельной линии пути.

Метод определения суммарного угла сноса c из наблюдений предполагает получение серии точных местоположений судна за 2—3 ч. Произведя графическое осреднение таких наблюдений, получают направление линии пути.

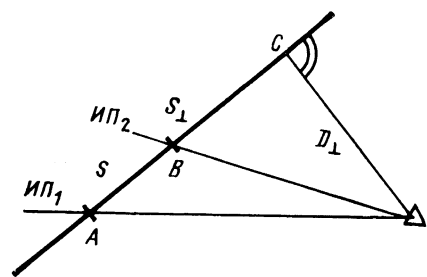


Рис. 5.5. Расчет траверзного расстояния

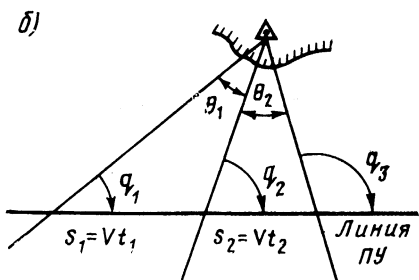
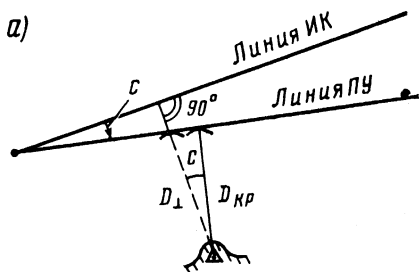


Рис. 5.6. Определение пути судна

Истинная скорость равняется отношению кратчайшего расстояния между начальной и конечной обсервациями ко времени плавания между ними.

5.3.6. Аналитическое счисление пути судна

Аналитическое счисление ведется при плавании в открытом море, при решении астрономических задач, при плаваниях, связанных с частой сменой курсов. Формулы аналитического счисления используются в автосчислителях координат и в навигационных тренажерах. Из навигационного треугольника

$$\varphi_2 = \varphi_1 + PШ; \quad \lambda_2 = \lambda_1 + PД, \quad (5.34)$$

где

$$PШ = S \cos K; \quad PД = OTШ \sec \varphi_{ср};$$

$$OTШ = S \sin K. \quad (5.35)$$

По этим формулам составлена табл. 24 МТ-75.

Значение $PД$ выбирается из табл. 25-а МТ-75. При больших плаваниях, а также в высоких широтах следует пользоваться более точной формулой:

$$PД = OTШ \frac{PMЧ}{PШ}, \quad (5.36)$$

где $PMЧ$ — разность меридианальных частей, выбираемая из табл. 26 МТ-75.

Аналитическое счисление может быть *простое*, когда плавание совершается одним курсом; *составное*, когда плавание совершается несколькими курсами, и *сложное*. При составном счислении производится расчет *Ген. PШ* и *Ген. OTШ* как алгебраической суммы $PШ$ и $OTШ$. По *Ген. OTШ* вычисляется *Ген. PД*. При сложном счислении $PД$ вычисляется для каждого курса, а их алгебраическая сумма дает *Ген. PД*. При учете дрейфа для расчета $PШ$ и $OTШ$ аргументом служит не ИК, а $ПУ_{\alpha}$. При учете течения его направление принимают за отдельный курс, а величину сноса — за плавание по нему.

При аналитическом счислении в случае частой смены курса следует учитывать циркуляцию по аргументам: промежуточный истинный курс и плавание по нему. Формулы аналитического счисления применяются при расчете расстояния S между двумя точками и для нахождения локсодромического направления из одной на другую:

$$\lg K = \frac{OTШ}{PШ} = \frac{PД}{PMЧ}, \quad (5.37)$$

$$S = PШ \sec K = OTШ \operatorname{cosec} K. \quad (5.38)$$

5.3.7. Оценка точности счисления пути судна

Погрешность счисления складывается из погрешностей в принятом направлении движения судна (курса, угла дрейфа, угла сноса, поправки гирокомпы и др.) и погрешностей в пройденном расстоянии (поправка лага или скорости, принятый для счисления погрешности в учете течения или от неучета последнего).

Погрешности первой группы вызывают боковое смещение судна:

$$b = \frac{m_{ПУ} S}{60}, \quad (5.39)$$

а погрешности второй группы — смещение вдоль линии курса:

$$a = \sqrt{\left(\frac{Sm_{\Delta\lambda}}{100}\right)^2 + m_S^2}. \quad (5.40)$$

Значения a и b могут быть приняты за полуоси эллипса погрешности счисления. Они позволяют вычислить среднюю квадратическую погрешность счисления

$$M_c = \sqrt{a^2 + b^2}. \quad (5.41)$$

Для случая, когда течение отсутствует,

$$M_c = \frac{S}{100} \sqrt{2,8m_{ПУ}^2 + m_{\Delta\lambda}^2}. \quad (5.42)$$

На основании многолетних наблюдений получены следующие ориентировочные значения M_c для нормальных условий плавания в зависимости от пройденного расстояния: без ветра и течения $M_c = 0,02S$; с учетом дрейфа $M_c = 0,03S$; с учетом дрейфа и течения $M_c = (0,03 \div 0,07)S$.

На больших переходах формулы для расчета a и b дают завышенные результаты, так как погрешности счисления на одном отрезке пути частично компенсируются таковыми на другом отрезке. В этом случае для расчета a и b рекомендуется использовать формулы:

$$a = a_{сут} \sqrt{N}; \quad b = b_{сут} \sqrt{N}, \quad (5.43)$$

где $a_{сут}$, $b_{сут}$ — возможные смещения судна за сутки;

N — продолжительность плавания (сут), больше единицы.

Производя статистическую обработку погрешностей счисления, можно получить коэффициент точности счисления

$$K_c = \frac{\Sigma M_c \sqrt{t}}{\Sigma t}, \quad (5.44)$$

тогда

$$M_c = K_c t. \quad (5.45)$$

Следует помнить, что погрешность счисления не тождественна погрешности счислимого места, так как в последнюю входит и погрешность исходной точки.

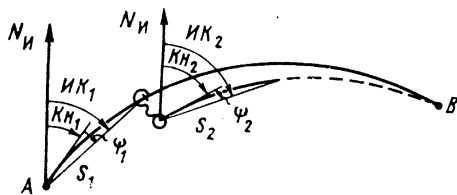


Рис. 5.7. Дуга большого круга

Формулы для оценки точности счисления:

$$\left. \begin{aligned} m_{PШ} &= m_S \cos K - S \sin K m_K; \\ m_{ОТШ} &= m_S \sin K + S \cos K m_K; \\ m_{РД} &= m_{ОТШ} \sec \varphi_p; \\ m_c &= \sqrt{m_{PШ}^2 + m_{ОТШ}^2}. \end{aligned} \right\} (5.46)$$

В формулах (5.46) m_S и m_K — средние квадратические погрешности соответственно плавания и курса (пути).

5.3.8. Плавание по дуге большого круга

Дуга большого круга (ортодромия) всегда короче локсодромии или равна ей. В высоких широтах и на больших переходах целесообразно выбирать маршрут по ортодромии. Для нахождения разности в длине ортодромии и локсодромии следует воспользоваться табл. 23-6 МТ-75. Эту разность можно получить по формулам:

$$\left. \begin{aligned} S &= PШ \sec \text{Лок } П; \\ \text{tg Лок } П &= \frac{РД}{РМЧ} = \frac{ОТШ}{РШ}; \\ \cos D &= \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \times \\ &\times \cos (\lambda_2 - \lambda_1); \\ \Delta &= S - D. \end{aligned} \right\} (5.47)$$

Для нанесения на меркаторскую карту дуги большого круга используют уравнение ортодромии:

$$\text{tg } \varphi_i = \text{ctg } K_0 \sin (\lambda_i - \lambda_0), \quad (5.48)$$

где λ_0 — долгота точки пересечения экватора ортодромией;

K_0 — угол между меридианом и ортодромией в точке пересечения экватора;

φ_i, λ_i — текущие координаты.

Задавая долготу λ_i , получают широту φ_i точки на заданном меридиане.

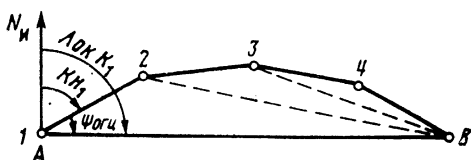


Рис. 5.8. Прокладка ортодромии на карте

Значения параметров K_0 и λ_0 вычисляют предварительно:

$$\left. \begin{aligned} \text{tg } (\lambda_{cp} - \lambda_0) &= \text{tg } \left(\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2} \right) \sin (\varphi_1 + \\ &+ \varphi_2) \text{ cosec } (\varphi_2 - \varphi_1); \\ \text{ctg } K_0 &= \text{tg } \varphi_1 \text{ cosec } (\lambda_1 - \lambda_0) = \\ &= \text{tg } \varphi_2 \text{ cosec } (\lambda_2 - \lambda_0). \end{aligned} \right\} (5.49)$$

Важным параметром ортодромии является *начальный курс* K_H , который показывает направление ортодромии в точке А (рис. 5.7):

$$\begin{aligned} \text{ctg } K_H &= \text{tg } \varphi_2 \cos \varphi_1 \text{ cosec } (\lambda_2 - \lambda_1) - \\ &- \sin \varphi_1 \text{ ctg } (\lambda_2 - \lambda_1). \end{aligned} \quad (5.50)$$

Плавание экономически выгоднее совершать не по касательным к ортодромии K_H , а по хордам. На рис. 5.7 направление хорды обозначено через $ИК$.

Угол между касательной и хордой будет равен ортодромической поправке ψ . Следовательно, общий принцип расчета плавания по ортодромии состоит в расчете начального курса K_H , выборе отрезка плавания S для $\Delta \lambda \leq 10^\circ$ и получения истинного курса:

$$ИК = K_H + \psi. \quad (5.51)$$

Расчет начального курса может быть выполнен с использованием таблицы ортодромических поправок (рис. 5.8). Для этого на мелкомасштабной карте соединяют точки А и В, снимают значение локсодромического курса, выбирают из табл. 23-6 МТ-75 угол $\psi_{общ}$ и вычисляют $K_H = \text{Лок } K_1 - \psi_{общ}$. Пользуясь таким приемом, ортодромию можно нанести на карту, повторяя вычисления для двух, трех и более точек. Для сокращения расчетов издаются карты в гномонической проекции, на которых ортодромия изображается прямой линией. Соединяя начальную и конечную точки, получают ортодромию, координаты которой затем переносят на меркаторскую карту. На гномонических картах имеются таблицы и номограммы для расчета длины ортодромии и начального курса.

Для быстрого расчета начального курса издается номограмма № 90199, пользуясь которой, K_H получают графически с точностью $\pm 0,2^\circ$. Если принять, что $D = 90^\circ - h$, $K_H = A$, $\varphi_1 = \varphi_c$, $\varphi_2 = \delta$, а $\Delta \lambda = t$, тогда расчеты ортодромии легко выполнить, используя таблицы ВАС — 58.

5.4.1. Сведения из теории определения места судна

Навигационным параметром U называется величина, зависящая известным образом от положения точки и измеряемая для определения места судна, например пеленг, расстояние, высота светила и т. п.

Навигационной изолинией называется линия, во всех точках которой значение навигационного параметра одинаково.

Градиентом навигационного параметра называется вектор g , направленный по нормали к изолинии в сторону ее смещения Δp при увеличении параметра U на значение величины ΔU .

Основные навигационные параметры, их функции, изолинии и градиенты представлены в табл. 5.1. В этой таблице Φ и Λ — географические координаты ориентира; φ и λ — текущие координаты судна. Функции параметров ΔD и α даны в натуральном виде, не зависящем от выбора системы координат: для приведения их к географическим координатам надо подставить выражения функции параметра D из предыдущих строк табл. 5.1.

Линией положения называется прямая, заменяющая участок навигационной изолинии вблизи счислимого места.

Если линию положения (или участок изолинии) сместить в обе стороны на значение ее средней квадратической погрешности m_p , то получим *среднюю квадратическую полосу положения*, внутри которой с вероятностью $\sim 68\%$ находится действительное место (на рис. 5.9 границы этой полосы показаны пунктиром). Увеличив ширину такой полосы в три раза (или сместив линию положения в обе стороны на $3m_p$), получим *предельную полосу положения*, которая захватывает действительное место с вероятностью $\sim 99\%$ (на рис. 5.9 показана штрихпунктиром).

5.4.2. Определение по пеленгам

Определение места судна по пеленгам двух ориентиров — наиболее распространенный в навигации способ. Для повышения точности первым пеленгуют предмет, расположенный ближе к диаметральной плоскости. При пеленговании предпочтение отдают предметам, находящимся на близких расстояниях. Недостаток способа — отсутствие контроля при одиночном определении. Для его устранения проводят не одно, а серию определений места, располагаясь на карте вдоль линии перемещения судна на расстояниях, пропорциональных соответствующим промежуткам времени или плаваниям по лагу. При наличии повторяющейся погрешности $\varepsilon_{\Delta K}$ в общей поправке ΔK линия, соединяющая наблюдения, составит с линией проложенного ИК угол, равный $\varepsilon_{\Delta K}$. Значение такой погрешности $\varepsilon_{\Delta K}$ можно определить следующим приемом. Следуя постоянным курсом и скоростью, трижды берут пеленги предметов A и B (рис. 5.10), фиксируя отсчеты лага и моменты времени. На карте прокладывают исправленные общей поправкой $\Delta K_{\text{пр}}$ пеленги предмета A и находят линию abc , параллельную пути, вложением отрезков S_1 и S_2 . Из точек a , b и c прокладывают пеленги предмета B с учетом принятой поправки $\Delta K_{\text{пр}}$. Такие пеленги пересекутся в точке B' , а угол между линиями AB и AB' будет равен

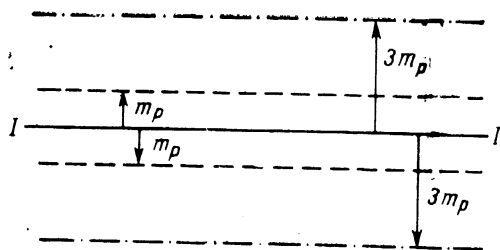


Рис. 5.9. Полоса положения

$\varepsilon_{\Delta K}$ — погрешности в принятой поправке компаса $\Delta K_{\text{пр}}$. Погрешность будет со знаком плюс, если точка B' лежит правее линии AB . Верное значение поправки компаса определится по формуле

$$\Delta K = \Delta K_{\text{пр}} - \varepsilon_{\Delta K}. \quad (5.52)$$

Средняя квадратическая погрешность M места судна по двум пеленгам

$$M = \frac{1}{57,3 \sin \Delta \Pi} \times \sqrt{m_{\Pi}^2 (D_1^2 + D_2^2) + m_{\Delta K}^2 D_{1,2}^2}, \quad (5.53)$$

где $\Delta \Pi$ — разность пеленгов;
 m_{Π} и $m_{\Delta K}$ } — средние квадратические погрешности пеленгования и принятой поправки компаса, град;
 D_1, D_2 } — расстояния до ориентиров и между ними.

При пеленговании трех ориентиров образуется *треугольник погрешностей*. Если его стороны равны 5—15 мм (в зависимости от масштаба карт), то место судна принимают в центре. Если треугольник остроугольный и одна сторона меньше других, то место судна принимают внутри треугольника, ближе к его меньшей стороне. Если большой треугольник вызван наличием систематической погрешности (в чем следует убедиться, повторив наблюдения и получив подобный треугольник), тогда следует провести графическое исключение систематической погрешности. Для этого, изменив поправку компаса на $3-6^\circ$ (в любую сто-

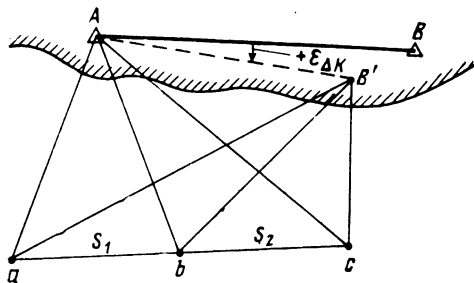


Рис. 5.10. Определение по пеленгам

Таблица 5.1. Основные навигационные параметры, их функции, изолинии и градиенты

Навигационный параметр	Навигационная функция	Навигационная изолиния	Градиент	
			Модуль g , размерность	Направление τ
Расстояние D до ориентира O : на сфере на плоскости	$\cos D = \sin \Phi \sin \varphi + \cos \Phi \cos \varphi \cos (\Lambda - \lambda)$	Изостадия — малый круг с центром O и сферическим радиусом D	$1 \left[\frac{\text{единицы расстояния}}{\text{единицы расстояния}} \right]$	$\Pi \pm 180^\circ$
	$D^2 = (\Phi - \varphi)^2 + (\Lambda - \lambda)^2 \cos^2 \Phi$	Окружность с центром O и радиусом D	То же	То же
	$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos (t_{\text{гр}} - \lambda)$	Круг равных высот — малый круг с центром в полюсе освещения и сферическим радиусом $z = (90^\circ - h)$	$1 \left[\frac{\text{минуты дуги}}{\text{мили}} \right]$	A (азимут светила)
Высота h светила с координатами δ и $t_{\text{гр}}$ на сфере Пеленг Π ориентира: на сфере	$\text{ctg } \Pi = \text{tg } \Phi \cos \varphi \csc (\Lambda - \lambda) - \sin \varphi \text{ctg } (\Lambda - \lambda)$	Изопселена — проходится через O и ближайший полюс	$\frac{1}{60} \sqrt{\text{tg}^2 \varphi + \text{ctg}^2 D} \rightarrow$ $\rightarrow -2 \frac{\text{tg } \varphi}{\text{tg } D} \cos \Pi$ [градусы/мили]	$\text{tg } \tau = \frac{\text{tg } \varphi \text{tg } D}{\sin \Pi} - \text{ctg } \Pi \quad (5.54)$
	$\text{ctg } \Pi = \frac{\Phi - \varphi}{(\Lambda - \lambda) \cos \Phi}$	Прямая, проходящая через O под углом Π к меридиану	$57,3^\circ \left[\frac{\text{градусы}}{D} \right] \left[\frac{\text{мили}}{\text{мили}} \right]$	$\Pi' - 90^\circ$
	$\text{ctg } \Pi' = -\cos \Phi \text{tg } \varphi \csc (\Lambda - \lambda) + \sin \Phi \text{ctg } (\Lambda - \lambda)$	Ортодромия, проходящая через O под углом Π' к меридиану	$\frac{1}{60 \sin D} \left[\frac{\text{градусы}}{\text{мили}} \right]$	$\Pi' + 90^\circ$
Обратный пеленг Π' с ориентира O на судно: на сфере на плоскости	$\text{ctg } \Pi' = \frac{\Phi - \varphi}{(\Lambda - \lambda) \cos \Phi}$	Прямая, проходящая через O под углом Π' к меридиану	$57,3^\circ \left[\frac{\text{градусы}}{D} \right] \left[\frac{\text{мили}}{\text{мили}} \right]$	$\Pi' + 90^\circ$

Разность расстояний $\Delta D = D_1 - D_2$ до ориентиров O_1 и O_2 : на сфере	$\sin^2 \Delta D = \cos^2 D_1 - \cos^2 D_2 + 2 \cos \Delta D \cos D_1 \cos D_2$	Сферическая гипербола с фокусами O_1 и O_2	$2 \sin \frac{\omega}{2} \left[\frac{\text{единицы расстояния}}{\text{единицы расстояния}} \right]$	По нормали к биссектрисе базового угла ω
на плоскости	$\Delta D = D_1 - D_2$	Плоская гипербола с фокусами O_1 и O_2	То же	в сторону ближайшего фокуса
Горизонтальный угол α между направлениями на ориентиры O_1 и O_2 с базой D на плоскости	$\cos \alpha = \frac{D_1^2 + D_2^2 - D^2}{2 D_1 D_2}$	Изогона — окружность, проходящая через O_1 , O_2 и имеющая вписанный угол α	$\frac{3438' D}{D_1 D_2}$ минуты дуги единицы расстояния	На центр изогоны

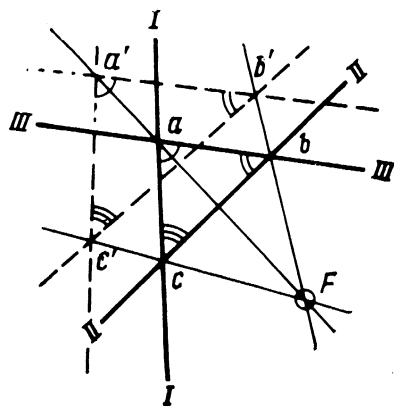


Рис. 5.11. Треугольник погрешностей

рону) и произведя новое построение, получают второй треугольник (рис. 5.11). Точка пересечения линий, соединяющих сходственные вершины, принимается за место судна F .

Вместо такого построения можно перейти к определению места судна по двум углам, рассчитанным по трем компасным пеленгам.

5.4.3. Определение по горизонтальным и вертикальным углам

Для определения места судна с высокой точностью можно измерить секстаном два горизонтальных угла α и β .

Для избежания случая неопределенности (когда ориентиры A , B , C и судно находятся на одной окружности) наблюдаемые ориентиры должны располагаться: на одной прямой линии или близко к ней, либо средний ориентир должен быть ближе к судну, чем крайние, либо все три ориентира должны располагаться примерно на одинаковом расстоянии от судна. Достоинство способа состоит в том, что он не зависит от знания поправки компаса ΔK .

Средняя квадратическая погрешность места судна, определенного по двум горизонтальным углам:

$$M = \frac{m'_\alpha D_2}{3438 \sin \theta} \times \sqrt{\left(\frac{D_1}{D_{AB}}\right)^2 + \left(\frac{D_3}{D_{BC}}\right)^2}, \quad (5.55)$$

где

m'_α — средняя квадратическая погрешность измерения горизонтальных углов, угловые минуты;

D_1 , D_2 и D_3 — расстояние до объектов, мили;

θ — угол пересечения линий положения ($\theta = 360^\circ - B + \alpha + \beta$);

B — угол при среднем ориентире;

D_{AB}, D_{BC} — расстояние между ориентирами, мили.

Измерение секстаном вертикального угла α (в угловых минутах) предмета, высота которого h (м) известна, позволяет рассчитать расстояние до него в милях:

$$D = 1,86 (h/\alpha). \quad (5.56)$$

Расстояние D дает изолинию в виде окружности. В точке пересечения этой окружности с другой изолинией получается место судна.

Если основание предмета скрыто за горизонтом, то вертикальный угол α измеряют между вершиной предмета и линией видимого горизонта. Истинная угловая высота предмета

$$\beta = \alpha - d, \quad (5.57)$$

где α — измеренный угол;

d — наклонение видимого горизонта.

Расстояние до предмета определяется по табл. 29 МТ—75.

Средняя квадратическая погрешность m_D в полученном расстоянии D

$$m_D = D \sqrt{\frac{m_\alpha^2}{\alpha^2} + \frac{m_h^2}{h^2}}, \quad (5.58)$$

где m_α и m_h — средние квадратические погрешности угла и высоты объекта.

В морях, имеющих приливы, следует учитывать колебания уровня. Однако целесообразнее в таких условиях измерять угол между основанием маяка и фонарем и под h понимать только высоту сооружения.

5.5.1. Общие сведения

Радиопеленгаторы позволяют измерить угол между ДП судна и направлением распространения радиоволны (рис. 5.12). Этот угол называется *радиокурсовым углом* (РКУ). Он получается после исправления снятого отсчета (ОРКУ) *радиодевацией* f . Ее значение выбирается из специальной таблицы. Угол между северной частью истинного меридиана и направлением распространения радиоволны называется *истинным радиопеленгом*:

$$\begin{aligned} \text{ИРП} &= \text{ИК} + \text{РКУ} = \text{ОРП} + \Delta\text{ГК} + f = \\ &= \text{ГКК} + \Delta\text{ГК} + \text{ОРКУ} + f. \end{aligned} \quad (5.59)$$

Для того чтобы линия ИРП, проложенная на меркаторской карте, прошла через маяк, необходимо рассчитать *локсодромический пеленг*

$$\text{Лок П} = \text{ИРП} + \psi, \quad (5.60)$$

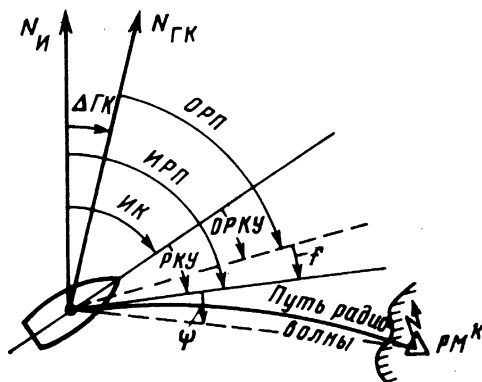


Рис. 5.12. Ортодромическая поправка

где ψ — ортодромическая поправка, выбираемая из табл. 23-6 МТ—75.

Ортодромическая поправка ψ — разность между направлениями дуги большого круга и локсодромии в данной точке на меркаторской карте, которая приближенно выражается формулой

$$\psi = \frac{\Delta\lambda}{2} \sin \Phi_{\text{ср}}. \quad (5.61)$$

5.5.2. Прокладка радиопеленгов на морских картах

На малых расстояниях, когда поправка $\psi \leq 0,3^\circ$ и ее можно не учитывать, линии истинных радиопеленгов прокладывают от радиомаяков в виде прямых линий; в точке пересечения двух таких линий находится observed место судна. Предельные расстояния, на которых возможно прокладывать линии радиопеленгов без учета ортодромической поправки,

$$S = 36 \text{ ctg } \psi \text{ cosec } \text{ИРП}. \quad (5.62)$$

На расстояниях, превышающих вычисленное по формуле (5.62), следует учитывать ортодромическую поправку. В этих случаях на карте прокладывают Лок П = Орт П + ψ .

При больших невязках рекомендуется из счислимой точки C (рис. 5.13) опустить перпендикуляр на линию локсодромического пеленга и получить определяющую точку K , через которую провести линию положения, развернув ее на величину угла ψ .

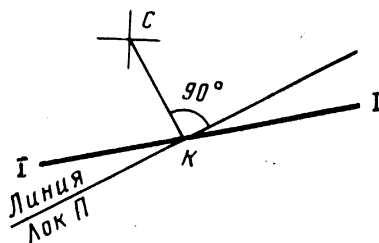


Рис. 5.13. Определяющая точка

Если же радиомаяк находится за рамкой карты (рис. 5.14), то в дополнение к графическим построениям выполняются простые вычисления для нахождения точки K на меридиане (или параллели) счислимого места. Для этого пользуются формулой

$$PMЧ = PD \operatorname{ctg} \text{Лок П}, \quad (5.63)$$

где $PD = (\lambda_c - \lambda_p)$ — разность долгот радиомаяка и счислимого места;

$PMЧ = (MЧ_{\varphi_p} - MЧ_{\varphi_k})$ — разность меридиональных частей радиомаяка и определяющей точки K .

При расположении точки K на счислимом меридиане, когда Лок П $> 45^\circ$ в четвертном счете, вычисляют $PMЧ$, придают ее к меридиональной части радиомаяка и обратным входом из табл. 26 МТ-75 выбирают широту точки K . При Лок П $< 45^\circ$ задают $PMЧ = MЧ_{\varphi_c} - MЧ_{\varphi_p}$, вычисляют PD , придают ее к долготе радиомаяка и получают долготу точки K на счислимой параллели. Через полученную точку K проводят линию Лок П.

При расположении радиомаяков за рамкой путевой карты можно применить графический прием (рис. 5.15), сущность которого состоит в том, что радиомаяк переносят в условную точку M_1 на рамке карты. Рассчитывают $PMЧ$, если PM^k севернее (южнее) рамки карты, или PD , если PM^k западнее (восточнее) рамки карты. При нахождении радиомаяка вне пределов границ карты по двум координатам радиомаяк переносят в угол карты и вычисляют как $PMЧ$, так и PD . На величину $PMЧ$ (или PD) смещают параллель (меридиан) внутрь карты и получают точку M_2 . Из точки M_1 проводят линию радиопеленга и получают точку K . Измеряют отрезок M_2K , откладывают его от точки K и находят точку K_1 . Через полученную точку K_1 проводят линию локсодромического пеленга до пересечения ее с линией второго Лок.П. Средняя квадратическая погрешность радиопеленга равняется:

$$m_{ИРП} = \sqrt{m_{IK}^2 + m_{PKY}^2 + m_f^2}, \quad (5.64)$$

где $\left. \begin{matrix} m_{IK}, \\ m_{PKY}, m_f \end{matrix} \right\}$ — средние квадратические погрешности параметров, входящих в рассчитанный ИРП.

Средняя квадратическая погрешность места, определенного по двум радиопеленгам:

$$M = \frac{m_{ИРП}}{57,3 \sin \theta} \sqrt{D_1^2 + D_2^2}, \quad (5.65)$$

где D_1 и D_2 — расстояния до радиомаяков.

5.5.3. Определение по пеленгам секторных радиомаяков

Прохождение через судно равносигнальной зоны не позволяет произвести точный подсчет сигналов, поэтому число знаков N_1 , сосчи-

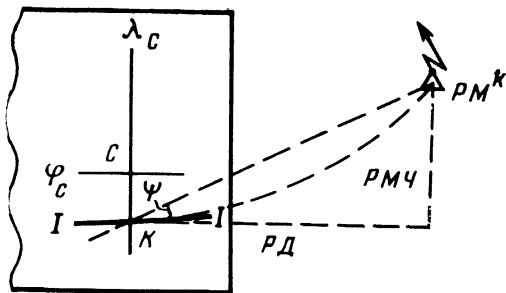


Рис. 5.14. Радиомаяк за рамкой карты (первый способ)

танное до начала равносигнальной зоны, необходимо откорректировать:

$$N = N_1 + \frac{60 - (N_1 + N_2)}{2}, \quad (5.66)$$

где N_2 — число знаков после равносигнальной зоны.

Счет сигналов производится на слух или с использованием двух секундомеров. В последнем случае их запускают одновременно с началом цикла и замечают два отсчета: t_1 — в момент начала равносигнальной зоны и t_2 — в ее конце. Тогда

$$N = t_1 + t_2. \quad (5.67)$$

Основная погрешность при определении пеленга происходит из-за ошибок в счете сигналов. Случайные погрешности наблюдений составляют 2—6 знаков, т. е. 0,4—1,5°. Ночью погрешности пеленгования больше, чем днем, и особенно велики на расстояниях 300—500 миль, где сильно сказывается ночной эффект. Вблизи нерабочих зон они достигают $\pm 2^\circ$. Дальность действия секторных радиомаяков днем 1000 миль, ночью — до 1500 миль. Средняя квадратическая погрешность места вычисляется по формуле (5.65).

Если на судне отсутствуют специальные карты, то на расстояниях до 300 миль место судна может быть получено графическими при-

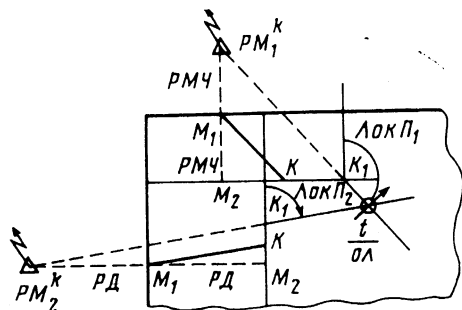


Рис. 5.15. Радиомаяк за рамкой карты (второй способ)

емами, применяемыми при определении по радиопеленгам круговых радиомаяков. При этом должен быть изменен знак ортодромической поправки, а ее значение должно выбираться по широте радиомаяка.

5.5.4. Определение места судна с использованием гиперболических навигационных систем

Определение по фазовой РНС «Декка». Порядок выполнения обсервации: по счислению определить номер зоны каждой пары и выставить их на приемоиндикаторе;

произвести устранение многозначности согласно технической инструкции;
выставить номера дорожек каждой пары на фазометрах точных дорожек;
снять поочередно отсчеты пар в последовательности: красная, зеленая, фиолетовая;
найти на карте соответствующие линии положения и после интерполяции получить координаты обсервованного места в точке пересечения двух или трех гипербол;
перенести полученные координаты на путевую карту.

Точность определения места судна составляет от 1 до 2,5 кб на расстоянии до 250 миль. Днем погрешность $m_{\Delta\phi}$ составляет 0,05 фазового цикла (ф. ц), или 5 делений шкалы, ночью достигает 0,1 ф. ц., или 10 делений.

В некоторых районах точность обсервации понижается из-за местных отклонений в скорости распространения радиоволн.

Определение по фазовой РНС «Омега». В реальных условиях скорость распространения радиоволн может отличаться от расчетной, поэтому все снятые отсчеты должны исправляться поправками за отклонение фактической скорости от средней. Поправки сведены в таблицы для квадратов, имеющих размеры: 4—6° по широте, 6—8° по долготе. Аргументами для входа в таблицу являются: гринвичское время наблюдений и дата. Поправки даются в сотых долях фазового цикла для каждой станции. Поправка пары станций рассчитывается, как разность поправок соответствующих станций:

$$\Delta_{A-C} = \Delta_A - \Delta_C. \quad (5.68)$$

Таблицы для РНС «Омега» составлены на 26 районов земного шара для каждой принимаемой там пары станций. Из таблиц выбирают координаты точек пересечения заданных меридианов (или параллелей) с изолиниями вблизи счислимого места. Соединяя эти точки на путевой карте, находят линию положения. Для интерполяции в таблицах приводятся изменения Δ искомой координаты в десятых долях минуты на 100 долей фазового цикла.

Для повышения точности на подходах к берегу в ряде стран созданы станции, которые определяют точные значения поправок и передают их на суда в районе с радиусом 200—300 миль. Такой метод получил название диф-

ференциальной «Омеги». В этом случае точность полученного места может составлять 0,3—0,5 мили.

Определение по импульсно-фазовой РНС «Лоран-С». Место судна определяется по специальным радионавигационным картам и таблицам. На картах масштаба более 200 000 нанесены различным цветом гиперболические изолинии пар станций. Основная оцифровка сделана через 100 или 200 мкс. Через 2° широты и 4° долготы нанесены поправки за пространственную радиоволну для дня и ночи на каждую пару. Их условные обозначения D (Day) днем, N (Night) — ночью. Если отсчет получен при использовании поверхностных импульсов от ведущей станции и пространственных от ведомой, то поправка предваряется условным обозначением GS (Ground—Sky). Если приняты пространственные импульсы от ведущей, а от ведомой поверхностные, то ставится сочетание SG (Sky—Ground). Сочетание SS (Sky—Sky) используется, когда оба сигнала приняты от пространственной волны. Точность определения координат по РНС «Лоран-С» составляет 3—6 кб при использовании поверхностных волн в импульсно-фазовом режиме измерения. При работе только в импульсном режиме ошибки составляют 2—5 миль и более.

5.6.1. Небесная сфера и системы координат

Небесная сфера. Ею называется воображаемая сфера произвольного радиуса, на которую проектируются светила прямыми, соединяющими светила с центром сферы.

Диаметр небесной сферы, параллельный отвесной линии, пересекает сферу в точках *зенита* z и *надир* n (рис. 5.16). Большие круги, проходящие через эти точки, называются *вертикалами*; среди них выделяют первый вертикал, проходящий через точки E и W . Большой круг, плоскость которого перпендикулярна отвесной линии zn , называется истинным горизонтом; малые круги, плоскости которых также перпендикулярны линии zn , называются альмукантатами.

Диаметр небесной сферы, параллельный оси Земли, называется осью мира. Эта ось пересекает сферу в точках повышенного и пониженного полюсов мира P_N и P_S . Большие круги, проходящие через полюса мира, называются небесными меридианами, а тот из них, который проходит через зенит — меридианом наблюдателя. Ось мира $P_N P_S$ делит меридиан наблюдателя на полуденную (включает зенит) и полуночную (с надиром) части. Меридиан наблюдателя пересекает истинный горизонт в точках севера N и юга S , через которые проходит полуденная линия NS .

Большой круг, плоскость которого перпендикулярна оси мира $P_N P_S$, называется небесным экватором; он пересекает истинный горизонт в точках востока E и запада W . Малые

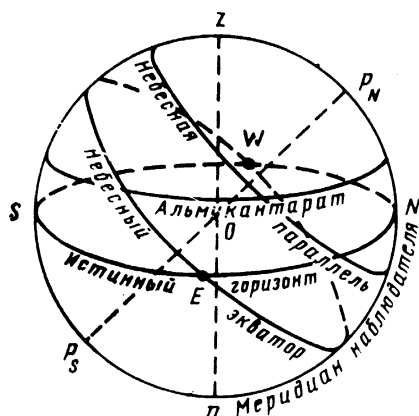


Рис. 5.16. Небесная сфера

круги, плоскости которых также перпендикулярны оси $P_N P_S$, называются небесными параллелями.

Горизонтная система координат. Ее составляют высота и азимут (рис. 5.17). *Высотой светила h* называется дуга его вертикала (и соответствующий ей центральный угол) от истинного горизонта до светила C . Если светило под горизонтом, то эту его координату называют снижением ($-h$). Вместо высоты применяют также зенитное расстояние $z = 90^\circ - h$ (измеряется от зенита до 180°). Азимут светила A называется сферический угол при зените от меридиана наблюдателя до меридиана светила. Бывает полукруговой — от точки N или S , одноименной с широтой, к E или к W до 180° , четвертной — от точки N или S к E или к W до 90° , круговой — от точки N к E до 360° . Азимути в полукруговом и четвертном счете приписывают наименование из двух букв — начало и сторона отсчета, например, один и тот же азимут в трех системах отсчета: $122^\circ NW$, $58^\circ SW$ и 238° .

Первую экваториальную систему координат составляют склонение и часовой угол (рис. 5.18). Склонением светила δ называется дуга его меридиана (и соответствующий центральный угол) от экватора до светила C , имеет наименование N или S . Вместо склонения применяют также полярное расстояние $\Delta = 90^\circ - \delta$, измеряемое от повышенного полюса мира. Часовым углом светила t называется сферический угол при повышенном полюсе мира между полуденной частью меридиана наблюдателя и меридианом светила. Измеряется часовой угол дугой небесного экватора в двух системах счета: круговой — в сторону W до 360° и практический — в сторону E или W до 180° . Например, один и тот же часовой угол в двух системах счета: 256° или $104^\circ E$.

Вторую экваториальную систему координат составляют склонение δ (или полярное расстояние) и прямое восхождение (см. рис. 5.18). Прямым восхождением α называется дуга небесного экватора от точки Овна V до меридиана светила, измеряемая в сторону годово-

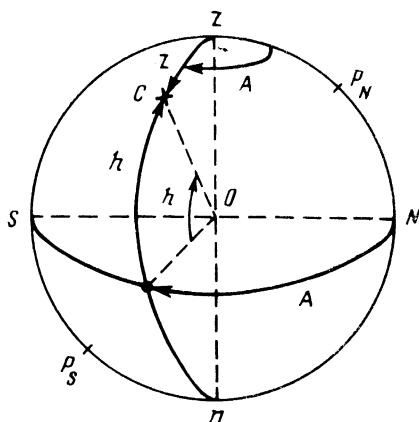


Рис. 5.17. Горизонтная система координат

го движения Солнца до 360° . Чаше пользуются *звездным дополнением* $\tau = 360^\circ - \alpha$.

Широта наблюдателя φ равна высоте h_P повышенного полюса мира, а также — склонению его зенита δ_z ; долготу наблюдателя λ равна гринвичскому часовому углу его зенита $t_{гр}^z$.

Параллактический треугольник. Он образуется пересечением меридиана наблюдателя, вертикала светила C и его меридиана (рис. 5.19). Элементы этого треугольника: $90^\circ - \varphi$, $90^\circ - \delta$, $90^\circ - h$, A , t и q — *параллактический угол* при светиле между его меридианом и вертикалом.

Решение параллактического треугольника состоит в вычислении его элементов по заданным, которых должно быть не менее трех. Этим осуществляется переход от экваториальной (δ , t) к горизонтной (h , A) системе координат и наоборот. Для вычисления h и A по заданным φ , δ и t применяются системы формул:

$$\left. \begin{aligned} \sin h &= \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t; \\ \sin A &= \cos \delta \sin t \sec h; \end{aligned} \right\} \quad (5.69)$$

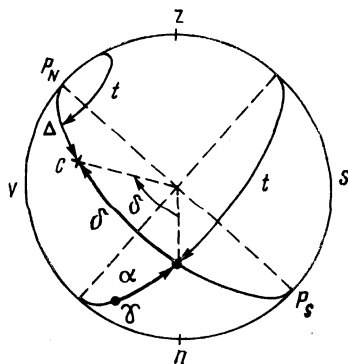


Рис. 5.18. Экваториальная система координат

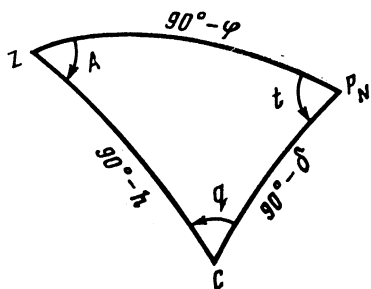


Рис. 5.19. Параллактический треугольник

$$\left. \begin{aligned} \sin^2 \frac{z}{2} &= \sin^2 \frac{\varphi - \delta}{2} + \\ &+ \cos \varphi \cos \delta \sin^2 \frac{t}{2}; \\ \sin A &= \cos \delta \sin t \operatorname{cosec} z. \end{aligned} \right\} \quad (5.70)$$

Схемы вычислений по этим формулам и правила определения наименования азимута приведены в МТ—75.

5.6.2. Движение светил. Звездный глобус

Видимое движение светил разделяют на суточное, обусловленное вращением Земли вокруг своей оси и одинаковое для всех точек небесной сферы, и собственное, обусловленное перемещением Земли и светил.

Видимое суточное движение светил по их небесным параллелям (рис. 5.20). Оно сопровождается явлениями восхода, кульминации, захода и т. п., условия наступления которых зависят от соотношения широты наблюдателя φ и склонения светила δ :

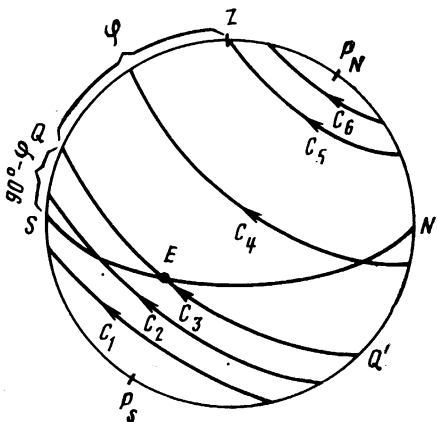


Рис. 5.20. Видимое суточное движение светил

светило восходит и заходит, если $\delta < 90^\circ - \varphi$ (светила C_2, C_3 и C_4);

светило незаходящее, если $\delta > 90^\circ - \varphi$ и одноименно с φ (C_5 и C_6);

светило невосходящее, если $\delta > 90^\circ - \varphi$ и разноименно с φ (C_1);

светило пересекает первый вертикал над горизонтом, если $\delta < \varphi$ и одноименно с φ (C_4);

светило проходит через зенит, если $\delta = \varphi$ и одноименно с φ (C_5).

В момент верхней кульминации светила, когда оно проходит полуденную часть меридиана наблюдателя, его часовой угол $t=0$, а в момент нижней кульминации $t=180^\circ$. Любое светило кульминирует над точками N или S, в соответствии с чем меридиональной высоте светила H приписывают такое же наименование, а меридиональному зенитному расстоянию $Z=90^\circ - H$ — противоположное. Для верхней и нижней кульминаций справедливы равенства

$$\varphi = Z \pm \delta; \quad \varphi = H + \Delta, \quad (5.71)$$

где в первой формуле минус при φ и δ разноименных.

Высота светила изменяется наиболее быстро у первого вертикала, а азимут — у меридиана наблюдателя, что выражается формулами

$$\frac{\partial h}{\partial t} = -\cos \varphi \sin A;$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} = -\sin \varphi + \cos \varphi \cos A \operatorname{tg} h, \quad (5.72)$$

на основе которых составлены табл. 17 и 18 МТ—75.

Видимое собственное годовое движение Солнца. Оно происходит по эклиптике (рис. 5.21), которая пересекает небесный экватор под углом $\epsilon = 23,5^\circ$ в точках весеннего и осеннего равноденствий (в точках Овна φ

и Весов φ), где изменяется наименование

склонения Солнца. Наибольшей величины $\sim 23,5^\circ$ склонение достигает в точках летнего и зимнего солнцестояний (в точках Рака φ и

Козерога φ). Вдоль эклиптики расположены

12 созвездий Зодиака. Прохождение Солнца через эти созвездия в древности отражено в обозначениях месяцев значками этих созвездий (табл. 5.2).

Тропическим годом называется промежуток времени между двумя последовательными прохождениями Солнца через точку Овна; его продолжительность 365,2422 средних суток. Видимое годовое движение Солнца обуславливает смену времен года и деление поверхности Земли на климатические пояса.

Географические параллели с широтой $\varphi = 23,5^\circ$ называют тропиками: в северном по-

лушарии — Рака, в южном — Козерога. Они ограничивают тропический пояс ($\varphi < 23,5^\circ$), где Солнце дважды в год проходит через зенит. Параллели с широтой $\varphi = 66,5^\circ$ называют северным и южным полярными кругами. В каждом полушарии между тропиком и полярным кругом простирается умеренный пояс ($23,5^\circ < \varphi < 66,5^\circ$), в пределах которого Солнце всегда восходит и заходит и никогда не бывает в зените. В каждом полушарии полярный круг ограничивает вокруг полюса полярную область ($\varphi > 66,5^\circ$), в которой бывают полярные день и ночь продолжительностью более 24 ч.

Экваториальные координаты Солнца δ и α изменяются в течение года неравномерно, их точные значения даны в Морском астрономическом ежегоднике (МАЕ). Для приближенных расчетов принимают, что в течение первого месяца до и после равноденствий суточное изменение склонения $\Delta\delta \approx 0,4^\circ$, в течение второго месяца $\Delta\delta \approx 0,3^\circ$, в течение месяца до и после солнцестояний $\Delta\delta \approx 0,1^\circ$, а суточное увеличение прямого восхождения 1° в течение всего года. Расчеты ведут от ближайшей даты равноденствия или солнцестояния.

Видимое собственное движение Луны. Оно происходит по ее видимой орбите, которая пересекает эклиптику в точках лунных узлов под углом $i \approx 5,2^\circ$. Максимальное склонение Луны изменяется от $18,3^\circ$ до $28,6^\circ$ обоих наименований с периодом 9,3 года. *Лунным месяцем* называется промежуток времени, в течение которого Луна делает оборот по своей видимой орбите относительно меридиана Солнца; его продолжительность 29,5 средних суток. Возрастом Луны B называется число суток, прошедших после последнего новолуния, принимаемого за начало лунного месяца. Фазы Луны различают по виду освещенной части лунного диска и определяют ее возраст. Новолуние ($B=0$) и полнолуние ($B=14,8$) называют сизигиями — в этих фазах на протяжении 3—4 сут приливообразующие силы Луны и Солнца складываются, вызывая наибольшие приливы. Первую ($B=7,4$) и последнюю ($B=22,1$) четверти называют квадратурами.

Координаты Луны, ее возраст, время кульминаций даны в МАЕ.

Для приближенных расчетов возраста Луны B служит формула

$$B = M + D + L, \quad (5.73)$$

где M — номер месяца в году;

D — номер дня в месяце (число);

L — лунное число, увеличивающееся ежегодно на 11 (приведено ниже 10 годам).

Год	L	Год	L
1988	9	1993	6
1989	20	1994	17
1990	2	1995	28
1991	13	1996	9
1992	24		

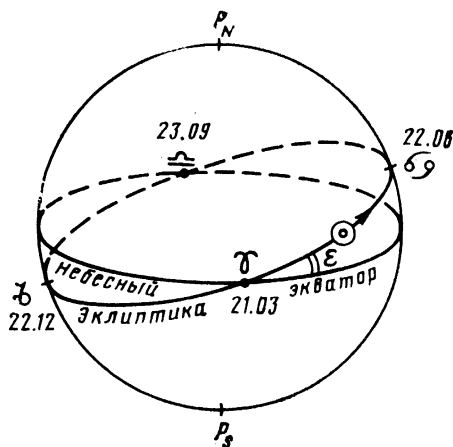


Рис. 5.21. Видимое собственное годовое движение Солнца

Видимое собственное движение планет. Оно происходит по сложным кривым вблизи эклиптики в сторону движения Солнца, но в отдельные периоды планета может иметь попятное движение. Навигационное значение имеют лишь 4 планеты: Венера ♀, Марс ♂, Юпитер ♃

и Сатурн ♄, среди которых Венера — внутренняя (относительно орбиты Земли), а остальные — внешние. Видимость планет зависит от их расположения относительно Земли и Солнца, называемого относительно Земли и Солнца, называемого конфигурацией. Даты конфигураций планет и их видимость по месяцам указаны в МАЕ.

Видимое собственное движение звезд, обусловленное перемещением Солнечной системы. Оно невелико и только у наиболее близких звезд достигает величины около $0,1'$ в год. Более заметные изменения координат звезд вызваны прецессией, нутацией и абберацией.

Прецессия обусловлена неодинаковым лунно-солнечным притяжением противоположных масс вращающейся Земли и проявляется в том, что полюс мира описывает около полюса

Таблица 5.2. Созвездия Зодиака

Месяц	Созвездие	Месяц	Созвездие
I	♒ Водолей	VII	♌ Льва
II	♈ Рыбы	VIII	♍ Девы
III	♉ Овна	IX	♎ Весов
IV	♊ Тельца	X	♏ Скорпиона
V	♋ Близнецов	XI	♐ Стрельца
VI	♌ Рака	XII	♑ Козерога

эклиптики малый круг со сферическим радиусом $23,5^\circ$ за 25 700 лет. Вследствие этого плоскость экватора поворачивается на $20''$ в год, а точка Овна перемещается по экватору навстречу Солнцу на $46,1''$ в год. Вариации лунно-солнечного притяжения с периодом 18,6 года называют нутацией — колебания земной оси с амплитудой $9''$.

Аберрация — видимое смещение направления на светило в сторону движения Земли по своей орбите вследствие сложения скоростей света и движения Земли. Такое смещение имеет годичный период и достигает $20,5''$.

Действия прецессии, нутации и аберрации учитываются при составлении МАЕ.

Звездный глобус. Он является моделью небесной сферы и служит для приближенного (с погрешностью до 2°) решения астрономических задач. На его поверхности нанесены сетка небесных меридианов и параллелей, эклиптики и 167 звезд; планеты наносят по необходимости по их координатам из МАЕ.

Звездный глобус устанавливают по широте φ так, чтобы одноименный с ней полюс мира (у северного полюса проставлено название Полярной звезды) находился над соответствующей точкой N или S на высоте, равной φ , и по местному звездному времени S_m так, чтобы под полуденной частью меридионального кольца глобуса находилось деление его экватора, равное S_m .

Подбор светил для наблюдений делают, установив глобус по φ и S_m на предполагаемое время наблюдений. Для выбранных светил с помощью крестовины вертикалов с глобуса снимают и записывают азимуты и высоты светил.

Опознавание светила, высота которого h измерена секстаном, а азимут A получен пеленгованием, выполняется с помощью крестовины вертикалов после установки глобуса по φ и S_m . Если индекс указывает на точку вблизи эклиптики, где звезды нет, то надо снять координаты δ и α этой точки и затем определить по МАЕ, какая планета имеет такие координаты в этот день. Подобным образом звездный глобус используется для самостоятельного изучения звездного неба.

5.6.3. Измерение времени

Для измерения времени используются естественные периодические процессы, в частности движение Земли по орбите, вращение Земли вокруг своей оси, собственные колебания атомов или молекул определенных веществ.

Звездными сутками называется промежуток времени между двумя последовательными верхними кульминациями точки Овна. Промежуток времени от последней верхней кульминации точки Овна (принимается за начало звездных суток) до данного момента называется звездным временем S , которое равно ча-

совому углу точки Овна, т. е. $S = t^\lambda$, выражается обычно в градусной мере и даты не имеет.

Для любого светила (для любой точки небесной сферы) с часовым углом t и прямым восхождением α справедлива основная формула времени

$$S = t + \alpha. \quad (5.74)$$

Отсюда, добавляя к S 360° и заменяя α звездным дополнением $\tau = 360^\circ - \alpha$, получаем формулу для расчета часовых углов:

$$t = S + \tau. \quad (5.75)$$

В разные периоды года начало звездных суток приходится на разное время дня и ночи и поэтому в быту звездное время не применяется.

Истинные солнечные сутки, как промежуток времени между последовательными одноименными кульминациями Солнца, имеют непостоянную продолжительность и поэтому не служат единицей времени. Средние сутки имеют среднюю за год продолжительность истинных солнечных суток и делятся на средние часы, минуты и секунды. Если слово «средний» опущено, то подразумеваются именно средние единицы времени. Средним временем T называют промежуток времени от начала средних суток до данного момента. Это время называют также гражданским и ему обязательно присписывается дата. Среднее и звездное времена, а также часовые углы светил, измеряемые от меридиана определенного места с долготой λ , называются местными, а измеряемые от меридиана Гринвича ($\lambda = 0$) — называются *гринвичскими*. Гринвичское среднее время $T_{гр}$ (Greenwich Mean Time — GMT) называют также *всемирным* временем. Соотношения между местными и гринвичскими временами и часовыми углами выражаются формулами:

$$T_m = T_{гр} \pm \lambda_{W}^E; \quad S_m = S_{гр} \pm \lambda_{W}^E; \quad t_m = t_{гр} \pm \lambda_{W}^E; \quad (5.76)$$

$$T_{гр} = T_m \mp \lambda_{W}^E; \quad S_{гр} = S_m \mp \lambda_{W}^E; \quad t_{гр} = t_m \mp \lambda_{W}^E. \quad (5.77)$$

С 1884 г. введено деление поверхности Земли на 24 часовых пояса, в пределах каждого из которых принято поясное время $T_{п}$, отличающееся от всемирного $T_{гр}$ на целое число часов — номер пояса N_p :

$$T_{п} = T_{гр} \pm N_p \lambda_{W}^E; \quad T_{гр} = T_{п} \mp N_p \lambda_{W}^E. \quad (5.78)$$

Границы часовых поясов на суше совпадают с административными и указаны на картах часовых поясов. В океанах и открытых морях эти границы проходят по меридианам с долготой, кратной $7,5^\circ$. Чтобы узнать в море номер пояса, надо долготу перевести в часовую меру ($15^\circ = 1^h$) и округлить до целого числа.

В СССР с 1930 г. введено декретное время T_d , которое на 1^h больше поясного, а с

1981 г. введено летнее время $T_{\text{л}}$, которое с 1 апреля по 1 октября на $1^{\text{ч}}$ больше декретного (т. е. на $2^{\text{ч}}$ больше поясного). Время первого восточного пояса называют среднеевропейским.

Судовым временем называется официально принятое на судне по указанию капитана поясное время. Об изменении принятого судового времени обязательно делают запись в судовом журнале.

Во всех случаях при расчетах по формулам (5.76) — (5.78) руководствуются правилом: к востоку времени больше. При расчетах среднего времени обязательно учитывают дату, которая на судне может отличаться от гринвичской.

Демаркационной линией времени (линией смены дат) называют границу между двенадцатыми восточным и западным часовыми поясами. Эта линия показана на картах часовых поясов и проведена с отклонениями от меридиана $\lambda = 180^{\circ}$ так, чтобы она нигде не проходила по суше (кроме Антарктиды). При движении на восток (курсы $0-180^{\circ}$) в полночь после пересечения демаркационной линии повторяется прежняя дата, а при движении на запад (курсы $180-360^{\circ}$) в полночь после пересечения этой линии одна дата пропускается.

Измерение времени. Это необходимо для организации службы и жизни экипажа, решения навигационных задач и ведения судового журнала с точностью до 1 мин, а при быстро изменяющихся ситуациях — до 0,5 мин, что обеспечивается судовыми и наручными часами. Для решения астрономических задач время определяется по хронометру с точностью до 1° .

Хронометр заводить должен ежедневно один из помощников капитана (обычно третий) в одно и то же время. Пуск нового хронометра осуществляют в соответствии с прилагаемой к нему инструкцией. Для перевода стрелок надо отвинтить крышку, надев заводной ключ на ось минутной стрелки, поворачивать его по ходу стрелок, добиваясь согласования минутной и секундной стрелок. Ремонт, чистку и смазку хронометров делают только в навигационных камерах.

Поправку хронометра u требуется определять ежедневно, замечая показания хронометра $T_{\text{хр}}$ в момент гринвичского времени $T_{\text{гр}}$ принимаемого радиосигнала времени:

$$u = T_{\text{гр}} - T_{\text{хр}}. \quad (5.79)$$

Сведения о передачах радиосигналов времени публикуются в бюллетене «Эталонные сигналы частоты и времени» (Государственный Комитет СССР по стандартам, в английском пособии «The Admiralty List of Radio Signals» и др.).

Суточный ход хронометра ω выводят по значениям его поправок u_1 и u_2 , полученным в моменты T_1 и T_2 обычно через 5—7 сут:

$$\omega = \frac{u_2 - u_1}{T_2 - T_1}, \quad (5.80)$$

где $T_2 - T_1$ выражается в сутках с долями.

Сведения об определении поправки хронометра и его суточный ход заносят в хронометрический журнал. Суточный ход исправного хронометра (выведенный за 7 сут при температуре $4-36^{\circ}\text{C}$) не должен превышать $\pm 4^{\circ}$, а разность двух последовательных суточных ходов — $(\pm 2,5^{\circ})$.

Момент всемирного времени $T_{\text{гр}}$ определяется по хронометру с учетом его поправки:

$$T_{\text{гр}} = T_{\text{хр}} + u. \quad (5.81)$$

Чтобы установить, какая половина суток и дата на Гринвиче, эту же задачу приходится решать приближенно по судовому времени и второй из формул (5.78).

Судовые часы имеют недельный завод и должны обеспечивать показания времени с точностью до четверти минуты, что достигается регулировкой их хода и ежедневной проверкой. Официальное судовое время определяется по часам на мостике; часы в радиорубке всегда идут по московскому времени. Правильность показаний часов на мостике контролируют по хронометру вахтенные помощники капитана перед сдачей вахты, делая также отметку времени на ленте курсографа. При переходе в другой часовой пояс по указанию капитана судовые часы переставляют сразу на $1^{\text{ч}}$ на вахте третьего помощника, о чем делают запись в судовом журнале и объявляют по судовому радио.

5.6.4. Расчет координат светил

Таблицы координат светил. Таблицы 5.5—5.8 предназначены для вычислений на микрокалькуляторе звездного времени, часовых углов и склонений Солнца и звезд без МАЕ на любой момент до 2000 года включительно с точностью, достаточной для мореходной астрономии. Аргументом для расчетов служат гринвичская дата и всемирное (среднее гринвичское) время.

Табл. 5.3 содержит поправку $\Delta T_{\text{г}}$ в десятичных долях суток для приведения времени наблюдений к 1981 г. Табл. 5.4 содержит гринвичское звездное время $S_{\text{гр}}$ (часовой угол точки Овна $t_{\text{гр}}^{\text{V}}$ в градусах с десятичными долями $0^{\circ}0'0''$ всемирного времени первого числа каждого месяца 1981 г.). В табл. 5.5 даны для Солнца на каждое третье число всех месяцев 1981 г. звездное дополнение τ^{\odot} и его суточный изменение $\Delta\tau^{\odot}$ для трехсуточного интервала, следующего за указанной датой. Обе величины — в градусах с десятичными долями. Табл. 5.6 содержит дополнение τ^* и склонение δ^* на 1981 г. и их годовые изменения $\Delta\tau^*$ и $\Delta\delta^*$ — все в градусах с десятичными долями для 26 навигационных звезд. Табл. 5.6 может быть легко расширена на другие звезды, для чего надо выбрать из МАЕ любого года их координаты на 1 июля и представить в градусах с десятичными долями. Годичные изменения этих координат, учитыва-

Т а б л и ц а 5.3. Поправка ΔT_{Γ} для приведения

1981	1982	...	1988	1989	1990	1991	1992
0,000	-0,242	...	-0,696 +0,304	+0,062	-0,180	-0,422	-0,664 +0,336

Примечание. В високосные годы первое значение ΔT_{Γ} до 1 марта, а второе — 1 марта и после.

ющих прецессию, вычисляются при составлении таблицы по формулам:

$$\begin{aligned}\Delta \tau^* &= 0,0056^\circ \sin \tau^* \operatorname{tg} \delta^* - 0,0128^\circ; \\ \Delta \delta^* &= 0,0056 \cos \tau^*. \quad (5.82)\end{aligned}$$

Используя эти изменения, расчеты надо вести от того года, на который выбраны координаты τ^* и δ^* .

Задача 5.1. Вычисление звездного времени. 1. Всемирное время наблюдений $T_{\Gamma\Gamma}$ представить в часах с десятичными долями $T_{\Gamma\Gamma}^{\text{ч}}$. Для этого служит клавиша $\boxed{^{\circ}, \dots}$ микрокалькулятора, а если такой клавиши нет, то формула

$$T_{\Gamma\Gamma}^{\text{ч}} = T_{\text{часы}} + (T_{\text{сек}} : 60 + T_{\text{мин}}) : 60. \quad (5.83)$$

Полученное значение $T_{\Gamma\Gamma}^{\text{ч}}$ выразить в долях суток: $T_{\Gamma\Gamma}^{\text{д}} = T_{\Gamma\Gamma}^{\text{ч}} : 24$, а также в градусах с десятичными долями: $T_{\Gamma\Gamma}^{\circ} = T_{\Gamma\Gamma}^{\text{ч}} \cdot 15$; обе величины записать с округлением до 0,001.

2. К значению $T_{\Gamma\Gamma}^{\text{д}}$ придать целое число суток, прошедших с начала месяца до гринвичской даты наблюдений (например, до 27-го числа 26 целых суток). Полученные таким образом дату и время наблюдений надо привести к 1981 г. поправкой ΔT_{Γ} из табл. 5.3. При этом в зависимости от знака поправки ΔT_{Γ} дата может измениться на предыдущую или на последующую. В результате получают величину D , которая выражает гринвичскую дату и время наблюдений в долях суток, приведенные к 1981 г. Например, если 1 февраля 1983 г. $T_{\Gamma\Gamma}^{\text{д}} = 0,251^{\text{д}}$, то с учетом поправки на этот

год $\Delta T_{\Gamma} = -0,484^{\text{д}}$ получаем $D = 30,767^{\text{д}}$, январь 1981 г.

3. Рассчитать гринвичское звездное время по формуле

$$S_{\Gamma\Gamma} = 0,9856D + S_{81} + T_{\Gamma\Gamma}^{\circ}, \quad (5.84)$$

где S_{81} выбрать на месяц из табл. 5.4, а $T_{\Gamma\Gamma}^{\circ}$ — всемирное время наблюдений в градусах, полученное в п. 1. Если $S_{\Gamma\Gamma}$ окажется более 360° , то из $S_{\Gamma\Gamma}$ надо вычесть 360° .

Пример 5.1. Вычислить $S_{\Gamma\Gamma}$ на $T_{\Gamma\Gamma} = 23^{\text{ч}}18^{\text{м}}54^{\text{с}}$ 27 мая 1998 г.

1. $T_{\Gamma\Gamma} = 23^{\text{ч}}18^{\text{м}}54^{\text{с}} = 23,315^{\text{ч}}$; $T_{\Gamma\Gamma}^{\text{д}} = 0,971^{\text{д}}$; $T_{\Gamma\Gamma}^{\circ} = 349,725^\circ$.

2. Из табл. 5.3 на 1998 г. $\Delta T_{\Gamma} = -0,118^{\text{д}}$; $D = 26,971 - 0,118 = 26,853^{\text{д}}$, май.

3. Из табл. 5.4 на май $S_{81} = 218,835^\circ$. Вычисления:

$$\begin{aligned}S_{\Gamma\Gamma} &= 0,9856 \cdot 26,853 + 218,835 + 349,725 = \\ &= 595,029 - 360^\circ = 235,027^\circ.\end{aligned}$$

Задача 5.2. Вычисление координат Солнца.

1. По гринвичской дате и всемирному времени наблюдений $T_{\Gamma\Gamma}$ вычислить, как указано в задаче 5.1, гринвичское звездное время $S_{\Gamma\Gamma}$.

2. По гринвичской дате в сутках с долями D , приведенной к 1981 г. (см. п. 2 в задаче 5.1), выбрать из табл. 5.5 на ближайшую меньшую табличную дату D_{Γ} величины τ_{Γ}^{\odot} и $\Delta \tau^{\odot}$. Рассчитать τ^{\odot} на момент наблюдений:

$$\tau^{\odot} = \tau_{\Gamma}^{\odot} + \Delta \tau^{\odot} (D + 1 - D_{\Gamma}). \quad (5.85)$$

3. Вычислить гринвичский часовой угол $t_{\Gamma\Gamma}^{\odot}$ и склонение δ^{\odot} Солнца по формуле

$$t_{\Gamma\Gamma}^{\odot} = S_{\Gamma\Gamma} + \tau^{\odot}. \quad (5.86)$$

Если получается $t_{\Gamma\Gamma}^{\odot}$ более 360° , то 360° надо отнять:

$$\delta^{\odot} = -\arctg(0,4336 \sin \tau^{\odot}); \quad (5.87)$$

если δ^{\odot} получается с плюсом, то его наименование N, если с минусом, то S.

Пример 5.2. Вычислить $t_{\Gamma\Gamma}^{\odot}$ и δ^{\odot} на $T_{\Gamma\Gamma} = 23^{\text{ч}}18^{\text{м}}54^{\text{с}}$ 27 мая 1998 г.

Т а б л и ц а 5.4. Значение $S_{\Gamma\Gamma}$ на $T_{\Gamma\Gamma} = 0$ первого числа месяца 1981 г.

Месяц	$S_{\Gamma\Gamma}$	Месяц	$S_{\Gamma\Gamma}$
Январь	100,557	Июль	278,958
Февраль	131,112	Август	309,515
Март	158,710	Сентябрь	340,068
Апрель	189,265	Октябрь	9,638
Май	218,835	Ноябрь	40,193
Июнь	249,390	Декабрь	69,762

1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
+0,093	—0,149	—0,391	—0,633 +0,367	+0,125	—0,118	—0,360	—0,602 +0,398

1. Расчеты по п. 2 в задаче 5.1 дают $D = 26,853^\circ$ мая, по п. 3 в задаче 5.1 $S_{гр} = 235,029^\circ$.

2. Из табл. 5.5 на D_T 25 мая $\tau_T^\odot = 298,313^\circ$; $\Delta\tau = -1,013^\circ$, откуда $\tau^\odot = 298,313^\circ + (-1,013^\circ) (26,853 + 1 - 25) = 295,423^\circ$.

3. $i_{гр}^\odot = 235,029^\circ + 295,423^\circ = 530,452^\circ - 360^\circ = 170,452^\circ$;

$\delta^\odot = -\arctg(0,434 \sin 295,423^\circ) = 21,384^\circ N$.

Задача 5.3. Вычисление координат звезд.

1. По гринвичской дате и всемирному времени наблюдений $T_{гр}$ вычислить, как указано в задаче 5.1, гринвичское звездное время $S_{гр}$.

2. Из табл. 5.6 выбрать по названию звезды ее координаты τ_{s1}^* и δ_{s1}^* на 1981 г. и их годовые изменения $\Delta\tau^*$ и $\Delta\delta^*$. Рассчитать координаты $i_{гр}^*$ и δ^* звезды на заданный момент:

$$i_{гр}^* = S_{гр} + \tau_{s1}^* + n\Delta\tau^*;$$

$$\delta^* = \delta_{s1}^* + n\Delta\delta^*, \quad (5.88)$$

где n — число лет, прошедших после 1981 г.

Пример 5.3. Вычислить $i_{гр}^*$ и δ^* звезды Альтаир на 27 мая 1988 г. в $T_{гр} = 23^h 18^m 54^s$.

1. Расчеты по пп. 1, 2 и 3 к задаче 5.1 дают $S_{гр} = 235,027^\circ$.

Из табл. 5.6 для звезды Альтаир на 1981 г. $\tau^* = 62,528^\circ$; $\Delta\tau^* = -0,0122^\circ$; $\delta^* = 8,820^\circ N$; $\Delta\delta^* = +0,0026^\circ$. Число лет после 1981 г. $n = 17$:

$$i_{гр}^* = 235,027^\circ + 62,528^\circ +$$

$$+ 17(-0,0122^\circ) = 297,348^\circ;$$

$$\delta^* = 8,820^\circ N + 17(+0,0026^\circ) = 8,864^\circ N.$$

Звездное время, координаты Солнца и звезд, вычисленные описанным способом по табл. 5.3—5.6, получаются в градусах с десятичными долями, что облегчает их дальнейшее использование при решении параллактических треугольников на микрокалькуляторе.

5.7.1. Секстан, его выверки и погрешности

На судах применяются секстаны СНО-М (секстан навигационный с осветителем модернизированный) массой 1,35 кг с одной трубой $7,5\times$ и полем зрения 8° , дающей перевернутое изображение, и секстан СНО-Т (СНО в тропическом исполнении) массой 1,5 кг с двумя трубами: дневной $6\times$ (поле зрения $6,5^\circ$, изображение перевернутое) и ночной $4\times$ (поле зрения 8° , изображение прямое). Теория и название деталей обоих секстанов одинаковы. Секстан СНО-Т отличается от СНО-М улучшенной технологией изготовления, усовершенствованной конструкцией оси вращения алидады, которая расположена под рамой секстана, и наличием кожуха тангенциального винта.

Секстан требует бережного обращения: его можно брать только за раму или рукоятку, а ставить — только на ножки. Особое внимание надо обращать на зубчатый сектор рамы и тангенциальный винт, которые надо регулярно чистить и смазывать. Вскрывать и смазывать ось вращения алидады запрещается.

В судовых условиях выполняют следующие **выверки секстана**: проверку положения трубы (для СНО-М и дневной СНО-Т) — перед плаванием, но не реже чем через 3 мес; проверку перпендикулярности большого и малого зеркал (в указанной последовательности) к плоскости лимба — не реже раза в неделю и при подозрении, что установка зеркал нарушена. Поправку индекса секстана необходимо определять каждый раз непосредственно до или после измерения высот светил.

Для проверки положения трубы секстан ставят на неподвижное основание, устанавливают на нем отфокусированную по глазу трубу, у концов лимба ставят на него диоптры. Если удаленный предмет (его деталь), визируемый по верхним срезам диоптра, оказывается в центре поля зрения трубы, то она установлена правильно — ее ось параллельна плоскости лимба. В противном случае регулируют положение трубы с помощью винтов на ее соединительном кольце.

Для проверки перпендикулярности большого зеркала к плоскости лимба секстан без трубы ставят на горизонтальное основание,

Таблица 5.5. Значения τ^{\odot} на $T_{гр}=0$, 1981 г.

Год		τ^{\odot}	$\Delta\tau^{\odot}$	τ^{\odot}	$\Delta\tau^{\odot}$	τ^{\odot}	$\Delta\tau^{\odot}$	τ^{\odot}	$\Delta\tau^{\odot}$
прос- той	висо- кос- ный	Январь		Февраль		Март		Апрель	
Число									
—	1	79,698	—1,105	—	—	—	—	—	—
1	2	78,593	—1,102	45,495	—1,016	18,170	—0,934	349,727	—0,912
4	5	75,285	—1,097	42,448	—1,006	15,367	—0,930	346,992	—0,914
7	8	71,993	—1,091	39,432	—0,995	12,577	—0,924	344,250	—0,917
10	11	68,720	—1,084	36,447	—0,985	9,805	—0,920	341,500	—0,920
13	14	65,468	—1,076	33,492	—0,976	7,047	—0,916	338,740	—0,923
16	17	62,240	—1,067	30,565	—0,967	4,298	—0,913	335,970	—0,927
19	20	59,040	—1,058	27,665	—0,958	1,558	—0,910	333,188	—0,933
22	23	55,865	—1,048	24,790	—0,953	358,827	—0,910	330,390	—0,938
25	26	52,720	—1,039	21,938	—0,943	356,097	—0,910	327,575	—0,944
28	29	49,603	—1,027	19,108	—0,938	353,367	—0,910	324,742	—0,952

Продолжение табл. 5.5

Год		τ^{\odot}	$\Delta\tau^{\odot}$	τ^{\odot}	$\Delta\tau^{\odot}$	τ^{\odot}	$\Delta\tau^{\odot}$	τ^{\odot}	$\Delta\tau^{\odot}$
про- стой	висо- кос- ный	Май		Июнь		Июль		Август	
Число									
1	—	321,887	—0,958	291,197	—1,026	260,128	—1,033	228,915	—0,968
4	—	319,012	—0,964	288,118	—1,029	257,028	—1,029	226,012	—0,961
7	—	316,118	—0,972	285,030	—1,034	253,942	—1,024	223,130	—0,952
10	—	313,202	—0,978	281,928	—1,036	250,870	—1,019	220,273	—0,946
13	—	310,267	—0,986	278,820	—1,038	247,813	—1,013	217,437	—0,938
16	—	307,310	—0,993	275,707	—1,040	244,775	—1,006	214,622	—0,932
19	—	304,330	—0,999	272,588	—1,040	241,757	—0,995	211,827	—0,926
22	—	301,332	—1,006	269,468	—1,039	238,758	—0,993	209,048	—0,920
25	—	298,313	—1,013	266,352	—1,038	235,780	—0,986	206,287	—0,915
28	—	295,275	—1,020	263,237	—1,036	232,823	—0,977	203,542	—0,910

Окончание табл. 5.5

Год		τ^{\odot}	$\Delta\tau^{\odot}$	τ^{\odot}	$\Delta\tau^{\odot}$	τ^{\odot}	$\Delta\tau^{\odot}$	τ^{\odot}	$\Delta\tau^{\odot}$
прос- той	висо- кос- ный	Сентябрь		Октябрь		Ноябрь		Декабрь	
Число									
1	—	199,902	—0,906	172,905	—0,907	143,898	—0,983	113,167	—1,083
4	—	197,183	—0,902	170,185	—0,911	140,950	—0,993	109,768	—1,089
7	—	194,477	—0,900	167,452	—0,916	137,727	—1,000	106,502	—1,096
10	—	191,777	—0,897	164,705	—0,921	134,960	—1,013	103,215	—1,100
13	—	189,085	—0,897	161,942	—0,928	131,920	—1,025	99,915	—1,105
16	—	186,395	—0,897	159,157	—0,935	128,845	—1,036	96,600	—1,108
19	—	183,705	—0,897	156,352	—0,943	125,738	—1,046	93,275	—1,109
22	—	181,015	—0,899	153,522	—0,951	122,602	—1,056	89,947	—1,111
25	—	178,317	—0,901	150,668	—0,960	119,435	—1,066	86,615	—1,109
28	—	175,615	—0,903	147,787	—0,972	116,238	—1,074	83,287	—1,108

Таблица 5.6. Координаты звезд на 1 июля 1981 г.

№ МАЕ	Обозначение в созвездии	Собственное имя	Вели- чина	τ^*	$\Delta\tau^*$	δ^*	$\Delta\delta^*$
1	α Андромеды	Альферас	2,2	358,145	-0,0129	28,985N	+0,0056
2	β Кассиопеи	Кафф	2,4	357,955	-0,0131	59,042N	+0,0056
7	β Кита	Дифда	2,2	349,338	-0,0125	18,088S	-0,0055
11	α Эридана	Ахернар	0,6	335,752	-0,0092	57,328S	-0,0051
20	α Персея	Мирфак	1,9	309,262	-0,0179	49,792N	+0,0035
24	α Тельца	Альдебаран	1,1	291,295	-0,0143	16,470N	+0,0020
27	β Ориона	Ригель	0,3	281,597	-0,0120	8,223S	-0,0011
28	α Возничего	Капелла	0,2	281,183	-0,0184	45,978N	+0,0011
40	α Ориона	Бетельгейзе	-1,2	271,467	-0,0135	7,403N	+0,0001
44	α Арго	Канопус	-0,9	264,125	-0,0056	52,687S	+0,0006
46	α Большого Пса	Сириус	-1,6	258,927	-0,0111	16,692S	+0,0011
55	α Малого Пса	Процион	0,5	245,427	-0,0131	5,273N	-0,0023
56	β Близнецов	Поллукс	1,2	243,965	-0,0153	28,072N	-0,0025
67	α Льва	Регул	1,3	208,160	-0,0134	12,060N	-0,0049
72	α Большой Мед- ведицы	Дубхе	2,0	194,363	-0,0154	61,857N	-0,0054
86	β Южного Креста	Мимоза	1,5	168,343	-0,0147	59,590S	+0,0054
92	α Девы	Спика	1,2	158,948	-0,0132	11,063S	+0,0052
99	α Волопаса	Арктур	0,2	146,297	-0,0113	19,282N	-0,0052
102	α Центавра	Ригиль	0,3	140,412	-0,0192	60,760S	+0,0043
		Кентаврус					
117	α Скорпиона	Антарес	1,2	112,932	-0,0153	26,392S	+0,0022
139	α Лиры	Вега	0,1	80,917	-0,0085	38,767N	+0,0009
146	α Орла	Альтаир	0,9	62,528	-0,0122	8,820N	+0,0026
148	α Павлина	Пикок	2,1	53,950	-0,0197	56,793S	-0,0033
149	α Лебедя	Денеб	1,3	49,795	-0,0085	45,212N	+0,0036
157	α Южной Рыбы	Фомальхаут	1,3	15,845	-0,0137	29,718S	-0,0054
—	α Малой Медве- дицы	Полярная	2,1	326,858	-0,2008	89,173N	+0,0047

устанавливают отсчет около 35° , на лимб у его концов ставят диоптры. Наблюдатель смотрит со стороны большого зеркала так, чтобы видеть левый диоптр выступающим из-за правого края этого зеркала. Правый диоптр передвигают по лимбу так, чтобы видеть его в большом зеркале у его правого края. Если верхние срезы диоптров на одном уровне, то зеркало установлено правильно. В противном случае его положение регулируют, поворачивая имеющийся на нем винт ключом из комплекта секстана.

Для проверки перпендикулярности малого зеркала к плоскости лимба, после того, как выверено большое, секстан вооружают трубой, устанавливают отсчет 0° и наводят на светило. Если при вращении отсчетного барабана дважды отраженное изображение светила проходит, перекрывая точно прямовидное, то малое зеркало установлено правильно. В противном случае его положение регулируют, поворачивая имеющийся на нем верхний (когда секстан стоит на ножках) винт.

Поправкой индекса секстана i называется разность между нулевым отсчетом (равен 360°) и отсчетом индекса oi , получаемым при совмещении обоих изображений одного предмета:

$$i = 360^\circ - oi \text{ или } i = 0^\circ - oi. \quad (5.89)$$

Для определения поправки индекса по звезде устанавливают $os \approx 0$, наводят секстан на звезду, вращением барабана добиваются точного совмещения обоих изображений, снимают отсчет oi и рассчитывают поправку i по формуле (5.89). Аналогично определяют поправку индекса по горизонту или по удаленному предмету с четко очерченными краями. Для определения поправки индекса по Солнцу перед зеркалами накладывают светофильтры, секстан наводят на Солнце и вращением барабана добиваются поочередного касания сверху и снизу дважды отраженного изображения диска Солнца с прямовидным. Среднее из двух получаемых отсчетов дает oi , что служит для расчетов i по формуле (5.89). Для контроля разность тех же отсчетов, деленная на четыре, сравнивается с полудиаметром Солнца из МАЕ на дату. Наблюдения удовлетворительны, если расхождение не более $0,1'$.

Для уменьшения поправки индекса секстана (если она больше $6'$) устанавливают $os = 0^\circ 0'$, наводят секстан на удаленный более чем на милю предмет (светило, горизонт), не изменяя отсчет секстана, совмещают оба изображения предмета, вращая нижний (когда секстан стоит) винт на малом зеркале. После этого проверяют перпендикулярность малого зеркала к плоскости лимба и определяют новую уменьшенную поправку индекса.

Инструментальные погрешности секстана определяют для разных отсчетов на поверочном приборе и вносят в аттестат секстана с обратным знаком в виде инструментальных поправок s . Таблицу поправок s рекомендуется выписать из аттестата и наклеить изнутри на крышку ящика секстана. Фактическая инструментальная поправка может отличаться от указанной в аттестате на $0,5'$ и более, к тому же она изменяется со временем. Поэтому, секстан надо регулярно сдавать в навигационную камеру на переаттестацию.

Поправкой секстана называется алгебраическая сумма $i+s$.

5.7.2. Исправление высот светил

Во всех случаях отсчет секстана первоначально исправляют его поправкой $i+s$, что дает измеренную высоту h' светила (или его края):

$$h' = oc + i + s. \quad (5.90)$$

Измеренная высота, исправленная всеми поправками, называется *обсервованной высотой* h_o светила.

Если высота измерена над видимым горизонтом, то ее надо уменьшить на величину наклона горизонта d (измеренную наклономером или из табл. 11-а МТ—75), а если высота измерена над береговой чертой или ватерлинией другого судна, то вместо d ее надо уменьшить на величину наклона зрительного луча d_n (из табл. 11-б МТ—75), что дает в обоих случаях *видимую высоту* светила h_b :

$$h_b = h' - d \text{ или } h_b = h' - d_n.$$

Далее видимую высоту любого светила исправляют поправкой Δh_p за рефракцию (всегда отрицательна), для планет дополнительно вводят поправку Δh_p за параллакс (всегда положительна), для Солнца и Луны, кроме перечисленных, учитывают поправку за полудиамер R (положительна для нижнего края и отрицательна для верхнего). Для всех светил при высотах менее 30° дополнительно вводят поправки за температуру и давление воздуха (из табл. 14-а и 14-б МТ—75). Все поправки для исправления видимой высоты объединены в общие поправки для Солнца (табл. 8 МТ—75) и для Луны (табл. 10 МТ—75). Кроме МТ—75 исправление высот светил можно производить по таблицам ВАС-58 и ТВА-57. Рекомендуется исправлять высоты по тем же таблицам, по которым решают параллактические треугольники.

Если решение параллактических треугольников и вычисление координат Солнца или звезд выполняются без таблиц и МАЕ на микрокалькуляторе, то целесообразно использовать его и для исправления высот, вычисляя поправки по следующим формулам:

$$d = 1,76 \sqrt{e};$$

$$\Delta h_p = 0,97' / \operatorname{tg} h_b \text{ при } h_b \geq 10^\circ; \quad (5.91)$$

$$\Delta h_p^{\odot} = 0,15' \cos h_b;$$

$$R^{\odot} = 16' + 0,2' \cos N, \quad (5.92)$$

где все поправки в минутах дуги, а N — число градусов, равное номеру дня в году. Практически формулами (5.92) можно не пользоваться, пренебрегая поправкой $\Delta h_p \leq 0,15'$ и принимая всегда $R^{\odot} = 16'$.

5.7.3. Оценка точности измерений высот

Точность измерений высот светил оценивается средней квадратической погрешностью m (обозначают также ϵ и σ), которая характеризует рассеивание результатов измерений (см. 7.1.3). В среднем 68,3% из них имеют действительные, но неизвестные погрешности, не превышающие по абсолютной величине среднюю квадратическую. Для ее определения необходимо измерить серию из 7—11 высот светила и привести их к одному моменту, а на ходу судна — и к одному месту (зениту).

Для приведения к одному моменту T_o надо каждую высоту (отсчет секстана) серии, измеренную в момент T_i , изменить на величину Δh_T :

$$\Delta h_T = \Delta h_T^{10} (T_o - T_i)^{10}, \quad (5.93)$$

где Δh_T^{10} — изменение высоты за 10^c (положительно до кульминации, отрицательно — после); выбирается из табл. 17 МТ—75.

Интервал времени $(T_o - T_i)^{10}$ выражается в десятках секунд. Необходимый для выборки из табл. 17 МТ—75 азимут A получают пеленгованием светила в момент T_o или вычислением его на этот момент.

Для приведения к одному месту (зениту) судна на момент T_o надо каждую высоту (отсчет секстана) серии, измеренную на ходу судна в момент T_i , изменить на величину Δh_z :

$$\Delta h_z = \Delta h_v (T_o - T_i)^M, \quad (5.94)$$

где Δh_v — изменение высоты за одну минуту плавания (положительно, если светило впереди траверза, отрицательно, если позади), выбирается из табл. 16 МТ—75, а интервал времени $(T_o - T_i)^M$ выражается в минутах с долями.

При использовании микрокалькулятора формулы (5.93) и (5.94) объединяют:

$$\Delta h_{T+z} = \Delta h^1 (T_o - T_i)^M, \quad (5.95)$$

где Δh^1 — суммарное изменение высоты светила за 1 мин; вычисляют один раз по формуле

$$\Delta h^1 = 15 \cos \varphi \sin A + \frac{V}{60} \cos (A - \text{ПУ}), \quad (5.96)$$

а затем поочередно умножают на интервалы $(T_o - T_i)^M$ в минутах с долями в соответствии с формулой (5.95).

Моментом приведения T_0 удобно принимать один из моментов измерений T_i в середине серии.

Приведенные к одному моменту и месту отсчеты секстана не вполне совпадают друг с другом из-за случайных погрешностей измерений и служат для оценки средней квадратической величины таких погрешностей высоты светила e_h либо по формуле Бесселя, либо по размаху.

Формула Бесселя и способ размаха неприемлемы к одиночным измерениям или для оценки возможных значений систематической погрешности, повторяющейся во всех измерениях серии. Поэтому точность измерений для определений места следует оценивать на основе обобщения результатов специальных массовых исследований и личного опыта — такие оценки называют *априорными*. Значения априорных средних квадратических погрешностей измерений высот светил: случайных для Солнца и Луны $e_h = 0,5'$; случайных для звезд и планет $e_h = 0,8'$; повторяющихся для всех светил $\Delta_h = (1-1,5)'$.

При определении места по высотам светил действие повторяющейся погрешности, одинаковой в данных условиях для всех высот, учитывается отдельно от случайных, как об этом сказано в следующей главе.

При использовании одной астрономической линии положения полная (случайная совместно с повторяющейся) средняя квадратическая погрешность высоты светила

$$m_h = \sqrt{\frac{e_h^2}{n} + \sigma_h^2}, \quad (5.97)$$

где n — число осредняемых измерений в серии.

Вместо вычислений по этой формуле можно отложить e_h/n и σ_h вдоль сторон прямого угла в одинаковом масштабе — расстояние между полученными точками дает в том же масштабе искомое значение m_h .

Формула (5.97) показывает, что увеличение числа измерений в серии мало повышает точность среднего. Однако это не означает, что надо ограничиваться одиночными измерениями: два измерения позволяют только обнаружить грубую ошибку (промах), а три дают возможность выявить ее и исключить из дальнейших расчетов.

5.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА СУДНА И ПОПРАВКИ КОМПАСА

5.8.1. Определения места по одновременным наблюдениям светил

Одновременными условно называют наблюдения двух и более светил, выполняемые в быстрой последовательности. Такие наблюдения обычны для сумерек при определениях по звездам и (или) планетам, а в периоды квадратур возможны определения по одновремен-

ным наблюдениям Солнца и Луны. Общим для всех таких определений места является то, что перемещение судна за время между измерениями высот учитывается приведением их к одному месту (зениту). Различаются такие определения по числу наблюдаемых светил, от чего зависит наимыгоднейшая разность их азимутов, выбор места относительно фигуры погрешностей и оценка точности результатов.

Порядок действий при определении места по одновременным наблюдениям светил:

подобрать светила с наимыгоднейшей разностью азимутов — $50-70^\circ$ для двух светил, примерно по 120° для трех и по 90° для четырех светил;

измерить в быстрой последовательности высоты светил (желательно по 3—5 раз каждого), замечая моменты по хронометру;

замечать судовое время T_c и отсчет лага, снять с карты счислимые координаты судна φ_c и λ_c на этот момент, записать курс IK и скорость V ;

определить поправку индекса секстана (можно до наблюдений) и, если позволяют условия, измерить наклонение горизонта;

если измерения выполнялись сериями, то найти средние из моментов по хронометру и отсчетов секстана для каждого светила;

найти приближенное время и дату на Гринвиче по T_c и номеру часового пояса, рассчитать точные моменты $T_{гр}$ по хронометру и его поправке для каждого измерения высоты или среднего из серии;

определить координаты светил $t_{гр}$ и δ на дату и моменты $T_{гр}$;

решить параллактические треугольники и перевести азимут A в круговой счет;

исправить высоты светил и привести их к одному месту (зениту), которому соответствуют T_c и ол;

рассчитать переносы h_o-h_c , проложить линии положения, найти обсервованное место и невязку;

оценить точность полученной обсервации.

Выполнение перечисленных операций, кроме двух последних, описано в предыдущих параграфах раздела.

Прокладка всех линий положения выполняется одинаково: через счислимую точку проводят линию азимута, отмечая стрелкой направление на светило; вдоль этой линии откладывают перенос h_o-h_c в сторону светила (если он положителен) или в противоположную (если он отрицателен); через полученную определяющую точку проводят перпендикуляр по линии азимута высотную линию положения (ВЛП). Прокладку лучше всего выполнять на карте, на которой ведут счисление, и в том же масштабе. При прокладке на бумаге произвольную точку принимают счислимой, от нее откладывают по линиям азимутов переносы в одинаковом масштабе и в том же масштабе измеряют разность широт $\Delta\varphi$ и отстояние $\Delta\omega$ между счислимой и обсервованной точками, а также величину невязки C между ними. Величину $\Delta\omega$ переводят в разность долгот $\Delta\lambda=$

$=\Delta\omega \sec \varphi_c$ (табл. 25-а МТ—75) и вычисляют наблюдаемые координаты:

$$\varphi_o = \varphi_c + \Delta\varphi; \quad \lambda_o = \lambda_c + \omega\lambda. \quad (5.98)$$

В широтах до 70° часто пользуются угловым масштабом: строят угол, равный счислимой широте, вдоль его наклонной шкалы выбирают масштаб расстояний, по которому измеряют $h_o - h_c$, $\Delta\varphi$ и C , а проекция этой шкалы на горизонтальную сторону угла дает шкалу измерения $\Delta\lambda$.

При *определениях по двум светилам* observed место принимают в точке пересечения их линий положения. Средняя квадратическая погрешность места M зависит от разности азимутов $\Delta A = A_2 - A_1$ светил по формуле Каврайского:

$$M = \sqrt{\frac{2\varepsilon_h^2}{\sin^2 \Delta A} + \frac{\sigma_h^2}{\cos^2 \frac{\Delta A}{2}}}, \quad (5.99)$$

где ε_h и σ_h — средние квадратические значения случайных и повторяющихся погрешностей высот (см. параграф 5.7.3).

Круг радиуса M с центром в observed месте содержит действительное место с вероятностью 63—68%. Если радиус этого круга увеличить вдвое, то вероятность захвата им действительного места возрастает примерно до 95%.

Пример 5.4. 10.09.83 г. $T_c = 18,23$; ол = 63,4; $\varphi_c = 40^\circ 14,1' N$; $\lambda_c = 9^\circ 40,3' W$. Выполнены одновременные наблюдения двух светил. В результате вычислений получены следующие элементы линий положения I и II: $A_1 = 238,0^\circ$; $(h_o - h_c)_1 = -2,5'$; $A_2 = 202,4^\circ$; $(h_o - h_c)_2 = +1,0'$. Определить место и оценить точность, принимая $\varepsilon_h = 0,8'$ и $\sigma_h = 1,2'$.

Прокладка на клетчатой бумаге без углового масштаба показана на рис. 5.22, измере-

ния на котором дают: $\Delta\omega = 4,9'$ E, откуда по табл. 25-а МТ—75 получаем $\Delta\lambda = 6,4'$ E. Далее по формулам (5.98):

φ_c	$40^\circ 14,1' N$	λ_c	$9^\circ 40,3' W$
$\Delta\varphi$	$3,1S$	$\Delta\lambda$	$6,4E$
φ_o	$4011,0N$	λ_o	$933,9W$

Измерением на рис. 5.22 получаем $C = 123^\circ - 5,8$ мили. По формуле (5.99) средняя квадратическая погрешность места $M = 2,3'$, а примерно 95-процентный круг погрешностей с радиусом $2M = 4,6$ мили показан на рис. 5.22.

При *определениях по трем светилам* порядок действий остается таким же, как описано выше. Однако вследствие неизбежных погрешностей измерений высот светил линии положения, как правило, не пересекаются в одной точке, а образуют треугольник погрешностей — возникает задача выбора observed места относительно этого треугольника. Такой выбор зависит от распределения азимутов светил.

Если азимуты распределены примерно равномерно по всему горизонту (их попарные разности примерно по 120°), то observed место следует принимать в центре треугольника погрешностей на пересечении его биссектрис. При таком расположении светил и выборе места действие повторяющихся погрешностей исключается, а случайных — максимально ослабляется. Средняя квадратическая погрешность M места составляет при этих условиях от 1,2 до 1,5 среднего квадратического значения случайных погрешностей высот ε_h (меньше, если треугольник равносторонний), а 95-процентная круговая погрешность $R = 1,8 M$.

Пример 5.5. 27.09.83 г. $T_c = 5,00$; ол = 36,5; $\varphi_c = 16^\circ 39,6' S$; $\lambda_c = 80^\circ 05,3' E$. В результате обработки наблюдений трех звезд получены следующие элементы линий положения: $A_1 = 168,0^\circ$; $(h_o - h_c)_1 = +1,4'$; $A_2 = 294,4^\circ$; $(h_o - h_c)_2 = -5,7'$; $A_3 = 55,0^\circ$; $(h_o - h_c)_3 = +3,1'$. Определить место и оценить его точность 95-процентным кругом погрешностей, принимая $\varepsilon_h = 0,8'$.

Прокладка на клетчатой бумаге с угловым масштабом показана на рис. 5.23. Observed место выбрано на пересечении биссектрис треугольника погрешностей. Измерения на рис. 5.23 дают: $\Delta\varphi = 1,0' S$; $\Delta\lambda = 5,4' E$; $C = 100^\circ - 5,2$ мили. По формулам (5.98) получены observed координаты места: $\varphi_o = 16^\circ 40,6' S$; $\lambda_o = 80^\circ 10,7' E$. Так как треугольник погрешностей не равносторонний, то принимаем $M = 1,2 \varepsilon_h$, откуда $R = 1,8$ мили.

Если азимуты расположены в одной половине горизонта, что может быть, когда часть неба закрыта облаками, то для получения observed места сначала надо построить точки пересечения антимедиан и астрономических биссектрис треугольника погрешностей.

Чтобы найти точку пересечения антимедиан, надо все стороны треугольника сместить внутрь (или все наружу) на расстояния, пропорциональные их длинам. Прямые, проходя-

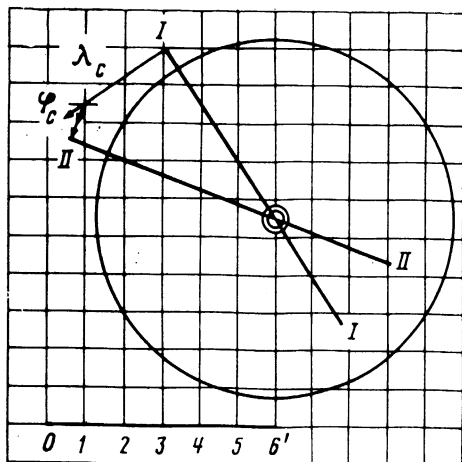


Рис. 5.22

щие через соответствующие вершины старого и нового треугольников — антимедианы, которые все пересекаются в одной искомой точке и поэтому достаточно построить две любые из них (эта точка была бы наиболее вероятным местом, если бы не было случайных погрешностей).

При совместном действии случайных и повторяющихся погрешностей, как это всегда бывает в действительности, наиболее вероятное место, принимаемое obserвационной точкой O (рис. 5.24), находится на отрезке ab между точками пересечения антимедиан a и астрономических биссектрис b на расстоянии от первой из них aO , меньшем, чем весь отрезок ab , во столько же раз, во сколько разность азимутов крайних светил ΔA меньше ее дополнения до 360° :

$$\frac{aO}{ab} = \frac{\Delta A}{360^\circ - \Delta A}. \quad (5.100)$$

При этом средняя квадратическая погрешность места $M \approx 2,5\epsilon_h$. Это правило справедливо для обычных условий, когда повторяющиеся погрешности примерно вдвое больше случайных, т. е. $\sigma_h \approx 2\epsilon_h$. Если же, как реже бывает, названные погрешности примерно равны ($\sigma_h \approx \epsilon_h$), то, пользуясь тем же правилом, надо брать удвоенное дополнение до 360° разности азимутов крайних светил, а средняя квадратическая погрешность места в таких условиях $M \approx 1,8\epsilon_h$. Во всех случаях наблюдения светил над одной половиной горизонта 95-процентный круг погрешностей имеет радиус $R = 1,9 M$.

Пример 5.6. В результате обработки наблюдений трех светил получены следующие элементы линий положения: $A_1 = 29^\circ$; $(h_o - h_c)_1 = +4,4'$; $A_2 = 74^\circ$; $(h_o - h_c)_2 = +5,3'$; $A_3 = 106^\circ$; $(h_o - h_c)_3 = +1,7'$. Принимая $\sigma_h = 2\epsilon_h = 1,2'$, найти obserвационное место и оценить его точность.

Прокладка линий положения показана на рис. 5.24. Сместив линии положения на четверть длин сторон треугольника (на рис. 5.24 смещенные линии I и II проведены не полностью), построили антимедианы, пересечение которых дает точку a внутри треугольника погрешностей. У вершин треугольника стрелками отмечены направления на светила и проведены астрономические биссектрисы (на рис. 5.24 только две из них), точка пересечения которых b расположена вне треугольника погрешностей. Разность азимутов крайних светил $\Delta A = 77^\circ$, поэтому в соответствии с приведенным выше правилом для случая $\sigma_h \approx 2\epsilon_h$ находим $77^\circ : (360^\circ - 77^\circ) \approx 1/4$. Следовательно, obserвационное место находится на отрезке ab между точками пересечения антимедиан a и астрономических биссектрис b на $1/4$ его длины от первой из этих точек. Средняя квадратическая погрешность места $M \approx 2,5\epsilon_h$ мили, а 95-процентный круг погрешностей имеет радиус $R = 2,9$ мили.

При определении по четырем светилам, если они правильно подобраны (по противоположным взаимоперпендикулярным направлени-

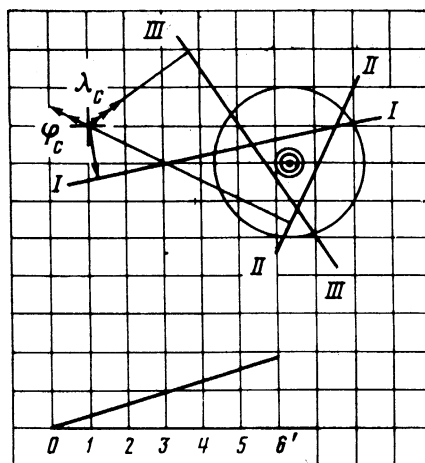


Рис. 5.23

ям) и нет грубых ошибок, линии положения образуют близкий к правильному четырехугольник — obserвационное место следует принимать в точке пересечения линий, соединяющих середины его противоположных сторон. При этом повторяющиеся погрешности исключаются, а случайные максимально ослабляются. Средняя квадратическая погрешность места оценивается величиной $M \approx 0,7\epsilon_h$, а радиус 95-процентного круга погрешностей $R = 1,7M$, т. е. $R = 1,2\epsilon_h$.

В северном полушарии при определении места по высотам звезд и (или) планет в число наблюдаемых светил часто включают Полярную звезду, что несколько упрощает вычисления. При этом подбор светил, расчеты и прокладка их линий положения, приведенные к одному месту (зениту), выбор места относи-

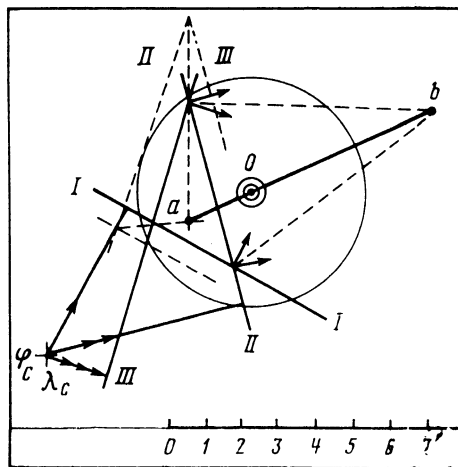


Рис. 5.24. Совместное действие случайных и повторяющихся погрешностей

Над морями относительная влажность практически постоянна. Ее суточный и годовой ход обычно противоположен таковому для температуры. Температура, при которой в воздухе с заданной абсолютной влажностью наступает насыщение, называется точкой росы.

Облака — скопление мельчайших капель или кристаллов льда в высоких слоях атмосферы. В суточном ходе облачности летом наблюдаются два максимума — рано утром и после полудня; зимой — утром и ночью. Облака делятся на три класса: нижнего (высота ниже 2 км), среднего (высота от 2 до 6 км) и верхнего (высота более 6 км) ярусов. Облачность измеряется в баллах от 0 до 10 в зависимости от того, сколько десятых частей неба закрыто облаками.

Видимость — предельное расстояние, дальшее которого наблюдаемый объект сливается с фоном и становится невидимым. Для оценки видимости пользуются специальной шкалой (приведена в МТ—75).

Туманы — скопление продуктов конденсации водяного пара в слоях воздуха, близких к поверхности Земли.

Атмосферное давление — давление воздуха. Нормальное давление воздуха уравнивает столб ртути в 760 мм на уровне моря в широте 45° при температуре 0°C. В различных точках определенного горизонтального уровня давление воздуха может быть различным: разность таких давлений в сторону наибольшего их падения называют **барическим градиентом**, а определяемое расположением изобар распределение давлений на каком-либо горизонтальном уровне — **барическим полем**. Тип изменения давления характеризуется системами расположения изобар, определяющими формы барического рельефа.

Ветер — горизонтальное перемещение воздуха, вызванное разностью атмосферного давления. На экваторе направление ветра совпадает с барическим градиентом; к северу и к югу от экватора ветер отклоняется от направления такого градиента вправо в северном и влево в южном полушарии (силы Кориолиса и центробежные). Сила ветра зависит от величины барического градиента и определяется его скоростью.

Циркуляция атмосферы. Воздушные массы — арктическая (антарктическая), полярная, тропическая, экваториальная — делятся на морские и континентальные и называются **холодными** (когда воздух движется над более теплой подстилающей поверхностью), **теплыми** (когда воздух перемещается над более холодной поверхностью) или **местными** (тепловое равновесие с окружающей средой).

В холодной воздушной массе ветер порывистый, неустойчивый, видимость хорошая, но возможны ливни с грозой. В теплых воздушных массах ветер у поверхности ровный, видимость ухудшена, наблюдается адвективный туман или сплошная облачность с морозящими осадками.

Атмосферные фронты — места соприкосновения двух воздушных масс, обладающих раз-

личными физическими свойствами. В зонах фронтов наблюдаются наиболее сложные условия погоды: мощная облачность, осадки, грозы, усиление ветра, ухудшение видимости и др. **Теплый фронт** возникает при наплывании теплой воздушной массы на холодную. Давление перед таким фронтом падает, появляются перистые облака с «коготками». Перед теплым фронтом наблюдаются туманы, а после прохождения зоны теплого фронта — обложной дождь или снег с пониженной видимостью. **Холодный фронт** возникает, когда холодные воздушные массы вклиниваются в теплые. Он наступает «стенной» ливневых облаков. Давление перед фронтом значительно падает. При встрече с холодным фронтом судно попадает в зону ливней, гроз, шквалов и сильного волнения. Если же клин холодного воздуха «подсекает» теплые массы медленно, то за линией такого холодного фронта судно попадает в зону обложных осадков, с резким понижением температуры и видимости. Теплый и холодный фронты могут смыкаться так, что образуют сложный комплексный фронт окклюзий, проходя который, судно может попасть в условия пониженной видимости, осадков, сильного ветра и волнения.

Циклоны и антициклоны. Внетропический циклон — замкнутая область пониженного давления, с наименьшим давлением в центре, зарождающаяся на границе двух масс воздуха разной температуры. Движение воздуха в циклоне вихревое: против часовой стрелки в северном полушарии и по часовой стрелке — в южном. Диаметр циклона от нескольких сот до 5000 км; давление в центре около 980—900 мбар; средняя скорость перемещения 30—60 км/ч.

Антициклон — область повышенного давления, в которой воздух циркулирует по часовой стрелке в северном полушарии и против часовой стрелки — в южном. Диаметр антициклона в среднем около 2000 км; давление в центре порядка 1015—1030 мбар. Гидрометеороусловия плавания в нем гораздо более благоприятные, чем в циклонах.

Тропический циклон имеет диаметр от 150 до 1000 км с поперечником центральной его части в 15—40 км. Барический градиент превышает 40 мбар на 150 км, а скорость ветра свыше 100 км/ч. Скорость перемещения от 5—10 уз в начальный период до 20—30 уз в зрелой стадии. Чаще всего, до 23 раз в год, возникают восточноазиатские тайфуны.

Признаком приближения тайфуна является появление зыби, идущей не от того направления, от которого дует или дул ветер. Атмосферное давление резко падает, перистые облака сменяются нагромождением ливневых; наступает предгрозовое затишье с удушливой жарой. Затем температура воздуха быстро падает, начинается дождь, переходящий в тропический ливень. Сила ветра нарастает от 6—7 баллов при расстоянии до центра циклона в 350—500 км, до 12 баллов и более — при расстоянии 50—60 км.

5.9.2. Влияние гидросферных явлений на мореплавание

Статика моря. *Соленость* — общее количество всех растворенных в морской воде твердых веществ в граммах на 1 кг воды; выражается в промилях (‰).

Плотность вместе с соленостью влияет на горизонтальное и вертикальное перемещения вод океана, распространение звука и другие процессы; на поверхности Мирового океана изменяется от 1,0275 до 1,0220 т/см³.

Цвет зависит от количества примесей: от синего — в тропиках до зеленоватого — в полярных широтах. Наибольшая прозрачность в Саргассовом море — 66,5 м; наименьшая в Северном — до 6,5 м.

Средняя температура поверхности Мирового океана +17,4°C; средняя температура воздуха на земном шаре +14,3°C. На поверхности воды наибольшая температура наблюдается обычно между 15 и 16 ч; наименьшая — через несколько часов после захода Солнца. Температура замерзания морской воды

$$t = -0,05S, \quad (5.107)$$

где S — соленость, ‰.

Льды бывают неподвижные (ледяной забор, припай, стояк, стамуха) и плавучие, или дрейфующие (ледяные поля, битый лед, ледяная каша). Сплоченность льда — соотношение площадей льдин и промежутков воды между ними; проходимость — возможность самостоятельного плавания во льдах судов различных типов.

Торосы — нагромождения льдин, обычно смерзшихся. Айсберги (ледяные горы) проникают в умеренные и даже в тропические широты; приближение к ним опасно из-за наличия подводных таранов и их способности внезапно переворачиваться.

Динамика моря. Скорость волны c — расстояние, пробегаемое волной за одну секунду. Длина волны λ — расстояние по горизонтали между двумя последовательными вершинами или подошвами волны. Высота волны h — расстояние по вертикали от вершины до подошвы волны. Период волны t — промежуток времени, за который волна проходит расстояние, равное ее длине.

На советских картах глубины показываются от наименьшего теоретического уровня — наименьшего из возможных по астрономическим условиям, т. е. ниже которого вода практически никогда не падает. На иностранных картах за основную поверхность, от которой даются отметки глубин, т. е. за нуль глубин, принимают другие уровни. Положение действующего приливного уровня по отношению к нулю глубин (наименьшему теоретическому уровню) называется высотой прилива.

Величина прилива — разность уровней соседних полной и малой вод. Средний уровень моря — величина, полученная в результате осреднения систематических наблюдений за колебаниями уровня в данном месте в течение 18,6 года.

Приливо-отливные течения описываются таблицами, помещаемыми на картах. При пользовании ими особое внимание следует обратить на выбор скорости течения по возрасту Луны, а также на выбор из Таблиц приливов времени полной воды в основном пункте.

5.9.3. Метеорологический (морской) бюллетень

Гидрометеорологическое обеспечение мореплавания состоит в обеспечении судоводителей всеми видами справочных и расчетных климатических гидрометеопособий, а также в передаче для них по радио метеорологических бюллетеней и факсимильных карт (фактических и прогнозных) погоды и состояния моря. Капитан судна может обратиться в ближайший метеоцентр для получения дополнительной информации (уточненный прогноз погоды, ледовая обстановка и т. д.). Разновидностью такого обеспечения является обслуживание судов рекомендациями по наивыгоднейшим путям плавания, осуществляемое метеослужбами СССР, Великобритании, Франции, ФРГ, Нидерландов и США¹.

Метеорологический (морской) бюллетень состоит из трех частей.

Часть I. Штормовое предупреждение. Она содержит информацию о предстоящем в ближайшее время усилении ветра и волнения до опасных для судоходства значений. Большинство метеоцентров передают такие предупреждения немедленно по получении текста от метеослужбы и не реже чем через каждые 12 ч (в районах действия тропических циклонов — через каждые 2—3 ч). Предупреждения передаются полным текстом на языке страны, составившей его, и по-английски, либо кодом FM 61—IV MAFOR.

Морские страны Африки вместо термина «тропическая депрессия» используют термин «слабое тропическое возмущение»; вместо термина «шторм» — «возмущение» или «депрессия»; вместо термина «ураган» — «интенсивный тропический циклон». Морские страны Азии вместо термина «умеренный тропический шторм» используют термин «тропический шторм». В странах Северной и Центральной Америки ураганом называют сильный шторм, образующийся над тропическими водами поблизости от побережья Центральной Америки и Мексики.

Часть II. Обзор основных элементов приземной карты погоды. Обзор передается на языке страны, его составляющей, и на английском языке открытым текстом. Метеослужбы Канады, Великобритании и США регулярно включают в обзоры сведения о распределении льда и айсбергов. Такие обзоры условий погоды и состояния моря дают характеристику синоптической обстановки в обслуживаемом

¹ Зарубежные метеоцентры за выданную ими информацию по запросу взимают, как правило, особую плату.

районе и тенденцию ее изменения в ближайшее время.

Часть III. Прогнозы погоды и состояния моря. Прогнозы имеют, как правило, заблаговременность 12—24 ч. Метеослужбы СССР, Великобритании, ФРГ, Японии и США передают прогнозы с заблаговременностью 72 ч.

Прогнозы передаются на языке страны, осуществляющей передачу, и на английском языке; могут передаваться и кодом FM 61 D MAFOR.

Дополнительные части. Они не обязательно включаются в морской бюллетень (МБ), причем преимущественно они представляют собой анализы и/или прогнозы погоды, а также выборочные сводки с судовых и береговых гидрометеостанций, передаваемые, как правило, 2—4 раза в сутки кодом FM 45 IAC FLEET. Последний вид информации представляет ценность при плавании вблизи побережья, где погода может существенно отличаться от условий, передаваемых в обзоре и прогнозе погоды для открытой части моря. Кроме того, используя, например, данные судовых наблюдений, можно уточнить гидрометеобстановку, даваемую в обзорах и прогнозах, особенно над обширными океаническими районами южного полушария.

В настоящее время информация МБ перекрывает всю океаническую акваторию северного полушария и только часть южного полушария. Передачи в полном объеме ведутся для сектора севернее 50° ю. ш. между 20° з. д. и 180° в. д. В юго-западной части Атлантического океана и в Тихом океане к северо-востоку от Новой Зеландии прогнозы передаются по прибрежным зонам; для открытых районов океана передаются только обзоры погоды или штормовые предупреждения. В Тихом океане от 150° в. д. до берегов Южной Америки между экватором и Антарктидой бюллетени не передаются, за исключением Полинезии (штормовые предупреждения) и прибрежных вод Чили (штормовые предупреждения и прогнозы). В приантарктических районах сводки морского бюллетеня передаются только в теплую часть года (октябрь — март).

5.9.4. Факсимильные карты погоды и состояния моря

Общие сведения. Сводки передаваемого по радио морского бюллетеня позволяют на судне самостоятельно составить синоптическую карту. Однако более эффективным средством являются ежедневные факсимильные карты, передаваемые по радио; они дают более полное представление о гидрометеобстановке и экономят время, затрачиваемое на составление по радиоданным карты погоды и состояния моря и на ее анализ. Факсимильные радиопередачи содержат приземные и высотные фактические и прогностические карты погоды и карты состояния моря.

Карты погоды. В метеоцентрах составляются как фактические (анализ) приземные карты погоды за основные сроки наблюдения,

так и будущие (прогностические) карты на 12, 24, 36, 48, 72 ч и на 5 сут. Судно может получать факсимильные карты погоды: фактические — через каждые 6 ч, прогностические — на ближайшие 12 ч и до 5 сут.

Карты волнения. На фактических и прогностических факсимильных картах волнения наносятся высоты волн в метрах (или в футах) и направления их движения, изолинии равных высот волн и области максимальных и минимальных высот. Иногда на такие карты наносят также данные о периоде волн и показывают положения фронтальных разделов, центров циклонов и антициклонов с указанием давления в их центрах и т. д.

Ледовые карты. Как правило, они дают расшифровку применяющихся на них условных обозначений, так как ледовые символы еще не носят единого международного характера.

5.10. СУДОВОЖДЕНИЕ ПРИ ОСОБЫХ ОБСТОЯТЕЛЬСТВАХ

5.10.1. Подход к порту

Подход к порту, как правило, осуществляется под проводкой лоцмана, с помощью береговой радиолокационной станции (БРЛС) или системы управления движением судов (СУДС), в которую входят несколько БРЛС, штат опытных операторов, радиостанции УКВсвязи с судами, вычислительный центр и другое.

Проводка судов с помощью береговой радиолокационной станции (БРЛС). По запросу с судна оператор БРЛС обычно сообщает следующую информацию: место судна в полярных или географических координатах; курс выхода в любую точку зоны обслуживания данной БРЛС; боковое смещение относительно оси фарватера; положение других находящихся в зоне обзора судов; смещение плавучих СНО со своих штатных мест; направление дрейфа судна; характер подвижки льда и др.

Активный метод проводки судов предполагает управление маневрами судна с поста управления БРЛС по радиотелефону, в виде команд коррекции курса и информации о перемещении судна в полосе проводки. При таком методе оператор, однако, лишен возможности наблюдать и непосредственно оценивать положение судна на ходу, не в состоянии предвидеть последствий ошибок в управлении судном до тех пор, пока оно не покажет ненормального отклонения от заданного пути.

Пассивный метод проводки заключается в сообщении оператором БРЛС на судно его места в какой-либо системе координат: географической, полярной или маршрутной.

Проводка судов с помощью СУДС. При входе судна в зону действия СУДС происходит автоматический его «захват» и последующее автосопровождение. При следовании судна по установленному маршруту СУДС анализирует ему о превышении скорости, о выхо-

де за предел фарватера, об опасности столкновения и т. д. В случае смещения судна с якорной стоянки срабатывает соответствующая сигнализация. СУДС предупреждает также о смещении со штатных мест плавучих СНО, об отходе других судов от причалов, о приближении к опасным зонам; оповещает и информирует суда по любым вопросам, связанным с эксплуатацией. Все указания СУДС обязательны для капитана, которого информируют о движении и месте судна, о разрешении на вход или выход из порта, съёмку с якоря и перестановку судна.

Плавание в районе действия СУДС не освобождает капитана от обязанности вести числение пути и делать обсервации, от управления судном и обеспечения его безопасности. Любое нарушение местных правил немедленно фиксируется СУДС, с чем судно нередко информируется в виде сообщения о штрафной санкции.

5.10.2. Плавание во льдах

Плавание во льдах требует использования специальных приемов по уточнению курса и скорости. Рекомендуются прокладывать на карте генеральный курс и пройденное расстояние за каждый час. Для этого необходимо каждые 5—6 мин замечать курсы, затем осредняя их за час. Удобно для этой цели применять маневренный планшет. Определение скорости судна производится методом «планширного лага»: замечают время прохождения льдиной траверза двух заранее намеченных точек на судне и вычисляют скорость в узлах:

$$V = 1,94 (l/t), \tag{5.108}$$

где *l* — длина базы, м;
t — промежуток времени, с.

Наличие на судне РЛС позволяет вести числение относительно хорошо видимых на экране торосов или приметных льдин. Имея такую опорную точку, наносят ее на карту по пеленгу и расстоянию относительночислимого места судна. При дальнейшем маневрировании ведется систематическое наблюдение за положением эхо-сигнала выбранного ориентира и при необходимости наносится числимое место. Такие ориентиры последовательно наносятся на карту и позволяют вести числение, но не позволяют определить величину дрейфа. Для нахождения дрейфа необходимо получить две надежные обсервации. При первом определении одновременно берется пеленг и расстояние до приметной льдины, которая затем наносится на карту. После второй обсервации вновь измеряется пеленг и расстояние до льдины. Полученное новое положение льдины будет характеризовать величину дрейфа.

При плавании во льдах следует помнить, что часто бывает трудно выделить эхо-сигнал от береговых объектов на фоне эхо-сигналов

Таблица 5.7. Сведения о течениях на карте

Условия прилива	Время, ч	В. Широта 55° 34' N, долгота 6° 59' W		
		Направление, град	Скорость, уз	
			сизигийная	квадатурная
До полной воды в Дувре	6	348	1,4	0,7
	5	66	0,8	0,4
	4	115	1,9	1,0
	3	128	2,9	1,5
	2	137	3,3	1,7
	1	148	2,7	1,4
Полная вода	—	164	1,5	0,8
После полной воды в Дувре	1	233	0,8	0,4
	2	294	1,8	0,9
	3	307	2,7	1,4
	4	316	3,1	1,6
	5	327	2,7	1,4
	6	338	1,7	0,9

от льдин, поэтому следует проявлять повышенную бдительность и систему двойного или даже тройного контроля.

5.10.3. Плавание в морях с приливами

Предвычисление приливов. Советские таблицы приливов издаются ежегодно в четырех томах, каждый из которых состоит из двух частей: первая — приливной ежегодник для основных пунктов, вторая — поправки для дополнительных пунктов. Перед использованием любого тома необходимо внимательно изучить содержание вступительного раздела, порядок и особенности решений приведенных примеров, отметив тот из них, который является однотипным для заданного случая.

Английские адмиралтейские таблицы приливов также издаются ежегодно в трех томах и устроены аналогично советским.

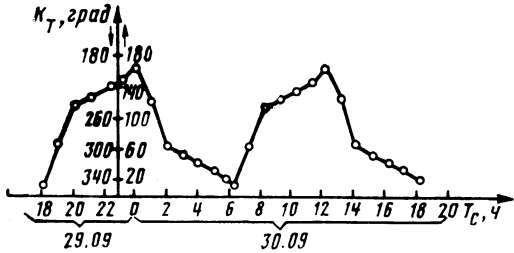


Рис. 5.26. График направлений приливо-отливного течения

Таблица 5.8. Сведения о течениях на заданный момент времени

Условия прилива	Время, ч	В. Широта 55° 34' N, долгота 5° 59' W				T _c	
		Направ- ление, град	Скорость, уз				
			сизигий- ная	квадра- турная	промежу- точная		
До полной воды в Дувре	6	348	1,4	0,7	1,0	20.19	08.28
	5	66	0,8	0,4	0,6	21.19	09.28
	4	115	1,9	1,0	1,4	22.19	10.28
	3	128	2,9	1,5	2,2	23.19	11.28
	2	137	3,3	1,7	2,5	00.19	12.28
	1	148	2,7	1,4	2,0	01.19	13.28
Полная вода	--	164	1,5	0,8	1,2	02.19	14.28
После полной воды в Дувре	1	233	0,8	0,4	0,6	03.19	15.28
	2	294	1,8	0,9	1,4	04.19	16.28
	3	307	2,7	1,4	2,0	05.19	17.28
	4	316	3,1	1,6	2,4	06.19	18.28
	5	327	2,7	1,4	2,0	07.19	19.28
	6	338	1,7	0,9	1,3	08.19	20.28

Предвычисление приливо-отливных течений. Сведения об элементах приливо-отливных течений приводятся в специальных атласах и таблицах, в лоциях, гидрометеорологических обзорах и на картах. Методика использования сведений о приливо-отливных течениях, приводимых на картах, показана на примере.

Пример 5.10. Рассчитать элементы приливо-отливного течения на участке В карты «От острова Колонсей до залива Бейлах» 29 сентября (табл. 5.7).

Решение. 1. Из ТП устанавливаем, что ближайшая приливная сизигия (наибольшая величина полной воды) в порту Дувр была

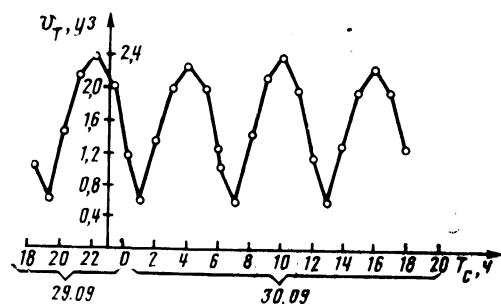


Рис. 5.27. График скоростей приливо-отливного течения

26 сентября, а ближайшая приливная квадратура — 5 октября. Приливы считаются сизигийными (квадратурными) за два дня до и два дня после приливной сизигии (квадратуры), т. е. в данном случае 26, 27 и 28 сентября приливы будут сизигийными, а 5, 4 и 3 октября — квадратурными. В другие дни — 29 и 30 сентября и 1 и 2 октября приливы будут промежуточными. Значит, 29 сентября для скоростей приливо-отливного течения следует брать среднеарифметические значения из двух последних колонок табл. 5.7. Такие значения скорости располагают в виде дополнительных колонок (табл. 5.8).

2. Из ТП устанавливают, что 29 сентября в Дувре ПВ наступают в 01 ч 19 мин и в 13 ч 28 мин по поясному времени. Эти моменты переводят в судовое время и вписывают в табл. 5.8. Пусть, например, $T_c = T_n + 1$ ч. Тогда в $T_c = 02$ ч 19 мин и в $T_c = 14$ ч 28 мин направление течения будет 164°, а скорость $v_t = 1,2$ уз.

3. Построение графика (рис. 5.26) направлений течения делают на бумаге в клеточку: ось абсцисс — судовое время в часах (начало координат — 0 ч заданной даты), ось ординат — направление течения в градусах, от 0 до 180° вверх (сплошные линии), от 180° до 360° вниз (пунктирные линии).

4. Построение графика (рис. 5.27) скоростей течения: ось абсцисс — судовое время, ось ординат — скорости течения в узлах.