



ДМИТРИЕВ Владимир Иванович – кандидат технических наук, профессор МСА, академик Российской академии транспорта и Нью-Йоркской академии наук, действительный член Института навигации (США), капитан дальнего плавания, заведующий кафедрой «Судовождение» Санкт-Петербургского Государственного университета водных коммуникаций. Область деятельности – навигация, безопасность плавания судов, международно-правовые вопросы торгового мореплавания.



ГРИГОРЯН Вагшак Леонидович – доцент кафедры «Судовождение» Санкт-Петербургского Государственного университета водных коммуникаций, член Совета Международной ассоциации общественных организаций ветеранов подводного флота и моряков-подводников. Область деятельности – педагогика, навигация и лоция, безопасность плавания судов.



КАТЕНИН Владимир Александрович – доктор военных наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры «Судовождение» Санкт-Петербургского Государственного университета водных коммуникаций. Область деятельности – системный анализ, теория принятия решений, прогнозирование программного планирования системы навигационно-гидрографического обеспечения, обоснование требований к техническим средствам кораблевождения (судовождения) и оценка их эффективности.

интернет-магазин

bookshop

www.bookshop.com.ua

ISBN 5-94628-052X



9 785946 280525

В.И. ДМИТРИЕВ,
В.А. ГРИГОРЯН,
В.А. КАТЕНИН

НАВИГАЦИЯ И ЛОЦИЯ



НАВИГАЦИЯ И ЛОЦИЯ

В.И. ДМИТРИЕВ

В.А. ГРИГОРЯН

В.А. КАТЕНИН

В УЧЕБНИК
ДЛЯ ВУЗОВ



ИПК «АКАДЕМКИТА»



В. И. ДМИТРИЕВ, В. Л. ГРИГОРЯН, В. А. КАТЕНИН

НАВИГАЦИЯ И ЛОЦИЯ

Рекомендовано УМО по образованию в области
эксплуатации водного транспорта
в качестве учебника для студентов (курсантов),
обучающихся по специальности 240200 «Судовождение»
в вузах водного транспорта



МОСКВА
ИКЦ «АКАДЕМКНИГА»
2004

УДК 656.61.052: 527.5/7 (075.8)
ББК 39.471-5
Д 53

Рецензент: д-р.техн. наук, профессор В.А. Логиновский

Дмитриев В. И., Григорян В.Л., Катенин В. А.

Навигация и лоция. Учебник для вузов/Под ред. В. И. Дмитриева. — М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. — 471 с.: ил.

ISBN 5-94628-052X

В учебнике с современных позиций изложены основные разделы ведущей дисциплины судовождения — «Навигации и лоции»: картография, основы морской и речной лоции, счисление пути судна, способы определения места судна и оценка его точности, электронная картография, методы навигации в особых условиях плавания, штурманская подготовка к рейсу, перспективы развития средств и методов навигации.

Особое внимание обращено на использование на судах глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) и электронных картографических навигационных информационных систем (ЭКНИС).

Учебник предназначен для студентов и курсантов высших учебных заведений водного транспорта, а также может быть использован на факультетах повышения квалификации судоводительского состава судов морского, речного и рыбопромыслового флотов.

ISBN 5-94628-052X

© В.И. Дмитриев, В.Л. Григорян,
В.А. Катенин, 2004
© ИКЦ «Академкнига», 2004

*Светлой памяти
Константина Александровича Емца
посвящается эта книга*

Введение

Дисциплина «Навигация и лоция» является основным разделом прикладной науки судовождения, решающей, в конечном итоге, задачу выбора безопасного и выгодного пути судна и обеспечения плавания по выбранному маршруту с учетом влияния внешней среды.

Навигация и лоция изучает: методы определения направлений в море; теорию картографических проекций; навигационные карты, пособия и руководства для плавания, их корректуру; методы определения места судна по наземным ориентирам и с помощью радиотехнических систем; применение судовых и береговых радиолокационных станций; условия безопасного плавания по морям, океанам и внутренним водным путям, в стесненных условиях, во льдах; навигационные опасности и способы их ограждения; средства навигационного оборудования морей и внутренних водных путей; навигационные инструменты и приборы; организацию штурманской службы на судах, основные принципы несения ходовой вахты.

В последнее десятилетие произошло качественное изменение в методах и средствах судовождения. В сложных условиях плавания судоводитель физически не в состоянии обрабатывать всю исходную информацию, получаемую как от технических средств навигации, так и в результате визуального наблюдения. Оценка ситуации и принятие решений зачастую происходят на основе интуиции с использованием личного опыта. Создание глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) и электронных картографических навигационных систем, интегрированных навигационных мостиков, применение компьютерной техники позволило повысить безопасность плавания, снизить влияние "человеческого фактора" на общее число аварий судов.

Однако традиционные методы навигации, известные с древних времен, не потеряли своей актуальности и в настоящее время. Безаварийное плавание предполагает проведение контрольных наблюдений и вычислений альтернативными методами. Тем более, что в случае отказа технических средств навигации традиционные приемы определения места судна остаются единственным средством, позволяющим обеспечить безопасное плавание в самых сложных условиях.

Не следует забывать, что судоводитель несет полную ответственность за аварию вне зависимости от того, произошла она из-за его упущения, незначительной ошибки или неверно принятого решения. Поэтому использование новейших технических средств совместно с традиционными методами навигации будет способствовать совершенствованию искусства судовождения.

Раздел 1

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ НАВИГАЦИИ

Глава 1

ОРИЕНТИРОВАНИЕ НАБЛЮДАТЕЛЯ НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

1.1 Форма Земли и ее модели

Штурманский метод решения задач судовождения требует знания закономерностей движения судна по поверхности Земли. Это возможно лишь при знании формы нашей планеты и ее основных размеров. Многовековые попытки решить эту научную проблему привели к представлению физической формы Земли в виде геоида — сглаженного тела, размеры которого наиболее близки к размерам нашей планеты.

Геоид — тело, ограниченное невозмущенной поверхностью уровня Мирового океана, мысленно продолженной под материками и островами таким образом, что она в каждой своей точке перпендикулярна отвесной линии (рис. 1.1).

Геоид получен экспериментально и его поверхность не может быть описана конечным математическим уравнением. Поэтому на поверхности геоида невозможно решать математические задачи судовождения. Возникает необходимость аппроксимации геоида другим телом — моделью Земли, имеющей простое математическое описание.

При решении навигационных задач судовождения нашли применение две основные модели Земли: *эллипсоид вращения (сфероид)* и *сфера (шар)*.

Геоид очень близок по форме к эллипсоиду вращения, образованному вращением эллипса вокруг малой оси. Эллипсоид вращения — математически правильная фигура. Именно поэтому для ре-

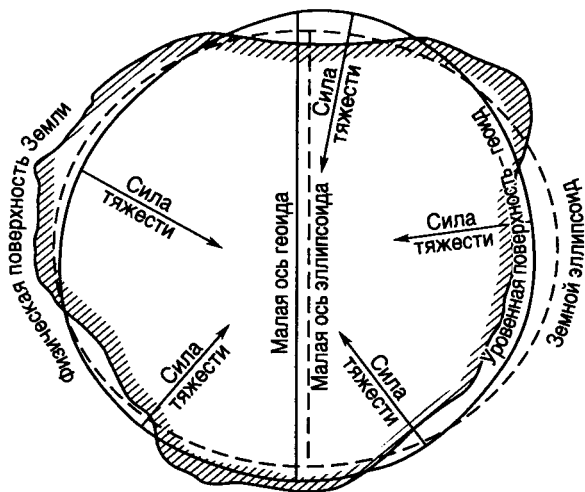


Рис. 1.1. Геоид и эллипсоид

шения задач геодезии, судоходства и картографии с высокой точностью за модель Земли принимают эллипсоид вращения и называют его *земным эллипсоидом* (рис. 1.2).

Размеры и форму эллипсоида определяют его элементы:

большая полуось a , малая полуось b , сжатие $\alpha = \frac{a-b}{a}$, эксцентриситет $e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$.

Для наилучшего представления о геоиде в целом используют земной эллипсоид и определяют его так, чтобы:

- объем эллипсоида был равен объему геоида;
- плоскость экватора и малая ось эллипсоида совпадали соответственно с плоскостью экватора и осью вращения Земли;
- сумма квадратов отклонений геоида от общего земного эллипсоида по всей их поверхности была наименьшей.

В 1964 г. на XII конгрессе Международного астрономического союза был принят *общий земной эллипсоид*, который хорошо согласуется со всей поверхностью геоида. Его размеры: $a = 6378160$ м; $\alpha = 1:298,5$. В наши дни для решения геодезических и навигационных задач широко используются общие земные эллипсоиды

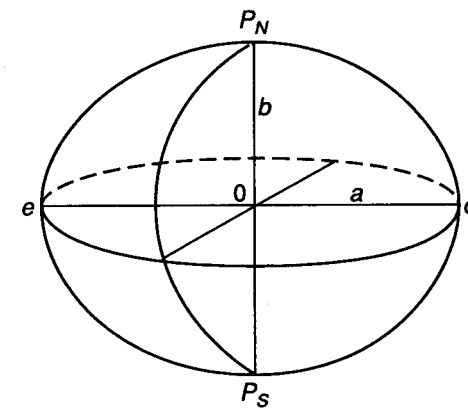


Рис. 1.2. Эллипсоид вращения (земной эллипсоид)

(World Geodetic System), разработанные в разные годы: WGS-72, WGS-84, элементы которых даны в табл. 1.1.

Для наилучшего же представления формы геоида в определенной области земной поверхности (территории отдельной страны) подбирают наиболее подходящий земной эллипсоид и определяют его так, чтобы:

- плоскость экватора и малая ось эллипсоида были параллельны соответственно плоскости экватора и оси вращения Земли;
- сумма квадратов отклонений геоида от этого эллипсоида в пределах заданной области была наименьшей.

Земной эллипсоид с определенными размерами, соответствующим образом ориентированный в теле Земли и принятый за модель Земли в государстве, называется *референц-эллипсоидом*. Положение референц-эллипсоида в теле Земли определяется *исходными геодезическими датами*:

- координатами точки, в которой выполнена взаимная привязка геоида и эллипсоида;
- направлением между двумя объектами на поверхности Земли;
- высотой геоида над референц-эллипсоидом.

В нашей стране с 1946 г. в качестве модели Земли принят эллипсоид, элементы которого были определены под руководством профессора Ф. Н. Красовского. При этом использовались результаты измерений, выполненных на территории СССР, стран Западной Европы и США. Этот эллипсоид получил название *референц-эллипсоида Красовского*. Его элементы: большая полуось $a = 6378245$ м,

Таблица 1.1. Элементы основных земных эллипсоидов

Наименование (автор)	Год	Большая полуось, м	Сжатие
Бессель	1841	6377397	1:299,15
Кларк	1866	6378206	1:295,0
Жданов	1893	6377717	1:299,0
Хейфорд	1910	6378388	1:297,0
Красовский	1942	6378245	1:298,3
WGS-72	1972	6378135	1:298,26
Международный (европейская система)	1979	6378388	1:297
WGS-84	1984	6378137	1:298,257

малая полуось $b = 6\,356\,863$ м, сжатие $\alpha = 1:298,3$, эксцентриситет $e = 0,0818$.

Положение (ориентировка) эллипсоида Красовского определяется:

- координатами центра круглого зала Пулковской обсерватории (широта $59^\circ 46' 18,55''$, долгота $30^\circ 19' 42,09''$);
- направлением из этой точки на пункт Бугры (азимут $121^\circ 10' 38,79''$);
- нулевой разностью высот геоида и референц-эллипсоида Красовского в Пулкове.

В различных государствах рассчитаны и используются в качестве моделей Земли референц-эллипсоиды различных размеров (табл. 1.1).

При решении многих задач навигации, не требующих повышенной точности, Землю принимают за шар определенного радиуса R . При этом для определения размеров земного шара могут быть поставлены различные условия, например:

- объем земного шара равен объему земного эллипсоида, при этом $R = \sqrt[3]{ab^2}$. Подставив значения полуосей эллипсоида Красовского, получим значение радиуса земного шара $R = 6371109,7$ м;
- поверхность шара равна поверхности эллипсоида, при этом

$$R = b \sqrt{1 + \frac{2e^2}{3}}. \text{ Для эллипсоида Красовского } R = 6371116 \text{ м;}$$

- радиус земного шара равен среднему радиусу кривизны ограниченного участка территории эллипсоида, расположенного в

$$\text{широте } \varphi, \text{ при этом } R = \frac{a\sqrt{1-e^2}}{1-e^2 \sin^2 \varphi};$$

- длина одной минуты дуги большого круга шара равна одной морской миле; при этом $R = 6366707$ м.

1.2 Основные точки, линии и плоскости на поверхности Земли

Для ориентирования на поверхности Земли служат определенные точки, линии и плоскости.

Ось Земли — воображаемая прямая $P_N - P_S$, вокруг которой вращается Земля (рис. 1.3).

Географические полюсы — точки пересечения оси Земли с ее поверхностью. Полюс P_N , со стороны которого вращение Земли усматривается против часовой стрелки, называется северным (нордовым). Полюс P_S — южным (зюйдовым) полюсом.

Большой круг — линии, образованные сечением поверхности земного эллипсоида плоскостями, проходящими через центр Земли.

Малый круг — линии, образованные сечением поверхности земного эллипсоида плоскостями, не проходящими через центр Земли.

Параллели — линии, образованные сечением поверхности земного эллипсоида плоскостями, перпендикулярными оси Земли.

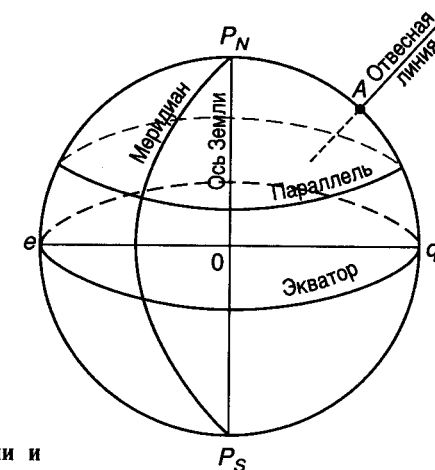


Рис. 1.3. Основные точки, линии и плоскости на поверхности Земли

Экватор — наибольшая из параллелей, плоскость которой проходит через центр Земли.

Меридианы — линии, образованные сечением поверхности земного эллипсоида плоскостями, проходящими через ось Земли.

Меридианы и параллели на земной поверхности образуют сетку географических координат.

1.3 Основные линии и плоскости наблюдателя

Для ориентирования в любой точке поверхности Земли используются следующие линии и плоскости, связанные с местом наблюдателя.

Вертикальная (отвесная) линия — прямая Zn , совпадающая с направлением силы тяжести в месте наблюдателя (рис. 1.4).

Зенит наблюдателя — точка Z пересечения вертикальной линии с воображаемой небесной сферой над головой наблюдателя.

Надир наблюдателя — точка n пересечения вертикальной линии с воображаемой небесной сферой под наблюдателем.

Горизонтальная плоскость — любая плоскость, перпендикулярная отвесной линии.

Плоскость истинного горизонта наблюдателя — горизонтальная плоскость HN' , проходящая через глаз наблюдателя.

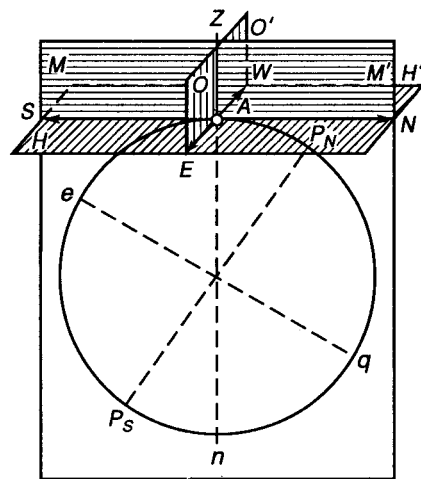


Рис. 1.4. Основные линии и плоскости наблюдателя

Вертикальная плоскость — любая плоскость, проходящая через отвесную линию.

Плоскость истинного меридиана наблюдателя — вертикальная плоскость MM' , проходящая через полюсы Земли и место наблюдателя.

Меридиан наблюдателя — большой круг P_NAP_S , образованный сечением поверхности Земли плоскостью истинного меридиана наблюдателя.

Линия истинного меридиана наблюдателя (полуденная линия) — линия NS пересечения плоскости истинного меридиана наблюдателя с плоскостью истинного горизонта наблюдателя.

Северная часть линии истинного меридиана наблюдателя — луч AN . Определяет направление от наблюдателя на северный полюс P_N (направление на север).

Южная часть линии истинного меридиана наблюдателя — луч AS . Определяет направление на южный полюс P_S (направление на юг).

Плоскость первого вертикала наблюдателя — вертикальная плоскость OO' , перпендикулярная плоскости истинного меридиана.

Линия первого вертикала — линия EW пересечения плоскости первого вертикала с плоскостью истинного горизонта.

Восточная часть линии первого вертикала — луч AE . Определяет направление от наблюдателя на восток.

Западная часть линии первого вертикала — луч AW . Определяет направление на запад.

Главные направления — четыре взаимно перпендикулярных направления в плоскости истинного горизонта: N (норд), S (зюйд), E (ост), W (вест). Относительно этих направлений и осуществляется ориентирование на поверхности Земли.

1.4 Географические координаты. Разность широт, разность долгот

В зависимости от избранной модели Земли и решаемых задач для определения положения точек на земной поверхности используют различные системы координат: географические, сферические, астрономические, полярные, прямоугольные. Для определения положения точек на поверхности эллипсоида (сфероида) в судовождении используется система географических (сфероидических) координат.

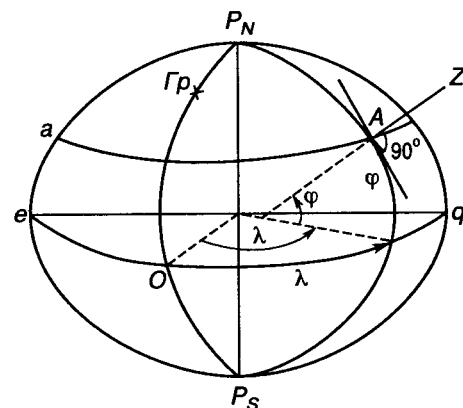


Рис. 1.5. Географические координаты

В географической системе координат координатными осями являются экватор (рис. 1.5) и один из меридианов, называемый нулевым (начальным).

За нулевой меридиан при измерении географических долгот принят меридиан Гринвича. Начало координат — в точке пересечения экватора с Гринвичским меридианом. Координатными линиями являются параллели и меридианы, а координатами — *географическая широта* и *географическая долгота*.

Географической широтой точки *A* называется угол между плоскостью экватора и нормалью к поверхности земного эллипсоида в этой точке. Географическая широта обозначается греческой буквой φ и измеряется дугой меридиана от экватора до параллели данной точки. Любая точка, которая находится на этой параллели, имеет такую же географическую широту, что и точка *A*. Плоскость экватора делит Землю на два полушария: Северное полушарие, в котором находится Северный полюс P_N , и Южное полушарие, в котором находится Южный полюс P_S . Точки, расположенные в Северном полушарии, имеют северную широту φ_N , в Южном полушарии — южную широту φ_S . Географическая широта отсчитывается от экватора к северу или югу от 0° до 90° . При решении задач судовождения северная широта считается положительной, южная широта — отрицательной. Точки, расположенные на экваторе, имеют $\varphi = 0^\circ$, на полюсах $\varphi = 90^\circ$.

Географической долготой точки *A* называется двугранный угол между плоскостью Гринвичского меридиана и плоскостью меридиана данной точки. Географическая долгота обозначается греческой буквой λ и измеряется меньшей дугой экватора от Гринвич-

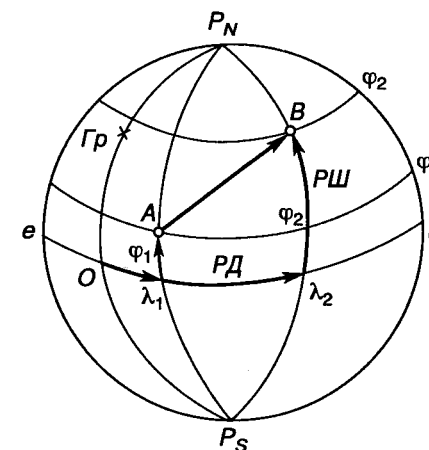


Рис. 1.6. Разность широт и разность долгот

ского меридиана до меридиана данной точки. Любая точка, которая находится на этом меридиане, имеет такую же географическую долготу, что и точка *A*. Гринвичский меридиан делит Землю на два полушария: Восточное и Западное. Точки, расположенные в Восточном полушарии, имеют восточную долготу λ_E . Точки, расположенные в Западном полушарии, имеют западную долготу λ_W .

Географическая долгота отсчитывается от Гринвичского меридиана к востоку или западу от 0° до 180° . При решении задач восточная долгота считается положительной, западная долгота — отрицательной. На Гринвичском меридиане $\lambda = 0^\circ$, на меридиане, противоположном Гринвичскому $\lambda = 180^\circ$.

Географические координаты выражаются в угловых величинах: градусах, минутах и десятых долях минуты.

Пример записи координат: $\varphi = 59^\circ 46,3' N$, $\lambda = 30^\circ 19,7' E$.

При движении судна географические координаты его места изменяются. Если судно перешло из пункта отхода *A* с координатами $\varphi_1 \lambda_1$ в пункт прихода *B* с координатами $\varphi_2 \lambda_2$, то изменение его координат оценивается (рис. 1.6) *разностью широт РШ* ($\Delta\varphi$) и *разностью долгот РД* ($\Delta\lambda$):

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1; \quad (1.1)$$

$$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1. \quad (1.2)$$

Разность широт измеряется дугой меридиана, заключенной между параллелями пунктов отхода и прихода. При движении суд-

на в общем направлении к северу разности широт дается наименование северная или нордовая ($PШ_N$) и ее считают положительной. При движении судна к югу разности широт дается наименование южная или зюйдовая ($PШ_S$) и ее считают отрицательной. Если корабль перемещается по экватору или параллели, то широта его места не изменяется: $PШ = 0$. Разность широт изменяется в пределах от 0 до $\pm 180^\circ$.

Разность долгот измеряется меньшей из дуг экватора, заключенных между меридианами пунктов отхода и прихода. При движении судна в общем направлении к востоку разности долгот дается наименование восточная или остовая ($PД_E$) и ее считают положительной. При движении судна к западу, разности долгот дается наименование западная или вестовая $PД_W$ и ее считают отрицательной. При движении судна по меридиану долгота его не изменяется: $PД = 0$. Разность долгот изменяется в пределах от 0° до 180° .

Если при решении задачи по формуле (1.2) разность долгот получится больше 180° , то необходимо полученную величину вычесть из 360° , а результату дать обратное наименование.

Зная координаты одного из пунктов, а также $PШ$ и $PД$, можно рассчитать координаты другого пункта по формулам:

$$\varphi_1 = \varphi_2 - PШ; \varphi_2 = \varphi_1 + PШ; \quad (1.3)$$

$$\lambda_1 = \lambda_2 - PД; \lambda_2 = \lambda_1 + PД. \quad (1.4)$$

Эти же соотношения могут быть использованы для определения $PШ$ и $PД$ двух любых точек земной поверхности.

При расчетах следует иметь в виду, что формулы (1.1) – (1.4) алгебраические и требуют учета знаков координат, $PШ$ и $PД$.

1.5 Сечения земного эллипсоида. Длина одной минуты меридиана и параллели

Через нормаль к поверхности эллипсоида в данной точке можно провести бесчисленное множество плоскостей, которые называются *нормальными плоскостями*. Нормальные плоскости, пересекаясь с поверхностью эллипсоида, образуют *нормальные сечения*.

Среди множества нормальных сечений имеются два взаимно перпендикулярных сечения, радиусы кривизны которых в окрест-

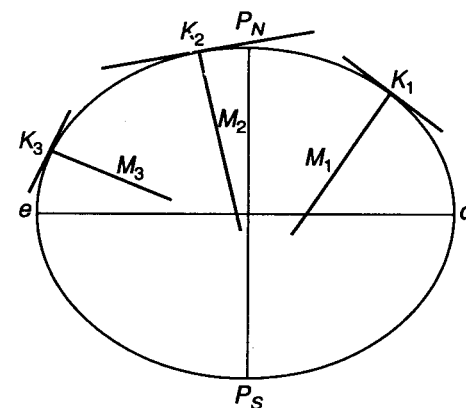


Рис. 1.7. Радиусы кривизны меридианного сечения

ности данной точки имеют максимальное и минимальное значения. Эти сечения называют *главными нормальными сечениями*.

Главными нормальными сечениями на поверхности эллипсоида являются *меридианное сечение* и *сечение по первому вертикалу*.

Радиус кривизны M меридианного сечения $P_N P_S q$ (рис. 1.7) имеет минимальное значение:

$$M = \frac{a(1-e)}{(1-e^2 \sin^2 \varphi)^{\frac{3}{2}}}. \quad (1.5)$$

Видно, что радиус кривизны меридианного сечения M зависит от широты места и имеет максимальное значение на полюсах ($\varphi = 90^\circ$), а минимальное значение на экваторе ($\varphi = 0^\circ$).

С помощью радиуса кривизны меридианного сечения M рассчитывается длина одной минуты дуги меридиана земного эллипсоида:

$$\Delta l' = M \arcl' = \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2 \sin^2 \varphi)^{\frac{3}{2}}} \arcl'. \quad (1.6)$$

Видно, что длина одной минуты дуги меридиана является величиной переменной и зависит от широты места. Наименьшая длина l' дуги меридиана у экватора – 1842,98 м, наибольшая у полюсов – 1861,57 м.

Сечение по первому вертикалу EKW (рис. 1.8) перпендикулярно меридианному сечению в данной точке.

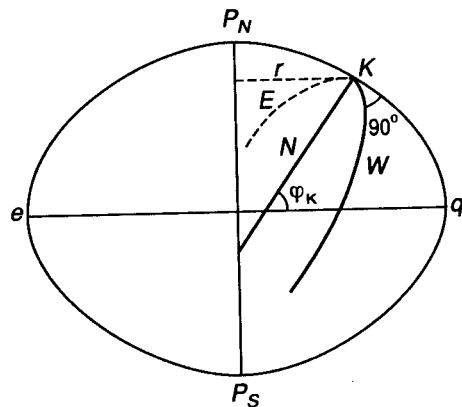


Рис. 1.8. Радиус кривизны сечения по первому вертикалу

Радиус кривизны сечения по первому вертикалу N имеет максимальное значение и его величина определяется выражением

$$N = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{\frac{1}{2}}}. \quad (1.6)$$

С помощью радиуса кривизны сечения по первому вертикалу определяется радиус параллели в любой заданной широте φ . Так, радиус параллели точки K определяется по формуле

$$r = N \cos \varphi_K = \frac{a \cos \varphi_K}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi_K)^{\frac{1}{2}}}. \quad (1.7)$$

Длина одной минуты параллели

$$\Delta l' = r \arcl' = \frac{a \cos \varphi}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{\frac{1}{2}}}. \quad (1.8)$$

Общая кривизна поверхности земного эллипсоида в данной точке характеризуется средним радиусом кривизны R :

$$R = \sqrt{MN} \quad \text{или} \quad R = \frac{a\sqrt{1-e^2}}{1-e^2 \sin^2 \varphi}. \quad (1.9)$$

1.6 Преобразование координат

При одновременном использовании различных моделей Земли возникает необходимость преобразования координат. Например, в случае, если координаты судна, полученные от космической навигационной системы, ориентированной на эллипсоид WGS-84, необходимо нанести на отечественную карту (эллипсоид Красовского).

С этой целью рассчитывают поправки $\Delta\varphi$ и $\Delta\lambda$ для перехода от координат φ_1 и λ_1 в первой геодезической системе к координатам φ_2 и λ_2 во второй геодезической системе:

$$\varphi_2 = \varphi_1 + \Delta\varphi; \quad \lambda_2 = \lambda_1 + \Delta\lambda. \quad (1.10)$$

Поправки $\Delta\varphi$ и $\Delta\lambda$ рассчитываются по упрощенным формулам М.С. Молоденского:

$$\Delta\varphi = \frac{-\Delta x \sin \varphi \cos \lambda - \Delta y \sin \varphi \sin \lambda + \Delta z \cos \varphi + (a\Delta\alpha + \alpha\Delta a) \sin 2\varphi}{R_M \sin 1''}; \quad (1.11)$$

$$\Delta\lambda = \frac{-\Delta x \sin \lambda + \Delta y \cos \lambda}{R_N \cos \varphi \sin 1''}, \quad (1.12)$$

где φ, λ — преобразуемые географические координаты; $\Delta\varphi, \Delta\lambda$ — искомые поправки, угл. с; $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ — расстояния по осям x, y и z между центрами эллипсоидов первой и второй геодезических систем, м; a — большая полуось первого эллипсоида, м; α — сжатие первого эллипсоида; $\Delta a, \Delta\alpha$ — разности больших полуосей и сжатий первого и второго эллипсоидов, м; R_M — радиус кривизны меридиана первого эллипсоида, м; R_N — радиус кривизны первого вертикала первого эллипсоида, м.

Использование этих формул обеспечивает вычисление поправок $\Delta\varphi$ и $\Delta\lambda$ с погрешностями не превышающими единиц метров, что удовлетворяет требованиям к точности решения навигационных задач. Решение задачи упрощается, если использовать для преобразования координат рекомендации табл. 2.24, 2.25, 2.26 из сборника "Мореходные таблицы" (МТ-2000) [1].

1.7 Ортодромия

Одна из основных задач мореплавания в целом и навигации в частности заключается в оптимизации путей судов. В общем случае предпочтение отдается плаванию по кратчайшим расстояниям.

На эллипсоиде кратчайшим расстоянием между двумя точками является геодезическая линия. Это сложная линия двойкой кривизны, которая рассматривается в курсе высшей геодезии. Процесс ее расчета, прокладки на карте, а тем более проводки по ней судна достаточно трудоемок.

На практике решение этой проблемы упрощают, рассматривая кратчайшее расстояние между двумя точками на шаре. При необходимости решения задач на эллипсоиде пользуются поправками за сфероидичность Земли, выбираемыми из специальных таблиц, помещенных в сборнике "Мореходные таблицы".

На шаре линией кратчайшего расстояния является дуга большого круга (ДБК), которую называют ортодромией. В переводе с греческого языка *ортос* — прямой, *дромос* — проход, бег.

Через две произвольные точки шара B_1 и B_2 (рис. 1.9) можно провести только одну ортодромию, так как плоскость ДБК проведена через три точки: B_1 , B_2 и центр Земли.

Треугольник MB_1b_1 прямоугольный, так как меридиан пересекается с экватором в точке M под углом 90° . Поскольку стороны этого треугольника являются дугами окружностей больших кругов, то решают его, используя формулы сферической тригонометрии.

Применяя к треугольнику MB_1b_1 формулу тангенса катета прямоугольного сферического треугольника, можно записать

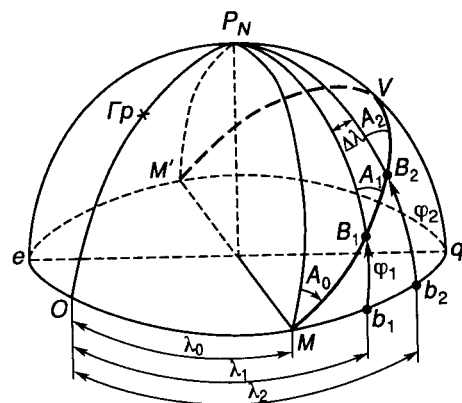


Рис. 1.9. Ортодромия через точки B_1B_2

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \sin(\lambda_1 - \lambda_0) \operatorname{tg}(90^\circ - A_0). \quad (1.13)$$

Это выражение справедливо для любой точки ортодромии, поэтому полученное выражение является ее уравнением:

$$\operatorname{tg} \varphi = \sin(\lambda_1 - \lambda_0) \operatorname{ctg} A_0, \quad (1.14)$$

где λ_0 и A_0 — параметры ДБК (λ_0 — долгота пересечения ДБК с экватором, A_0 — направление ДБК в этой точке).

Для определения A_0 и λ_0 используют формулы:

$$\operatorname{tg} A_0 = \operatorname{ctg} \varphi_1 \sin(\lambda_1 - \lambda_0); \quad (1.15)$$

$$\operatorname{tg}\left(\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2} - \lambda_0\right) = \operatorname{tg} \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2} \sin(\varphi_1 + \varphi_2) \operatorname{cosec}(\varphi_2 - \varphi_1). \quad (1.16)$$

ДБК достигает максимальной широты в точке V , которая называется "вертекс". Вертексов два: один в северном полушарии (виден на рисунке), другой — в южном.

Координаты вертекса:

$$\varphi_V = 90^\circ - A_0; \quad (1.17)$$

$$\lambda_V = \lambda_0 + 90^\circ. \quad (1.18)$$

Проанализируем полученные выражения с целью определения свойств ортодромии.

Свойства ортодромии.

1. Из выражения (1.18) и рис. 1.9 видно, что меридиан вертекса является плоскостью симметрии ортодромии. То есть ортодромия пересекает каждый меридиан два раза в долготах:

$$\lambda_i \text{ и } \lambda_i' = 2\lambda_V - \lambda_i.$$

2. Из выражения (1.17):
если $A_0 = 90^\circ$ (270°), то ортодромия совпадает с меридианом,
если $A_0 = 0^\circ$ (180°), то ортодромия совпадает с экватором.

3. Из выражения (1.14) видно, что если неоднократно изменять долготу λ на 360° (предположим, что совершается кругосветное путешествие по ортодромии), то правая часть уравнения не изменится. Не изменится и левая часть — широта постоянна. Значит ортодромия пересекает каждый меридиан каждый раз в одной и той же точке. Ортодромия — замкнутая кривая.

4. Судоводителей особо интересует направление ортодромии, то есть угол A , под которым ортодромия пересекает меридианы (курс ортодромии). Применяя теорему четырех рядом лежащих элементов сферической тригонометрии к треугольнику $B_1 P_N B_2$, после преобразований получим:

$$\operatorname{ctg} A_1 = \operatorname{tg} \varphi_2 \cos \varphi_1 \operatorname{cosec} \Delta \lambda - \sin \varphi_1 \operatorname{ctg} \Delta \lambda. \quad (1.19)$$

Видно, что $A = f(\varphi_i, \lambda_i)$, т. е. курс ДБК зависит от координат точек B_1 и B_2 . Следовательно, ортодромия пересекает все меридианы под различными углами:

$$A_1 \neq A_2 \neq A_3 \neq \dots \neq A_n.$$

Разность углов, под которыми ортодромия пересекает меридианы двух точек, называется сходимением (сближением) меридианов и обозначается буквой γ (гамма) греческого алфавита:

$$\gamma = A_2 - A_1. \quad (1.20)$$

Формула для расчета γ может быть выведена из сферического треугольника $B_1 P_N B_2$. Для этого следует использовать формулы сферической тригонометрии, называемые *аналогиями Непера*:

$$\frac{\operatorname{tg} \frac{A+B}{2}}{\operatorname{ctg} \frac{\Delta \lambda}{2}} = \frac{\cos \frac{a-b}{2}}{\cos \frac{a+b}{2}}.$$

Применяя их к сферическому треугольнику $B_1 P_N B_2$, получим:

$$\frac{\operatorname{tg} \frac{A_1 + (180^\circ - A_2)}{2}}{\operatorname{ctg} \frac{\Delta \lambda}{2}} = \frac{\cos \frac{(90^\circ - \varphi_1) - (90^\circ - \varphi_2)}{2}}{\cos \frac{(90^\circ - \varphi_1) + (90^\circ - \varphi_2)}{2}}.$$

После преобразований

$$\operatorname{ctg} \frac{A_2 - A_1}{2} = \frac{\operatorname{ctg} \frac{\Delta \lambda}{2} \cos \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2}}{\sin \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}}. \quad (1.21)$$

Обозначим: $\frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2} = \varphi_{\text{ср}}$ — средняя широта.

Считая, что при плавании на расстояния до 500 миль $\cos \frac{\Delta \varphi}{2} \approx 1$, получим:

$$\operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} = \operatorname{tg} \frac{\Delta \lambda}{2} \sin \varphi_{\text{ср}}. \quad (1.21)$$

Вместе с тем на малых расстояниях угол γ тоже мал:

$$\operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} = \frac{\gamma}{2}; \quad \operatorname{tg} \frac{\Delta \lambda}{2} = \frac{\Delta \lambda}{2}, \quad (1.22)$$

тогда $\gamma = \Delta \lambda \sin \varphi_{\text{ср}}$.

Следует заметить, что угол γ имеет знак, который зависит как от знака $\Delta \lambda$, так и от знака $\varphi_{\text{ср}}$.

При всех своих преимуществах ортодромия неудобна для плавания, так как для удержания на ней судна пришлось бы непрерывно изменять его курс.

1.8 Локсодромия

Для использования в практике мореплавания весьма удобна линия пути, которая пересекает все меридианы под одним и тем же углом. По этой линии судоводители могут вести суда, не изменяя при этом курса. Такая линия давно известна математикам, картографам и мореплавателям. Она и называется локсодромией. Вывел ее уравнение и описал вместе с ортодромией голландский математик Снеллиус в 1624 г. В переводе с греческого языка *локсос* — косой, *дромос* — проход, бег.

Так как меридианы не параллельны, то и локсодромия (рис. 1.10), пересекающая их под равными углами не является прямой. Она представляет собой логарифмическую спираль — линию двойной кривизны, которая асимптотически стремится к полюсу.

Для выявления свойств локсодромии выведем ее уравнение, принимая при этом Землю за шар. Рассмотрим элементарно малый отрезок локсодромии, проведенный через две точки B_1 и B_2 (рис. 1.11).

Длина дуги параллели CB_2 и длина дуги меридиана CB_1 , заключенные между этими двумя точками, определяются, исходя из дли-

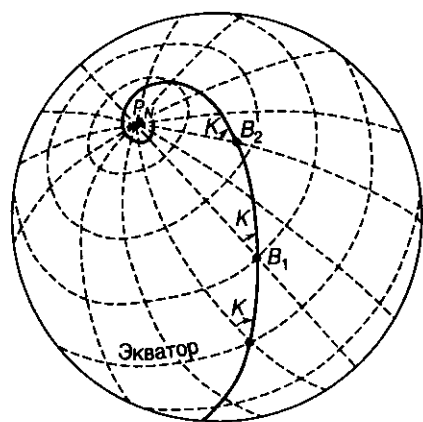
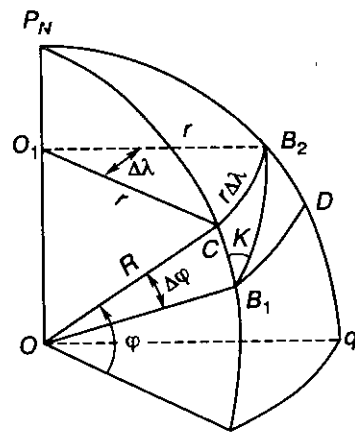
Рис. 1.10. Локсодромия через точки $B_1 B_2$ 

Рис. 1.11. К выводу уравнения локсодромии

ны радиусов и величины центрального угла:

$$CB_2 = r\Delta\lambda = R\cos\varphi\Delta\lambda; \quad CB_1 = R\Delta\varphi.$$

Треугольник B_1CB_2 по малости можно считать плоским:

$$\operatorname{tg} K = \frac{CB_2}{CB_1}.$$

После подстановок

$$\operatorname{tg} K = \frac{R\cos\varphi\Delta\lambda}{R\Delta\varphi} \Rightarrow \operatorname{tg} K = \frac{\cos\varphi\Delta\lambda}{\Delta\varphi}.$$

При переходе от элементарно малых приращений к бесконечно малым

$$\Delta\varphi = d\varphi \quad \text{и} \quad \Delta\lambda = d\lambda,$$

тогда
$$\operatorname{tg} K = \frac{\cos\varphi d\lambda}{d\varphi}; \quad d\lambda = \operatorname{tg} K \frac{d\varphi}{\cos\varphi}.$$

Для решения полученного дифференциального уравнения, оно проинтегрировано в пределах изменения переменных:

$$\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} d\lambda = \operatorname{tg} K \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \frac{d\varphi}{\cos\varphi}.$$

Получен табличный интеграл, решение которого дает уравнение локсодромии на шаре:

$$\lambda_2 - \lambda_1 = \operatorname{tg} K \left[\ln \operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\varphi_2}{2}\right) - \ln \operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\varphi_1}{2}\right) \right]. \quad (1.23)$$

Для эллипсоида (с учетом сфероидичности Земли)

$$\begin{aligned} \lambda_2 - \lambda_1 = & \\ = \operatorname{tg} K & \left[\ln \operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\varphi_2}{2}\right) \left(\frac{1 - e \sin \varphi_2}{1 + e \cos \varphi_2} \right)^{\frac{e}{2}} - \ln \operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\varphi_1}{2}\right) \left(\frac{1 - e \sin \varphi_1}{1 + e \cos \varphi_1} \right)^{\frac{e}{2}} \right]. \end{aligned}$$

Свойства локсодромии.

Из анализа уравнения (1.23) можно сделать следующие выводы.

1. При $K = 0^\circ$ (180°) $\operatorname{tg} K = 0$; $\lambda_2 - \lambda_1 = 0$; $\lambda_2 = \lambda_1$.

То есть в этих случаях локсодромия совпадает с меридианом.

2. При $K = 90^\circ$ (270°) $\operatorname{tg} K = \infty$; $\lambda_2 - \lambda_1$ — конечная величина, поэтому необходимо, чтобы выражение в квадратных скобках было равно нулю, а это возможно лишь при $\varphi_2 = \varphi_1$.

Вывод: в этих случаях локсодромия совпадает с параллелью.

В частном случае, при $\varphi_2 = \varphi_1 = 0^\circ$ локсодромия совпадает с экватором.

3. Пусть $\varphi_1 = 0^\circ$. Тогда $\ln \operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\varphi_2}{2}\right) = \ln \operatorname{tg} 45^\circ = \ln 1 = 0$

и уравнение локсодромии примет вид:

$$\ln \operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\varphi_2}{2}\right) = (\lambda_2 - \lambda_1) \operatorname{ctg} K.$$

Потенцируя, получим: $\operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\varphi_2}{2}\right) = e^{(\lambda_2 - \lambda_1) \operatorname{ctg} K}.$

Подставляя значения λ_2 через каждые 360° (плавание вокруг света по локсодромии) можно заметить, что каждому новому значению долготы соответствует новое значение широты. Иначе говоря, локсодромия пересекает каждый меридиан бесчисленное ко-

личество раз, но каждый раз в новой широте. Из анализа левой части уравнения виден предел, к которому при этом стремится широта:

$$\varphi = 90^\circ (\operatorname{tg} \rightarrow \infty).$$

Локсодромия представляет собой логарифмическую спираль, асимптотически стремящуюся к полюсу.

Решая уравнение (1.23) относительно K , получим формулу расчета курса для плавания по локсодромии из одной точки в другую:

$$K = \operatorname{arctg} \left[\frac{\Delta\lambda}{\ln \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi_2}{2} \right) - \ln \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi_1}{2} \right)} \right]. \quad (1.24)$$

Локсодромия удобна для проводки судна из одной заданной точки в другую, однако не является кратчайшим расстоянием между этими точками.

1.9 Ортодромическая поправка

В практике судовождения широко используются и ортодромия и локсодромия. Возникает необходимость переходить от ортодромических направлений к локсодромическим и наоборот.

На рис. 1.12 через две произвольные точки B_1 и B_2 проведены отрезки локсодромии и ортодромии. Разность направлений ортодромии и локсодромии в этих точках обозначена буквой ψ (пси) греческого алфавита.

Угол между ортодромией и локсодромией, проходящими через две заданные точки, называется *ортодромической поправкой*.

На расстояниях до 500 миль можно считать ортодромию и локсодромию расположенными симметрично, и тогда $\psi_1 = \psi_2 = \psi$.

Из рис. 1.12 для точки B_1 : $\psi_1 = K - A_1$;

для точки B_2 : $\psi_2 = A_2 - K$.

Сложим: $2\psi = A_2 - A_1$,
но $A_2 - A_1 = \gamma$, поэтому $\psi = 0,5\gamma$

$$\text{или } \psi = 0,5\Delta\lambda \sin\varphi_{\text{ср}}. \quad (1.25)$$

Если расстояние между точками B_1 и B_2 больше 500 миль, то

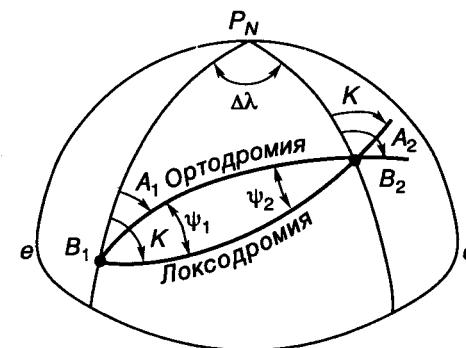


Рис. 1.12. К определению ортодромической поправки

$\psi_1 \neq \psi_2$. В этом случае необходим непосредственный расчет ортодромической поправки как разности направлений локсодромии и ортодромии по формуле

$$\psi = K - A. \quad (1.26)$$

Для облегчения расчета ортодромической поправки на малых расстояниях в Мореходных таблицах (МТ-2000) помещена табл. 2.12.

Следует иметь в виду, что угол ψ имеет знак, который зависит как от знака $\Delta\lambda$, так и от знака $\sin\varphi_{\text{ср}}$. Правило знаков приведено в МТ-2000 в объяснении к таблице.

Глава 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ В МОРЕ

2.1 Системы деления горизонта

Основным условием безопасности плавания корабля является безошибочное определение направления движения судна относительно заданной линии пути и направлений на навигационные опасности.

Основой для определения направлений движения судна и на окружающие судно объекты являются главные направления: N , S , E , W . Любое из этих главных направлений может быть принято за начало счета направлений. В судовождении традиционно за начало счета направлений принимают или северную или южную часть линии истинного меридиана (полуденной линии) NS . Определе-

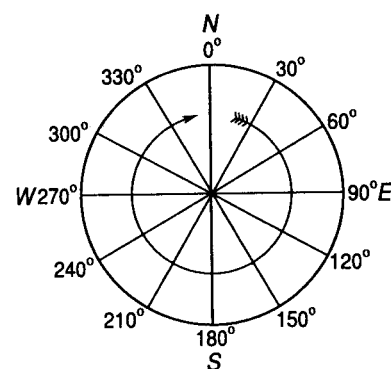


Рис. 2.1. Круговая система счета направлений

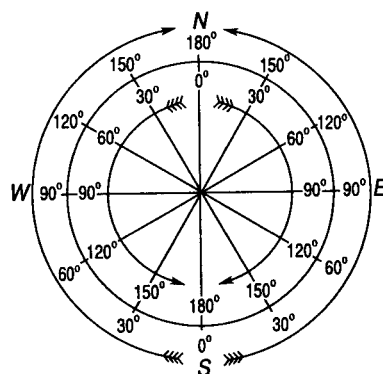


Рис. 2.2. Полукруговая система счета направлений

ние направлений относительно полуденной линии NS производится по различным системам счета в зависимости от характера решаемых навигационных задач с точностью до $0,1^\circ$.

Круговая система счета направлений. В круговой системе (рис. 2.1) за начало счета направлений принята северная (нордовая) часть (AN) линии истинного меридиана NS .

В этой системе вся плоскость истинного горизонта разделена на 360° . Счет направлений ведется от северной части истинного меридиана только вправо (по часовой стрелке) от 0° до 360° . Отрицательных значений система не предусматривает. Форма записи: $25,3^\circ$.

В навигации круговая система счета направлений является основной и применяется для определения направления движения судна, а также направлений на видимые с судна предметы.

Полукруговая система счета направлений. В полукруговой системе (рис. 2.2) плоскость истинного горизонта линией NS разделена на две части по 180° каждая. За начало счета направлений (0°) принимают как северную (N) часть, так и южную (S) часть линии истинного меридиана. Во всех случаях счет ведут к осту (E) или весту (W) от 0° до 180° .

Для исключения многозначности направлениям в полукруговой системе счета придают наименования и записывают их следующим образом:

- вначале буквами N или S обозначают ту часть истинного меридиана, от которой отсчитывают направление;

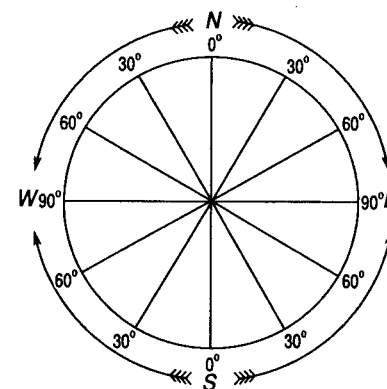


Рис. 2.3. Четвертная система счета направлений

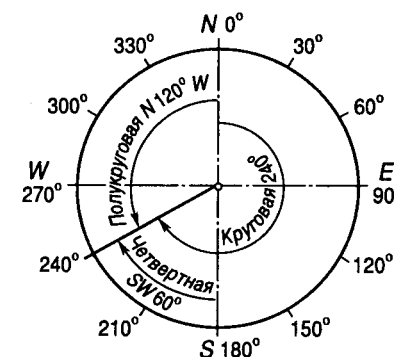


Рис. 2.4. Схема пересчета направлений

- затем цифрами показывают значение угла в градусах;
- в конце записи буквой E или W показывают направление, в сторону которого ведут счет. Например: $N 70^\circ E$, $S 125^\circ W$.

Полукруговая система счета применяется в астронавигации для обозначения азимутов светил.

Четвертная система счета направлений. В четвертной системе (рис. 2.3) плоскость истинного горизонта линиями NS и EW делится на четыре четверти: NE , SE , SW и NW .

За начало счета направлений (0°) принимают северную (N) или южную (S) часть истинного меридиана. Счет ведут от N или S в сторону E или W от 0° до 90° в каждой четверти самостоятельно:

- в NE четверти от N к E (по часовой стрелке) от 0° до 90° ;
- в SE четверти от S к E (против часовой стрелки) от 0° до 90° ;
- в SW четверти от S к W (по часовой стрелке) от 0° до 90° ;
- в NW четверти от N к W (против часовой стрелки) от 0° до 90° .

Для исключения многозначности при записи четвертных направлений указывают наименование четверти, в которой это направление расположено. Например: $NE 70,1^\circ$; $SW 38,3^\circ$; $NW 76,9^\circ$; $SE 70,0^\circ$.

Четвертная система счета направлений применяется в гидрометеорологии, а также при решении отдельных навигационных и астронавигационных задач.

На практике, если заданные направления указаны в разных системах счета, то их предварительно приводят к какой-либо одной системе. При этом используют различные схемы пересчета направлений, одна из которых показана на рис. 2.4.

2.2 Истинные направления

Для обеспечения безопасности плавания судна в море необходимо уметь определять направление его движения относительно заданного пути, а также направления на навигационные опасности и видимые с судна ориентиры.

Направления в море определяются относительно истинного меридиана и называются *истинными направлениями*.

Направление движения судна определяется истинным курсом *ИК*. *Истинным курсом* называется горизонтальный угол между северной частью истинного меридиана и диаметральной плоскостью судна по направлению его движения, измеренный по ходу часовой стрелки (рис. 2.5).

Диаметральной плоскостью судна называется вертикальная плоскость, проходящая через продольную ось симметрии судна.

Диаметральная плоскость, пересекаясь с плоскостью истинного горизонта, образует *линию курса* судна. Таким образом, истинным курсом *ИК* является угол между северной частью истинного меридиана и линией курса. Отсчитывается истинный курс в круговой системе счета.

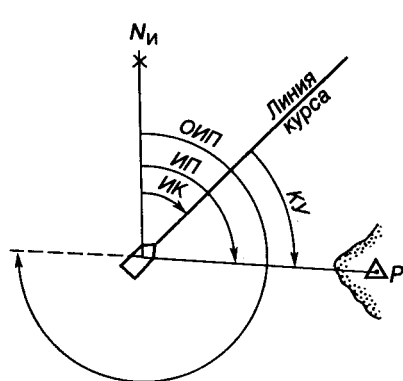


Рис. 2.5. Истинные направления

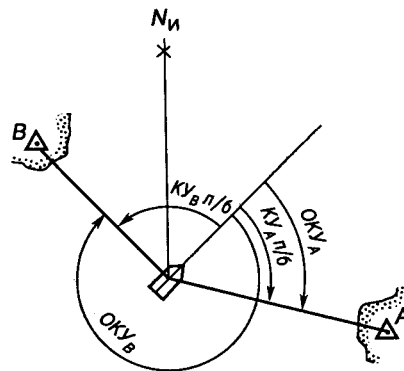


Рис. 2.6. Соотношение КУ и ОКУ

Направление с судна на естественные и искусственные объекты определяется истинным пеленгом *ИП* (см. рис. 2.5).

Истинным пеленгом называется горизонтальный угол между северной частью истинного меридиана и направлением из точки наблюдения на объект, измеряемый по часовой стрелке. Вертикальная плоскость, проходящая через место наблюдателя и место наблюдаемого объекта, называется *визирной плоскостью*. Пересечение визирной плоскости с плоскостью истинного горизонта образует *линию пеленга*, которая и является направлением на объект. Таким образом, истинным пеленгом *ИП* является угол между северной частью истинного меридиана и линией пеленга. Отсчитывается истинный пеленг в круговой системе счета.

При решении отдельных задач используется направление, противоположное истинному пеленгу. Это направление называется *обратным истинным пеленгом ОИП* (см. рис. 2.5):

$$\text{ОИП} = \text{ИП} \pm 180^\circ. \quad (2.1)$$

Правило знаков: $+180^\circ$, если $\text{ИП} < 180^\circ$, -180° , если $\text{ИП} > 180^\circ$.

При решении задач, для которых особое значение имеет взаимное расположение курса судна и наблюдаемого объекта, измеряют курсовой угол *КУ* — горизонтальный угол между носовой частью продольной оси судна и направлением из точки наблюдения на объект (см. рис. 2.5). Таким образом, *курсковым углом КУ* называется угол между носовой частью диаметральной плоскости судна и линией пеленга. Курсовой угол измеряется в круговой или полукруговой системе счета направлений.

В основном курсовые углы измеряют в полукруговой системе и для исключения многозначности им придают наименования, указывающие в сторону какого борта судна (правого или левого) величину. Например: $\text{КУ} = 10^\circ \text{ л/б}$, $\text{КУ} = 63^\circ \text{ п/б}$.

При решении задач курсовые углы правого борта считают положительными, а курсовые углы левого борта считают отрицательными.

При решении некоторых задач требуется, чтобы курсовой угол был измерен в круговом счете. Счет при этом ведут от носовой части диаметральной плоскости судна вправо от 0° до 360° . Курсовой угол, измеренный в круговом счете, получил название *отсчета курсового угла ОКУ*. Связь между отсчетом курсового угла и курсовыми углами, как видно из рис. 2.6, определяется выражениями

$$\text{ОКУ} = \text{КУ п/б}; \quad \text{ОКУ} = 360^\circ - \text{КУ л/б}. \quad (2.2)$$

Некоторым значениям курсовых углов традиционно присвоены наименования. Например, $KU = 90^\circ$ — направление, перпендикулярное диаметральной плоскости корабля — называют *траверзом*.

Математическая зависимость между истинными направлениями видна из рис. 2.5:

$$ИП = ИК + КУ. \quad (2.3)$$

При расчетах по формуле (2.3) следует помнить о необходимости учитывать знак курсового угла. Другая особенность заключается в том, что истинный курс и истинный пеленг не могут иметь отрицательных значений. Если все же при решении задач будет получено отрицательное значение $ИК$ или $ИП$, то его следует вычесть из 360° , а полученный результат считать положительным.

2.3 Принципы измерения направлений

Для измерения истинных направлений в море необходимо знать направление истинного меридиана. Для определения направления истинного меридиана на судах используют технические средства, называемые курсоуказателями. Основными из них являются гироскопические компасы (гирокомпасы) и магнитные компасы.

Гироскопас. Гироскопический компас (ГК) — электромеханический прибор с гироскопическим чувствительным элементом (ЧЭ), центр тяжести которого расположен ниже точки подвеса.

Под влиянием вращения Земли и силы земного притяжения, при ограничении свободы поворота гироскопов чувствительного элемента вокруг одной из их осей, возникает момент сил, который стремится привести ось ЧЭ в плоскость истинного меридиана. Путем затухающих колебаний ось ЧЭ приходит в плоскость истинного меридиана и удерживается в этой плоскости. Таким образом, ось ЧЭ гироскопа показывает направление истинного меридиана на судне.

Показания гироскопа с помощью электрической системы передачи передаются на *репитеры* — указатели курса, установленные на ходовом мостике и в других частях судна.

Гироскопас позволяет определять направления с точностью до 1° , что удовлетворяет требованиям обеспечения безопасности плавания. При изменении курса и скорости у гироскопа возникают инерционные погрешности, резко снижающие точность работы. В высоких широтах ($\varphi > 87^\circ$) направляющая сила ЧЭ умень-

шается настолько, что гироскопас теряет свойство быть курсоуказателем. Гироскопас — сложный измерительный прибор и требует специального электрического питания и квалифицированного обслуживания. На современных судах гироскопасы являются основными курсоуказателями.

Магнитный компас. Действие магнитного компаса (МК) основано на свойстве свободно подвешенной магнитной стрелки устанавливаться по направлению магнитных силовых линий магнитного поля.

Основной частью магнитного компаса является магнитный чувствительный элемент, состоящий из системы магнитных стрелок. Эта система магнитных стрелок аналогична одной магнитной стрелке высокого качества.

Под действием магнитного поля Земли, магнитная стрелка устанавливается по направлению силовых линий этого магнитного поля. Однако из-за несовпадения магнитных и географических полюсов Земли, направление силовых линий не совпадает с направлением истинного меридиана. Поэтому направления, измеренные с помощью магнитного компаса, не являются истинными. Их необходимо исправлять поправками, которые на судне должны быть известны. Для надежной работы магнитного компаса на судне требуется создание специальных условий, ослабляющих влияние судовых магнитных и электромагнитных полей. Магнитные компасы просты и не требуют электрического питания, но точность их сравнительно ниже и на современных судах они используются как резервные курсоуказатели.

2.4 Компасные направления. Поправка компаса

Теоретически главная ось гироскопа должна устанавливаться в направлении истинного меридиана. На практике по ряду причин она отклонена от направления истинного меридиана на некоторый угол.

Направление N_K , в котором устанавливается главная ось гироскопа, называется *гироскопическим (компасным) меридианом*. Направления, измеренные с помощью компасов (относительно компасного меридиана), называются компасными направлениями (рис. 2.7).

Компасный курс $KK_{ГК}$ — угол между северной частью компасного меридиана и диаметральной плоскостью корабля. Измеряется компасный курс в круговой системе счета.

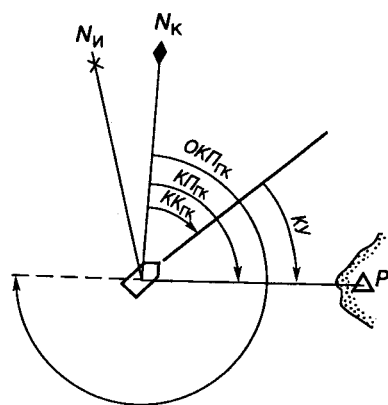


Рис. 2.7. Компасные направления

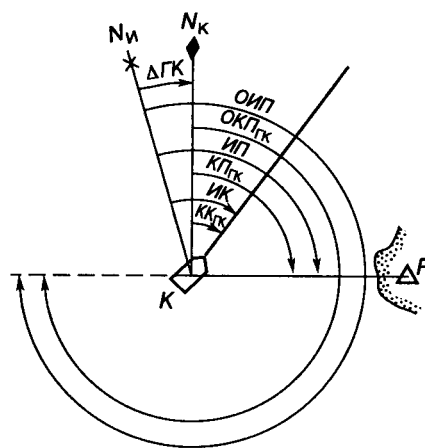


Рис. 2.8. Истинные и компасные направления

Компасный пеленг $КП_{ГК}$ — угол между северной частью компасного меридиана и линией пеленга. Измеряется компасный пеленг в круговой системе счета.

Обратный компасный пеленг $ОКП_{ГК}$ — угол между северной частью компасного меридиана и направлением, обратным направлению на предмет. $ОКП_{ГК}$ также измеряется в круговой системе счета.

Компасный меридиан отклонен от истинного меридиана на некоторый угол. Угол в плоскости истинного горизонта между истинным и компасным (гирокомпасным) меридианами называется поправкой компаса (гирокомпаса) $\Delta ГК$ (рис. 2.8).

Поправка гирокомпаса измеряется в полукруговой системе счета. Если компасный меридиан отклонен от истинного меридиана к востоку (вправо), то поправка гирокомпаса считается положительной. Если же компасный меридиан отклонен к западу (влево) от истинного, то поправка гирокомпаса считается отрицательной.

Для получения истинных направлений компасные направления, измеренные с помощью гирокомпаса, исправляют известной поправкой гирокомпаса (см. рис.2.8):

$$ИК = КП_{ГК} + \Delta ГК; ИП = КП_{ГК} + \Delta ГК; ОИП = ОКП_{ГК} + \Delta ГК. \quad (2.4)$$

По известным истинным направлениям и известной поправке гирокомпаса можно рассчитать и компасные направления:

$$КК_{ГК} = ИК - \Delta ГК; КП_{ГК} = ИП - \Delta ГК; ОКП_{ГК} = ОИП - \Delta ГК. \quad (2.5)$$

2.5 Способы определения поправки компаса

Навигационная безопасность плавания существенно зависит от точности измерения направлений в море, которая во многом определяется точностью знания поправок курсоуказателей. Это обстоятельство вызывает необходимость систематического определения поправок компасов. Сущность всех способов определения поправки компасов одина и заключается в сравнении направления, измеренного при помощи компаса (компасного направления) с истинным значением этого же направления по формулам:

$$\Delta ГК = ИП - КП_{ГК}; \Delta ГК = ИК - КК_{ГК}. \quad (2.6)$$

Различие способов определяется лишь методикой получения истинного направления.

Определение поправки компаса по пеленгу навигационного створа. Навигационный створ представляет собой систему из двух-трех ориентиров, расположенных на линии с известным истинным направлением (рис. 2.9).

Направление линии створа показывают на картах и указывают в навигационных пособиях. Для определения поправки компаса судно ложится на курс с таким расчетом, чтобы пересечь линию створа. В момент пересечения линии створа с помощью оптического пеленгатора, установленного на репитере этого компаса, измеряют компасный пеленг створа $КП_{ств}$. Истинный пеленг створа $ИП_{ств}$ считывают с карты. Поправку гирокомпаса находят по формуле

$$\Delta ГК = ИП_{ств} - КП_{ств}. \quad (2.7)$$

Определение поправки гирокомпаса по пеленгу отдаленного ориентира. Способ применяется в порту, когда место стоянки судна у причала точно известно. В видимости с судна необходимо иметь отдаленный ориентир P , нанесенный на карту (рис. 2.10).

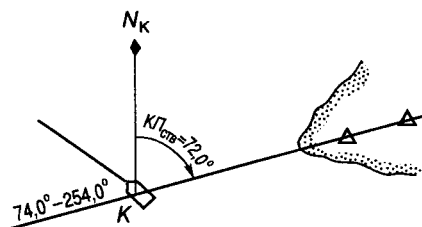


Рис. 2.9. Определение поправки компаса по пеленгу створа

Для определения поправки гирокомпаса место судна наносят на карту крупного масштаба и с этой карты измеряют истинный пеленг $ИП_P$ с судна на ориентир P . Гирокомпасный пеленг $ГКП_P$ на этот же ориентир измеряют с помощью пеленгатора.

Поправка гирокомпаса

$$\Delta GK = ИП_P - ГКП_P. \quad (2.8)$$

Определение поправки компаса по пеленгу светила. Способ применяется в основном при плавании в открытом море, если погодные условия позволяют измерить компасный пеленг $КП_с$ на небесное светило (Солнце, Луну, планеты, навигационные звезды). За истинный пеленг светила принимают счислимый азимут (расчетный пеленг) светила $A_с$, рассчитанный с использованием методов мореходной астрономии.

Поправка компаса

$$\Delta GK = A_с - КП_с. \quad (2.9)$$

Определение поправки компаса по сличению. Способ применяется для определения поправки компаса ΔGK_1 , когда на судне имеется

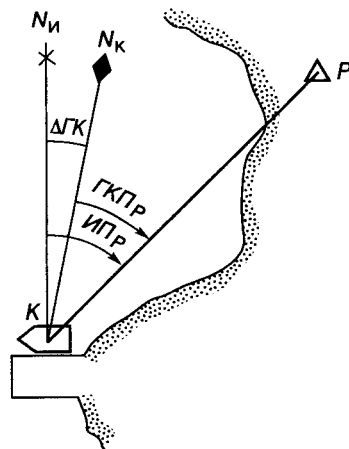


Рис. 2.10. Определение поправки гирокомпаса по пеленгу отдаленного ориентира

второй курсоуказатель, поправка которого ΔGK_2 известна. При этом два наблюдателя одновременно замечают показания курса судна по двум компасам KK_1 и KK_2 . Исправляя показания второго компаса известной поправкой ΔGK_2 , получают истинный курс судна $ИК$:

$$ИК = KK_2 + \Delta GK_2.$$

Далее находят искомую поправку первого гирокомпаса

$$\begin{aligned} \Delta GK_1 &= ИК - KK_1 \\ \text{или } \Delta GK_1 &= KK_1 - KK_2 + \Delta GK_2. \end{aligned} \quad (2.10)$$

2.6 Земной магнетизм. Магнитные направления

Земля обладает магнитными свойствами. Магнитные полюса Земли не совпадают с географическими полюсами и имеют координаты (рис. 2.11):

северный магнитный полюс P_{NM} ($\varphi = 72^\circ N$, $\lambda = 96^\circ W$);
южный магнитный полюс P_{SM} ($\varphi = 70^\circ S$, $\lambda = 150^\circ E$).

Вектор напряженности магнитного поля Земли T направлен на северный магнитный полюс Земли и в общем случае не параллелен земной поверхности. Он находится под некоторым углом J к горизонтальной плоскости, который называется *магнитным наклонением*.

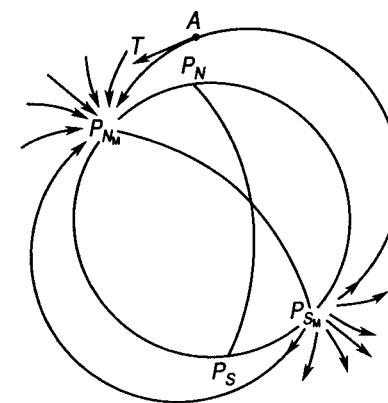


Рис. 2.11. Элементы земного магнетизма

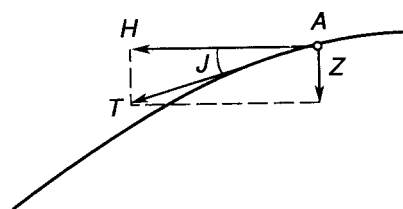


Рис. 2.12. Вектор напряженности магнитного поля Земли

ем. Вектор напряженности T можно разложить на две составляющие (рис. 2.12):

горизонтальную $H = T \cos J$
и вертикальную $Z = T \sin J$.

Таким образом, на магнитную стрелку, помещенную в магнитное поле Земли, действуют две силы: горизонтальная (полезная) составляющая H , которая стремится удержать магнитную стрелку в направлении на северный магнитный полюс, и вертикальная составляющая Z , которая стремится наклонить магнитную стрелку.

Вертикальная плоскость, проходящая через вектор напряженности магнитного поля Земли в данной точке, при пересечении с поверхностью Земли дает линию магнитного меридиана. Так как магнитные полюса не совпадают с географическими полюсами, то и направления магнитных меридианов N_M в данной точке не будут совпадать с направлениями географических меридианов. Магнитная стрелка, помещенная в магнитное поле Земли, установится по направлению горизонтальной составляющей H вектора напряженности T , и составит с истинным меридианом $N_{И}$ угол d (рис. 2.13).

В направлении магнитного меридиана установится стрелка магнитного компаса, расположенного вдали от больших металлических масс и источников электричества (на берегу или на судне, которое не обладает собственным магнитным полем).

Угол d между истинным и магнитным меридианами называется *магнитным склонением*. Измеряется магнитное склонение в полуциркулярной системе счета. Если магнитный меридиан отклонен от истинного меридиана к востоку, то магнитное склонение называют восточным dE и считают положительным. Если магнитный меридиан отклонен к западу от истинного меридиана, то магнитное склонение называют западным dW и считают отрицательным.

Магнитное склонение в различных точках Земли имеет различные значения и, в связи с дрейфом магнитных полюсов, изменяется с течением времени. При этом магнитное склонение может увеличиваться или уменьшаться.

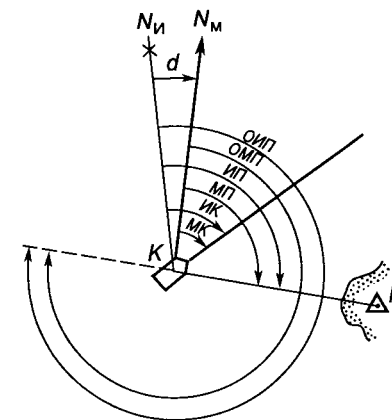


Рис. 2.13. Магнитные и истинные направления

Под увеличением или уменьшением магнитного склонения понимают увеличение или уменьшение модуля (абсолютной величины) магнитного склонения независимо от его знака.

Изменения магнитного склонения характеризуются изменениями склонения за год, т. е. годовыми изменениями. Например: годовое увеличение $0,08^\circ$; годовое уменьшение $0,04^\circ$ и т. д. На морских навигационных картах указывают величину магнитного склонения на год печати карты и характер его изменения. Например, на карте № 22114 указано: "Магнитное склонение приведено к 2000 г., годовое увеличение $0,02''$ ". Такие данные приводятся в нескольких точках карты. Для использования магнитного склонения при плавании судна его необходимо привести к году плавания.

Кроме закономерных изменений магнитное склонение подвержено незакономерным изменениям. К таким изменениям относятся магнитные аномалии и бури. Магнитными бурями называются резкие, внезапные изменения магнитного склонения, вызванные деятельностью Солнца.

В отдельных районах морей и океанов магнитное склонение резко отличается от магнитного склонения в окружающих районах. Такое резкое отклонение магнитного склонения от склонения в окружающих районах называется *магнитной аномалией*.

Направления, измеренные относительно магнитного меридиана, называются *магнитными направлениями* (см. рис. 2.13).

Угол в плоскости истинного горизонта между северной частью магнитного меридиана и линией курса судна называется *магнитным курсом МК*. Угол в плоскости истинного горизонта между северной частью магнитного меридиана и линией пеленга называется

ся магнитным пеленгом $МП$. Магнитный курс и магнитный пеленг измеряются в круговой системе счета.

$$МП = МК + КУ. \quad (2.11)$$

Направление, обратное магнитному пеленгу, называется *обратным магнитным пеленгом* $ОМП = МП \pm 180^\circ$.

Магнитные и истинные направления связаны следующими соотношениями (см. рис. 2.13):

$$\left. \begin{aligned} ИК &= МК + d; \\ ИП &= МП + d; \\ ОИП &= ОМП + d. \end{aligned} \right\} \quad (2.12)$$

Выражения (2.12) алгебраические. В них следует учитывать знак магнитного склонения d .

2.7 Компасные направления по магнитному компасу

Современные суда строят из стали, и их корпуса обладают собственными магнитными свойствами. Поэтому на магнитный компас, установленный на судне, кроме магнитного поля Земли действует магнитное поле судна и стрелка магнитного компаса отклоняется от магнитного меридиана на некоторый угол. Явление отклонения стрелки магнитного компаса от магнитного меридиана под действием магнитного поля судна называется *девиацией*.

Вертикальная плоскость, в которой устанавливается стрелка магнитного компаса на судне, называется *компасным меридианом* N_K (рис. 2.14).

Угол между магнитным и компасным меридианами называется *девиацией магнитного компаса* δ . Девиация измеряется в полукруговой системе счета. Если компасный меридиан отклонен к востоку от магнитного меридиана, то девиацию считают положительной. Если компасный меридиан отклонен к западу от магнитного меридиана, то девиацию считают отрицательной.

При изменении курса судна изменяются величина и направление магнитного поля судна. Следовательно, изменяется и воздействие его магнитного поля на стрелку магнитного компаса. Это

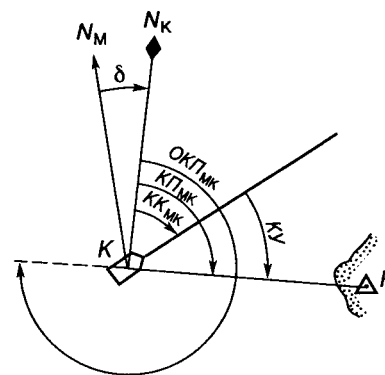


Рис. 2.14. Компасные направления

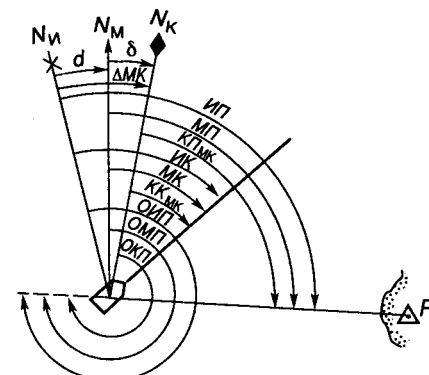


Рис. 2.15. Компасные, магнитные и истинные направления

вызывает изменение девиации. Таким образом, девиация магнитного компаса зависит от курса судна $\delta = f(K K_{MK})$.

При больших значениях девиации магнитный компас работает неустойчиво, поэтому на судне ее влияние компенсируют специальным девиационным устройством. Полностью устранить влияние судового железа на магнитный компас невозможно. Оставшуюся девиацию называют *остаточной девиацией*.

Направления, измеренные относительно компасного меридиана, называются *компасными направлениями*.

Угол между северной частью компасного меридиана и линией курса судна называется *компасным курсом* KK_{MK} . Угол между северной частью компасного меридиана и линией пеленга называется *компасным пеленгом* $KП_{MK}$. Компасный курс и компасный пеленг измеряются в круговой системе счета.

Конструкция магнитных компасов не позволяет измерять компасный пеленг. Возможно измерение лишь обратного компасного пеленга с последующим аналитическим расчетом компасного пеленга: $КП_{MK} = ОКП_{MK} \pm 180^\circ$.

Связь между магнитными и компасными направлениями осуществляется через δ :

$$\left. \begin{aligned} МК &= КК_{MK} + \delta; \\ МП &= КП_{MK} + \delta; \\ ОМП &= ОКП_{MK} + \delta. \end{aligned} \right\} \quad (2.13)$$

Выражения (2.13) алгебраические. В них следует учитывать знак магнитного склонения δ .

Использование компасных и магнитных направлений не обеспечивает безопасности плавания. Для управления судном пользуются только истинными направлениями.

Из рис. 2.15 видно:

$$\begin{aligned} ИК &= КК_{МК} + d + \delta; \\ ИП &= КП_{МК} + d + \delta; \\ КУ &= КП_{МК} - КК_{МК}. \end{aligned} \quad (2.14)$$

Алгебраическую сумму магнитного склонения d и девиации δ называют *поправкой магнитного компаса $\Delta МК$* :

$$\Delta МК = d + \delta. \quad (2.15)$$

Поправка магнитного компаса служит для перехода от компасных направлений к истинным направлениям:

$$\left. \begin{aligned} ИК &= КК_{МК} + \Delta МК; \\ ИП &= КП_{МК} + МК. \end{aligned} \right\} \quad (2.16)$$

Определяется поправка магнитного компаса как угол между истинным и компасным меридианами, который измеряется в полукруговой системе счета. Поправка магнитного компаса имеет знак, который следует учитывать при расчетах по формулам (2.16).

Таким образом, для расчета истинных направлений по измеренным компасным направлениям, необходимо знать поправку магнитного компаса, которую обычно определяют (измеряют), используя один из рассмотренных выше способов определения поправки курсоуказателей. Полученное таким образом значение $\Delta МК$ справедливо лишь для того курса судна, при котором поправка определялась. Если курс судна изменится, то изменится и поправка магнитного компаса, так как $\delta = f(КК_{МК})$.

Не всегда и не на всех курсах судна есть возможность непосредственного измерения $\Delta МК$. Именно поэтому поправку магнитного компаса часто вычисляют аналитически, определяя ее составляющие: магнитное склонение d и девиацию магнитного компаса δ .

Магнитное склонение выбирается с морской навигационной карты по координатам судна и приводится к году плавания.

Девиацию выбирают из таблицы девиации по аргументу — компасному курсу $КК_{МК}$. Если компасный курс неизвестен и его нужно определить по данному истинному курсу судна, то девиация магнитного компаса выбирается по значению магнитного курса $МК$. Если значение компасного курса не совпадает с табличным значением, то выполняется линейная интерполяция.

Для составления таблицы девиацию определяют путем специальных наблюдений. Так как девиация магнитного компаса зави-

Таблица 2.1. Таблица девиации

δ , град	Компасные курсы, град		δ , град
+2,3	0 (360)		+2,3
+1,7	10	350	+2,5
+1,3	20	340	+2,7
+1,0	30	330	+3,0
+0,5	40	320	+3,5
...	...	...	...
...	...	...	...
-3,7	150	210	+1,3
-3,3	160	200	+0,3
-2,5	170	190	-0,7
-1,7	180		-1,7

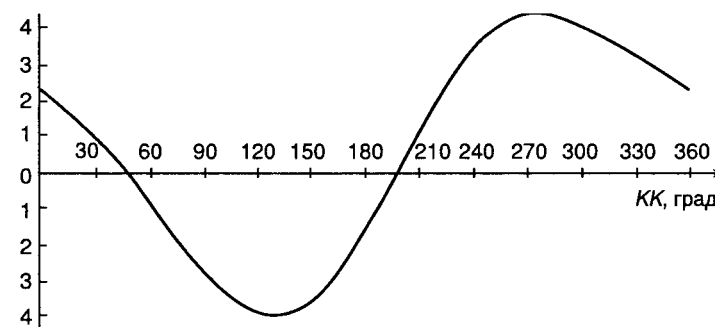


Рис. 2.16. График девиации

сит от курса судна, то ее определяют на восьми компасных курсах: $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ, 225^\circ, 270^\circ, 315^\circ$.

По результатам определений рассчитывается таблица девиации магнитного компаса (табл. 2.1).

На практике часто пользуются графическим выражением зависимости девиации от компасного курса. Для этого по данным таблицы девиации строят график девиации (рис. 2.16).

С такого графика удобнее выбирать девиацию магнитного компаса на данное значение компасного курса, так как интерполяция не требуется.

Глава 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЯ, ПРОЙДЕННОГО СУДНОМ

3.1 Единицы длины и скорости в судоководении

Для измерения расстояний в море, глубин, высот береговых ориентиров, а также скоростей судна, ветра и течения в судоководении применяются следующие единицы длины.

Морская миля — единица длины, равная длине $1'$ дуги меридиана земного эллипсоида. Длина $1'$ дуги меридиана определяется формулой

$$\Delta l' = M \arcl' = \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2 \sin^2 \varphi)^{\frac{3}{2}}} \arcl'.$$

Для приближенных расчетов пользуются формулой

$$\Delta l' = 1852,23 - 9,34 \cos 2\varphi. \quad (3.1)$$

Из формул видно, что длина $1'$ дуги меридиана является величиной переменной, зависящей от широты места. Измерять расстояния единицей длины, имеющей переменную величину, неудобно, поэтому за единицу длины для измерения расстояний на море принята стандартная миля, равная 1852 м. За стандартной милей сохранилось название *морская миля*. Морская миля — основная единица длины для измерения расстояний на море.

Кабельтов — единица длины, равная 0,1 мили, т. е. 185,2 м. В кабельтовых измеряют небольшие расстояния на море:

- расстояния между судами при оценке безопасности плавания;
- дальности, измеренные радиолокационными станциями.

Глубины морей и океанов, высоты гор и других ориентиров над уровнем моря выражаются в *метрах*.

При пользовании английскими картами и другими пособиями по судоководению можно встретить другие единицы длины:

сажень морская — единица длины, равная 1,83 м. Применяется для обозначения глубин на английских картах;

фут — единица длины, равная 30,48 см. Применяется для измерения высот предметов на берегу и малых глубин.

Для перехода от одних единиц длины к другим в Мореходных таблицах (МТ-2000) помещены табл. 5.16–5.22.

Основной единицей скорости, принятой в судоководении, является *узел*. Один узел соответствует скорости, при которой судно проходит за один час одну морскую милю: $1 \text{ уз} = 1 \text{ миля/ч}$. В судоководении в узлах выражают скорости судов и морских течений.

При решении некоторых задач скорость судов удобно выражать в *кабельтовых в минуту* ($V_{\text{каб/мин}}$).

Соотношение между скоростями в узлах и в кабельтовых в минуту определяется выражением

$$V_{\text{каб/мин}} = \frac{V_{\text{уз}}}{6}. \quad (3.2)$$

Скорость судна в кабельтовых в минуту используется для расчета пройденных расстояний за малые промежутки времени, измеряемые минутами.

Скорость ветра, скорость звука в воде и ряд других скоростей в судоководении выражают в *метрах в секунду* ($V_{\text{м/с}}$).

Соотношение скоростей в метрах в секунду и в узлах определяется выражением

$$V_{\text{м/с}} \approx \frac{1}{2} V_{\text{уз}}. \quad (3.3)$$

Для перевода скоростей из одних единиц измерения в другие в МТ-2000 помещена табл. 5.1.

3.2 Принципы измерения скорости и пройденного судном расстояния

Для определения скорости и пройденного расстояния на судах устанавливают технические средства, которые получили название *лагов*. Лаги классифицируют по виду измеряемой скорости и по физическим принципам измерения скорости.

Перемещающееся по водной поверхности Земли судно, в общем случае совершает движение и в водной и в воздушной средах. Водные и воздушные массы, кроме того, имеют самостоятельное движение относительно земной коры (дна морей и океанов). Таким образом, движение судна – сложное движение. За абсолютную систему отсчета в морской навигации принята система, неподвижная относительно поверхности Земли, и поэтому перемещение судна относительно дна морей и океанов называют *абсолютным*.

Движение судна относительно водной среды принято считать *относительным движением*, а перемещение судна за счет движения водных или воздушных масс называют *переносным движением*. Каждый вид движения характеризуется соответствующим вектором скорости – абсолютной V_a , относительной V_o и переносной V_n . При этом $\vec{V}_a = \vec{V}_o + \vec{V}_n$ (рис. 3.1).

Современные лаги подразделяются на абсолютные и относительные, исходя из того, какую скорость судна они измеряют.

Существует несколько физических принципов измерения абсолютной скорости, из которых в настоящее время на практике реализованы два: измерение абсолютной скорости по доплеровскому сдвигу частот и определение абсолютной скорости по результатам измерения ускорений судна в инерциальном пространстве. Первый принцип реализован в гидроакустических доплеровских лагах. Второй принцип реализован в инерциальных навигационных системах (ИНС).

Наибольшее распространение получили относительные лаги, которые измеряют скорость корабля относительно воды, однако не учитывают движения судна вместе с ее массами. Это переносное движение судна судоводителям приходится учитывать отдельно.



Рис. 3.1. Составляющие скорости судна

Относительные лаги по физическим принципам измерения скоростей подразделяются на гидродинамические и индукционные (электромагнитные) лаги.

Принцип работы *индукционного лага* основан на явлении электромагнитной индукции. В таких лагах с помощью специального устройства за бортом судна создается магнитное поле. При движении судна в морской воде как в проводнике наводится электродвижущая сила E (ЭДС). Величина ЭДС зависит от скорости судна. Измеряя величину ЭДС, определяют относительную скорость судна – скорость судна относительно воды V_o :

$$E = f(V_o); V_o = F(E).$$

Достоинством индукционных лагов является высокая точность работы на всем диапазоне скоростей судна, в том числе и на заднем ходу. Некоторые их модели позволяют измерять скорость судна и в боковом направлении. К основным недостаткам таких лагов относят ненадежность работы в пресной воде, а также подверженность помехам при воздействии на измерительное устройство внешних электромагнитных полей.

Принцип работы *гидродинамических лагов* основан на измерении динамического давления воды P_d , возникающего при движении судна относительно массы воды. Величина этого давления зависит от скорости судна V_o относительно воды:

$$P_d = f(V_o); V_o = F(P_d).$$

Достоинством гидродинамических лагов является относительно низкая стоимость при достаточной для практики точности измерения скорости. К недостаткам этих лагов относят низкую надежность работы на скоростях до трех узлов.

Во всех лагах устанавливается интегрирующее устройство, которое по измеренной относительной скорости V_o и времени плавания t вырабатывает пройденное судном расстояние относительно воды

$$S_o = \int_0^t V_o dt.$$

Показания измеренной скорости и выработанного пройденного расстояния транслируются на репитеры лага – указатели скорости и счетчики пройденного расстояния (СПР), установленные в различных частях судна.

В тех случаях, когда лаг по какой-либо причине не работает, а также для контроля за работой лага, скорость судна может быть определена по таблице соответствия скорости судна оборотам его винтов, форма которой приведена ниже (форма 3.1).

Форма 3.1

V_o , уз	N_o , об/мин
...	...

Такие таблицы составляют по результатам специальных испытаний, которые проводят на различных режимах движения судна. При этом скорость вращения винтов (число оборотов винтов за 1 минуту) измеряется с помощью тахометров.

Сняв показания с тахометра и выбрав из таблицы соответствующее значение скорости судна, можно рассчитать пройденное судном расстояние за определенный промежуток времени по формуле

$$S_o = V_o t, \quad (3.4)$$

где S_o — пройденное относительное расстояние, мили; V_o — относительная скорость, уз; t — время плавания, ч.

В этом случае относительную скорость судна V_o считают равной скорости, выбранной по оборотам винтов $V_{об}$, и рассчитанное расстояние поэтому обозначают $S_{об}$:

$$S_{об} = V_{об} t. \quad (3.5)$$

Если время плавания судна выражается в минутах, то формула (3.5) примет вид:

$$S_{об} = \frac{V_{об} t}{60}. \quad (3.6)$$

Для облегчения расчетов по формуле (3.6) в МТ-2000 помещена табл. 2.15.

На судах кроме тахометров устанавливаются суммарные счетчики числа оборотов движителей, которые производят подсчет количества оборотов нарастающим итогом. С помощью таких счетчиков пройденное относительно воды расстояние может быть рассчитано с высокой точностью. Для этого за определенный промежуток времени с суммарного счетчика необходимо снять последовательно два показания числа оборотов N_1 и N_2 и рассчитать их

разность $\Delta N = N_2 - N_1$. Пройденное расстояние определяется как произведение:

$$S_{об} = a \Delta N, \quad (3.7)$$

где a — аванс — расстояние, проходимое судном относительно воды за один оборот винта (движителя).

Величина аванса рассчитывается на скоростных испытаниях судна по измерениям относительной скорости V_o и соответствующей ей скорости вращения (числу оборотов в минуту) движителей судна N_o :

$$a = \frac{V_o}{N_o}. \quad (3.8)$$

3.3 Определение пройденного судном расстояния по относительному лагу

Лаг показывает пройденное расстояние нарастающим итогом, поэтому для определения пройденного судном расстояния необходимо заметить отсчеты лага в начале плавания $ол_1$ и при его окончании $ол_2$ и рассчитать разность $ол_2 - ол_1$. Полученную разность отсчетов лага обозначают аббревиатурой *рол*.

Как всякий прибор, лаг показывает пройденное расстояние с некоторой погрешностью, поэтому $рол \neq S$. Для определения пройденного судном расстояния необходимо определить погрешность лага и учесть ее в виде поправки к *рол*. С этой целью на скоростных испытаниях сравнивают относительное расстояние, пройденное судном, S_o , с расстоянием, которое показал лаг (*рол*).

Поправку лага рассчитывают как относительную его погрешность, взятую с обратным знаком:

$$\Delta l_{\%} = \frac{S_o - рол}{рол} 100; \quad (3.9)$$

$$\Delta l_{\%} = \frac{V_o - V_{л}}{V_{л}} 100, \quad (3.10)$$

где S_o — относительное расстояние, пройденное судном; V_o — относительная скорость судна; $V_{л}$ — относительная скорость по показаниям лага.

Поправка лага положительна, если $S_0 > \text{рол}$, т. е., если лаг показывает расстояние меньшее, чем в действительности прошло судно. Поправка лага отрицательна, если $S_0 < \text{рол}$.

Из выражения (3.10) видно, что поправка лага зависит от относительной скорости судна $\Delta l_{\%} = f(V_0)$, поэтому ее определяют для различных скоростей. Результаты определений сводят в таблицу поправок лага, которой и пользуются на практике (форма 3.2)

Форма 3.2

V_0	$\Delta l_{\%}$
...	...

Решая выражение (3.9) относительно S_0 , получим формулу для практических расчетов пройденного судном расстояния с использованием относительного лага:

$$S_0 = \text{рол} + \frac{\Delta l}{100} \text{рол}, \quad S_0 = \text{рол} \left(1 + \frac{\Delta l}{100} \right). \quad (3.11)$$

В формуле (3.11), обозначив $\left(1 + \frac{\Delta l}{100} \right) = k_{\text{л}}$ — коэффициент ла-

га, получим

$$S_0 = \text{рол} k_{\text{л}}. \quad (3.12)$$

Таким образом, *коэффициентом лага* называется число, на которое надо умножить разность отсчетов лага (рол), для того чтобы получить пройденное судном относительное расстояние.

В МТ-2000 для определения пройденного судном расстояния помещена табл. 2.17, рассчитанная по формуле (3.11).

Раздел 2

КАРТОГРАФИЯ

Глава 4

ОСНОВЫ ТЕОРИИ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЕКЦИЙ

4.1 Картографическая проекция

Картографией называется область науки, техники и производства, изучающая создание и использование картографических произведений. Картография подразделяется на математическую картографию, картометрию, картоведение, проектирование и составление карт, оформление и издание карт.

Математическая картография разрабатывает вопросы математического обоснования карт и является первой ступенью в процессе создания карты.

Картографируемая поверхность Земли имеет сложную конфигурацию и неправильную геометрическую форму, а поэтому не может быть описана математическими формулами. Для отображения ее на плоскости необходимо от физической поверхности Земли перейти к ее математической модели. Такая математическая модель будет весьма близка к физической поверхности, однако уже выражена математическими формулами.

При картографировании за модель Земли принимают шар или эллипсоид вращения, малая ось которого совпадает с осью вращения Земли. Эти фигуры нельзя развернуть на плоскости, поэтому при создании карт используют различные способы проектирования. При этом основная задача математической картографии состоит в том, чтобы спроектировать на плоскость систему географических координат — сетку параллелей и меридианов.

Картографической проекцией называется математически выраженный закон, связывающий географические координаты некоторой точки на поверхности криволинейной модели Земли с прямоугольными координатами этой же точки на плоскости.

Общие уравнения картографических проекций имеют вид:

$$x = f_1(\varphi, \lambda),$$

$$y = f_2(\varphi, \lambda),$$

где φ и λ — криволинейные географические координаты некоторой точки на картографируемой поверхности; x и y — прямоугольные координаты изображения этой же точки на плоскости в проекции, определяемой функциями f_1 и f_2 .

Свойства проекции будут зависеть от свойств и характера функций f_1 и f_2 . Поскольку этих функций может быть множество, то и получаемые проекции тоже могут быть разнообразными.

Изображение семейства линий меридианов и параллелей на плоскости называется *картографической сеткой*.

Каждой проекции соответствует определенная картографическая сетка, которая и составляет математическую основу создаваемых карт.

4.2 Масштаб

Карта должна быть не только плоским, но и уменьшенным до необходимых размеров изображением поверхности. Поэтому, прежде чем проектировать на плоскость, картографируемую поверхность уменьшают. Математическая модель Земли в заданном масштабе, называется условным глобусом.

Каждая карта имеет *главный масштаб*, который показывает общую степень уменьшения всей картографируемой поверхности при изображении на плоскости (карте):

$$\mu_0 = ds_0/dS_0,$$

где μ_0 — главный масштаб карты; ds_0 — бесконечно малый отрезок на поверхности условного глобуса; dS_0 — соответствующий ему бесконечно малый отрезок на картографируемой поверхности.

После проектирования — развертки условного глобуса на плоскость — главный масштаб сохраняет свое численное значение

лишь в определенных точках или вдоль некоторых линий на карте. Точка карты (линия), в которой масштаб изображения равен главному масштабу, называется *центральной точкой* (центральной линией) проекции. В других точках карты масштаб изображения будет отличаться от главного. Поэтому, кроме главного масштаба μ_0 , различают еще и *частный масштаб*

$$\mu = ds/dS_0,$$

где μ — частный масштаб карты; ds — бесконечно малый отрезок на карте; dS_0 — соответствующий ему бесконечно малый отрезок на картографируемой поверхности.

Если главный масштаб характеризует общее уменьшение изображения, то частный масштаб характеризует степень уменьшения изображения только в данной точке карты.

Отношение частного масштаба в данной точке по данному направлению к главному масштабу называется *увеличением масштаба* и характеризует степень искажения проекции или масштаб карты по отношению к условному глобусу:

$$C = \mu/\mu_0 = ds/ds_0.$$

Увеличение масштаба изменяется при переходе от одной точки карты к другой, а также по разным направлениям, проложенным из одной и той же точки. Это приводит к искажению длин, направлений, углов и площадей на проекции.

Чем ближе увеличение масштаба к единице во всех точках карты, тем, следовательно, лучше и совершеннее выбранная для данной карты проекция.

Разность между увеличением масштаба C и единицей называется относительным искажением длин или просто *искажением длин*:

$$V = C - 1 = \mu/\mu_0 - 1 = (\mu - \mu_0)/\mu_0.$$

Если известны главный масштаб карты и ее частный масштаб в данной точке, то искажение длин может быть подсчитано сравнительно просто. Например, если главный масштаб $\mu_0 = 1:500000$, а частный масштаб $\mu = 1:434\,780$, то увеличение масштаба $C = 1,15$, а искажение длин $V = 0,15 = +15\%$.

Пусть на карте отрезок равен 50 мм, что при главном масштабе $1:500000$ соответствует расстоянию в 25000 м. Следовательно, дей-

ствительное расстояние на местности, соответствующее данному отрезку карты, будет равно $25000 : 1,15 = 21739$ м.

На картах показывают только главный масштаб, который может быть выражен в двух видах — числовом и линейном.

Числовой масштаб изображается в виде дроби, числитель которой единица, а знаменатель показывает, какова степень уменьшения длин на условном глобусе. Например; $M = 1/10000$ или $M = 1/750000$.

Возможна и такая форма записи масштаба: $M = 1:100000$ или $M = 0,000001$.

При графической работе на карте чаще используют линейный масштаб, показывающий число единиц, принятых для измерения длин на местности (км, мили), которое содержится в единице, принятой для измерения длин на карте (мм, см). Линейный масштаб на специально вычерченной шкале показывает число километров, содержащихся в одном миллиметре или число миль в одном сантиметре. Иногда вместо построения шкалы ограничиваются указанием: в 1 см — 1 кбт или в 1 см — 2 мили.

На морских навигационных картах в проекции Меркатора линейный масштаб строят вдоль боковых рамок карты. На топографических и географических картах линейный масштаб вычерчивают под нижней рамкой карты в виде короткой шкалы.

С уменьшением масштаба карты изображения небольших объектов становятся настолько малыми, что нанесение их на карту становится невозможным. Практикой установлено, что разрешающая способность невооруженного глаза человека равна 0,1 мм. Поэтому две точки, находящиеся на расстоянии менее 0,1 мм одна от другой, усматриваются как одна. В соответствии с этим свойством зрения человека принято линейное расстояние на местности, соответствующее на карте отрезку в 0,1 мм, называть *предельной точностью масштаба* (ПТМ). Кроме того, при составлении карты неизбежны некоторые неточности за счет погрешностей проектирования, вычерчивания контуров и погрешностей за деформацию бумаги. Поэтому при работе на карте условились считать, что предельная точность масштаба — это расстояние на местности, соответствующее отрезку на карте, равному 0,2 мм.

Предельная точность масштаба зависит от масштаба карты, выражается в метрах и рассчитывается следующим образом:

$$\text{ПТМ} = 0,0002 C,$$

где C — знаменатель главного масштаба карты.

Например, для карты масштаба $1:500000$ $\text{ПТМ} = 0,0002 \times 500000 = 100$ м.

По сути, предельная точность масштаба равна тому минимальному расстоянию на местности, которое может быть изображено на карте.

Масштаб и предельная точность масштаба карты характеризуют разрешающую способность данной карты, а также определяют допустимую погрешность, с которой на этой карте могут выполняться графические построения.

4.3 Характеристика искажений проекции

Величины искажений являются одним из основных критериев оценки достоинства карты. При картографировании искажения неизбежны, однако они подчиняются некоторым закономерностям и поэтому поддаются учету при работе на карте. Полную и наглядную характеристику искажений любой проекции в любой ее точке дает эллипс искажений (индикатриса). *Эллипс искажений* подобен изображению на карте бесконечно малой окружности на поверхности Земли с центром в этой точке. На земной поверхности (рис. 4.1) показана окружность бесконечно малого радиуса r_0 с центром в точке M_0 . Отрезки меридиана и параллели точки M_0 , ограниченные этой бесконечно малой окружностью, спроектированы на плоскость.

В общем случае вследствие бесконечно малой их величины эти отрезки изобразятся прямыми линиями, но пересечение их на кар-

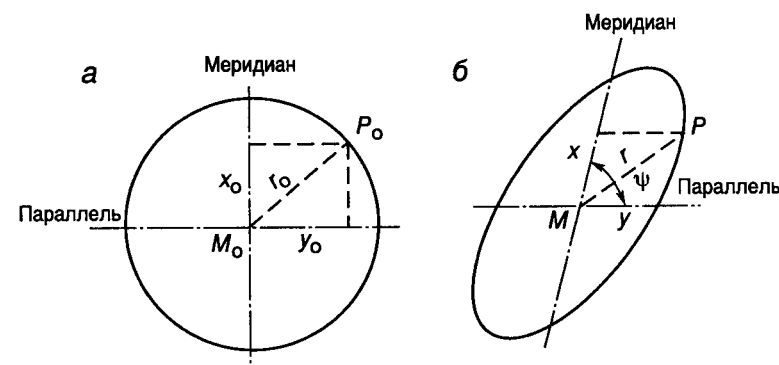


Рис. 4.1. Окружность на земной поверхности (а) и эллипс искажений (б) на карте

те в точке M обычно уже не образует прямого угла. Если на земной поверхности точка окружности P_0 имеет прямоугольные координаты x_0 и y_0 , то проекция этой точки P на плоскости проекции (карте) имеет косоугольные координаты x и y .

Обозначив масштаб вдоль меридиана m , а вдоль параллели n , согласно определению масштаба:

$$m = \frac{x}{x_0}; \quad n = \frac{y}{y_0}.$$

Так как на земной поверхности была показана окружность, то ее уравнение

$$x_0^2 + y_0^2 = r_0^2.$$

С учетом выражений для m и n уравнение кривой, изображающей исходную окружность на карте в данном масштабе, будет иметь вид:

$$\frac{x^2}{m^2} + \frac{y^2}{n^2} = r_0^2$$

или

$$\frac{x^2}{m^2 r_0^2} + \frac{y^2}{n^2 r_0^2} = 1.$$

Полученное выражение является уравнением эллипса в сопряженных полудиаметрах.

Из множества взаимно перпендикулярных диаметров исходной окружности всегда имеются два, которые в проекции изображаются главными осями эллипса искажений. Направления этой пары называют *главными направлениями*. Во многих картографических проекциях главные направления не совпадают с меридианами и параллелями. Однако именно по этим направлениям значения масштабов экстремальны:

- вдоль большой оси эллипса масштаб максимален

$$\mu_{\max} = \frac{a}{r_0};$$

- вдоль малой оси эллипса масштаб минимален

$$\mu_{\min} = \frac{b}{r_0}.$$

Считая $r_0 = 1$, $\mu_{\max} = a$, $\mu_{\min} = b$.

Эллипс искажений в данной точке данной проекции выражает не только вектор максимального и минимального искажений, но также общий характер и степень искажений по любому другому направлению. Это его свойство позволяет оценивать основные характеристики картографических проекций: масштабы площадей p , масштабы длин μ , искажения углов ω .

4.4 Классификация картографических проекций

В картографии проекции классифицируют по двум основным признакам:

- по характеру искажений;
- по виду меридианов и параллелей нормальной картографической сетки.

По характеру искажений различают равноугольные, равновеликие, равнопромежуточные и произвольные картографические проекции.

Равноугольными проекциями называются проекции, не искажающие направлений и углов. В таких проекциях сохраняется подобие фигур, масштаб зависит от положения точки на карте и не зависит от направления, вследствие чего эллипсы искажений во всех точках карты будут превращаться в окружности различных радиусов. Для этих проекций имеют место соотношения:

$$a = b, m = n, \omega = 0, p \neq 1.$$

На картах, составленных в равноугольных проекциях, углы и периметры можно измерять и прокладывать непосредственно с помощью

транспортира и протрактора. По сравнению с другими проекциями на них удобнее измерять расстояния. Благодаря этим особенностям они широко применяются при составлении морских навигационных карт.

Равновеликими или *равноплощадными* называются проекции, на которых масштаб площадей во всех точках карты одинаков и площади на картах пропорциональны площадям в натуре. В проекциях эллипсы искажений имеют различную форму в различных местах карт, но площади их одинаковы. На картах в таких проекциях искажаются углы и нарушается подобие фигур. Для этих проекций справедливы соотношения:

$$p = ab = mn \sin \theta = 1; a = \frac{1}{b}; b = \frac{1}{a}; \operatorname{tg} (45^\circ + 0,5\omega) = a.$$

Для морских навигационных карт данный вид проекций не применяется.

Равнопромежуточными называются проекции, в которых на картах в каждой точке сохраняются длины по одному из главных направлений, т. е. в каждой точке или $a = 1$, или $b = 1$. Это неравенство масштабов обуславливает искажение углов:

$$\sin \omega = \frac{1-b}{1+b} \quad \text{или} \quad \sin \omega = \frac{a-1}{a+1}.$$

Карты в таких проекциях в судовождении не применяются.

Произвольными называются проекции, в которых не соблюдается ни одно из указанных свойств. Из их числа в судовождении нашла применение центральная перспективная проекция, известная под названием гномонической. В этой проекции дуга большого круга — ортодромия — изображается прямой линией.

По виду меридианов и параллелей нормальной сетки различают конические, азимутальные, цилиндрические, перспективные и произвольные (псевдоконические, псевдоцилиндрические, поликонические, круговые) проекции.

Коническими называются такие проекции, в которых параллели изображаются концентрическими окружностями, а меридианы — радиальными прямыми линиями (рис. 4.2).

В уравнениях этих проекций используют плоские полярные координаты:

$$\rho = f(\varphi); \delta = \alpha \lambda,$$

где ρ — радиус параллели на карте; δ — долгота на карте; α — коэффициент пропорциональности (как правило, $\alpha < 1$).

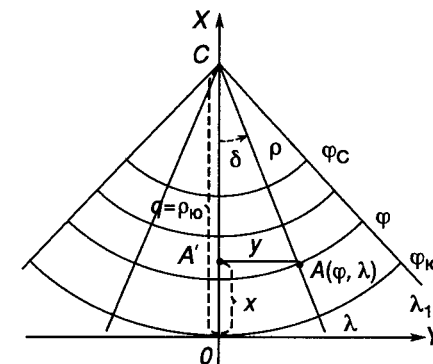


Рис. 4.2. Коническая проекция

В зависимости от ориентировки конуса относительно эллипсоида различают прямые, косые и поперечные конические проекции. В прямой проекции ось конуса совпадает с земной осью, в поперечной проекции — перпендикулярна земной оси, в косой — занимает промежуточное положение.

Азимутальные проекции являются частным видом конических проекций. Их уравнения имеют вид:

$$\rho = f(\varphi); \delta = \lambda.$$

Как следует из уравнений этих проекций, углы между меридианами на местности равны углам на проекции (рис. 4.3).

Так же, как и конические, азимутальные проекции могут быть прямыми, косыми и поперечными (рис. 4.4).

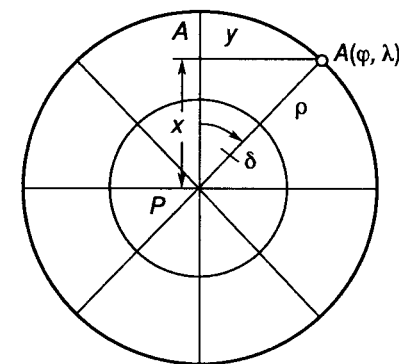


Рис. 4.3. Азимутальная проекция

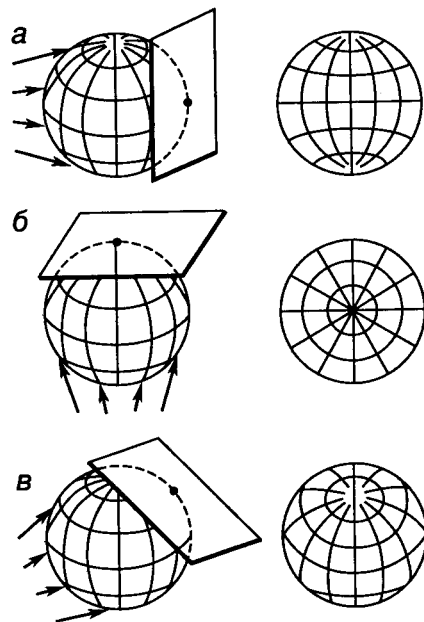


Рис. 4.4. Азимутальная проекция:

a — поперечная; *б* — прямая; *в* — косая

Цилиндрическими называются проекции, на которых параллели картографической сетки представляют собой прямые, параллельные экватору, а меридианы — прямые, перпендикулярные параллелям (рис. 4.5).

Уравнения таких проекций имеют вид:

$$x = f(\varphi); y = k\lambda,$$

где x, y — прямоугольные координаты точки на карте; φ, λ — географические координаты этой точки; k — коэффициент пропорциональности.

Так же, как и конические проекции, цилиндрические проекции могут быть прямыми, косыми и поперечными.

Перспективными называют проекции земной поверхности — шара или эллипсоида — на касательную плоскость, получаемые прямым геометрическим проектированием из различных точек зрения (рис. 4.6).

Все точки зрения лежат на диаметре условного глобуса, перпендикулярном картинной плоскости или на продолжении это-

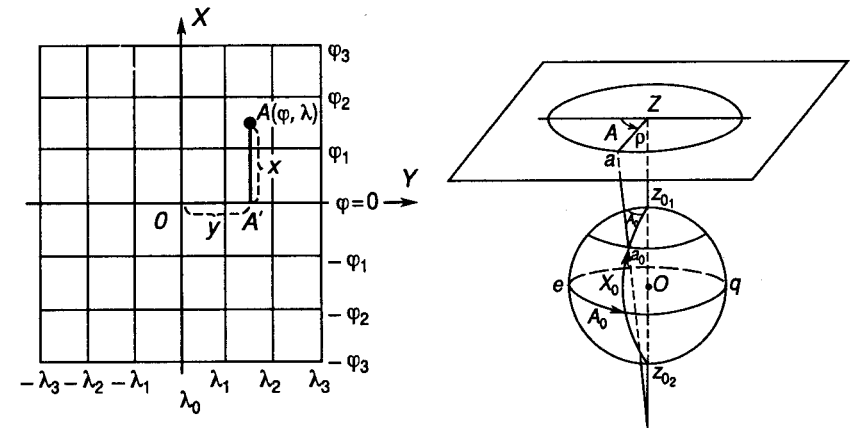


Рис. 4.5. Цилиндрическая проекция

Рис. 4.6. Перспективные проекции

го диаметра. Перспективные проекции образуют самостоятельную группу азимутальных проекций, но их общие уравнения идентичны.

В зависимости от удаления D точки зрения от центра условного глобуса, перспективные проекции бывают (рис. 4.7):

- центральные (гномонические), когда точка зрения находится в центре условного глобуса ($D = 0$);
- стереографические — точка зрения удалена от центра на радиус условного глобуса ($D = R$);
- внешние — точка зрения удалена на расстояние $R < D < \infty$;
- ортографические — точка зрения удалена в бесконечность ($D = \infty$).

Как и все остальные проекции, перспективные проекции тоже могут быть прямыми, косыми и поперечными.

Для судовождения представляет особый интерес центральная (гномоническая) проекция. Ее уравнения:

$$\rho = R \operatorname{ctg} \varphi; \delta = \lambda; m = \operatorname{cosec}^2 \varphi; n = \operatorname{cosec} \varphi.$$

Неравенство масштабов по меридиану и по параллели определяет неравноугольность проекции. Однако эта проекция характерна тем, что на ней дуги больших кругов условного глобуса изображаются прямыми линиями (рис. 4.8). Иначе говоря, на карте в этой проекции прямая линия, соединяющая две точки, является также и кратчайшим расстоянием между ними. Это свойство карт

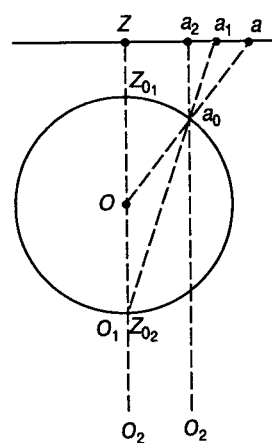


Рис. 4.7. Виды перспективных проекций

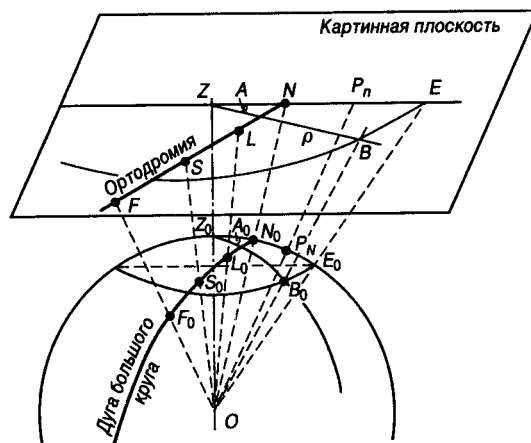


Рис. 4.8. Центральная (гномоническая) проекция

в гномонической проекции используют при плавании по кратчайшим расстояниям для нанесения на меркаторские карты дуг больших кругов.

Глава 5

НОРМАЛЬНАЯ РАВНОУГОЛЬНАЯ ПРОЕКЦИЯ МЕРКАТОРА

5.1 Общие формулы цилиндрических проекций

Уравнения меридианов и параллелей цилиндрических проекций в общем виде определяются выражениями

$$x = f(\varphi); y = C\lambda, \quad (5.1)$$

где C — коэффициент пропорциональности, определяющий расстояния между меридианами.

Отдельные цилиндрические проекции различаются между собой лишь видом функции $f(\varphi)$.

На рис. 5.1 показана бесконечно малая трапеция $A_0A_0'A_0''A_0'''$, образованная на поверхности шара (или эллипсоида) пересечением бесконечно близких друг к другу меридианов и параллелей.

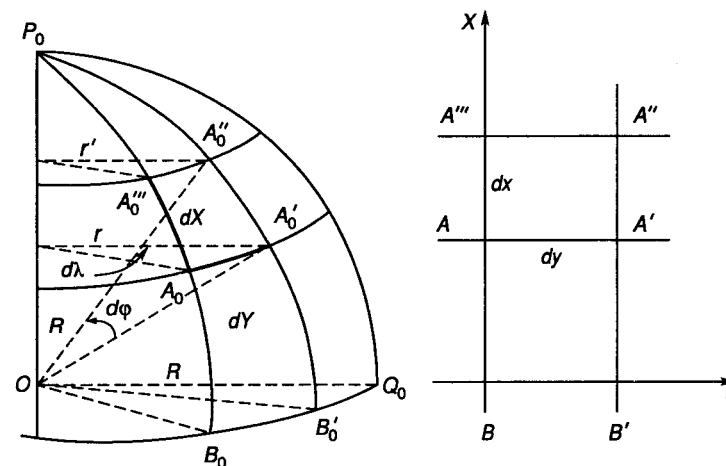


Рис. 5.1. К выводу уравнений цилиндрических проекций

На плоскости проекция этой трапеции изобразится прямоугольником $AA'A''A'''$ со сторонами dx и dy .

Бесконечно малый отрезок меридиана

$$A_0'A_0'' = R d\varphi \text{ — на шаре или}$$

$$A_0'A_0'' = M dy \text{ на эллипсоиде.}$$

Бесконечно малый отрезок параллели

$$A_0A_0' = r d\lambda = R \cos \varphi d\lambda \text{ — на шаре или}$$

$$A_0A_0' = N \cos \varphi d\lambda \text{ — на эллипсоиде,}$$

где r — радиус параллели в широте φ ($r = R \cos \varphi$ для шара, $r = N \cos \varphi$ для эллипсоида).

По определению масштаба $m = \frac{dx}{dX}$; $n = \frac{dy}{dY}$;

$$\text{для шара } m = \frac{dx}{R d\varphi}; \quad n = \frac{dy}{r d\lambda} = \frac{dy}{R \cos \varphi d\lambda};$$

$$\text{для эллипсоида } m = \frac{dx}{Md\varphi}; \quad n = \frac{dy}{rd\lambda} = \frac{dy}{N \cos \varphi d\lambda}.$$

Для оценки искажения направлений ω нужно знать полуоси a и b эллипса искажений. Так как в цилиндрических проекциях главные направления совпадают с меридианами и параллелями, то полуосям a и b соответствуют экстремальные масштабы m и n , поэтому

$$\sin \omega = \frac{a-b}{a+b} = \frac{m-n}{m+n}.$$

Таким образом, общими формулами для всех цилиндрических проекций будут:

для эллипсоида:

$$x = f(\varphi); y = C\lambda;$$

для шара:

$$x = f(\varphi); y = C\lambda;$$

$$m = \frac{dx}{Md\varphi}; \quad n = \frac{dy}{N \cos \varphi d\lambda}; \quad (5.2) \quad m = \frac{dx}{Rd\varphi}; \quad n = \frac{dy}{R \cos \varphi d\lambda}; \quad (5.3)$$

$$\sin \omega = \frac{a-b}{a+b} = \frac{m-n}{m+n}.$$

$$\sin \omega = \frac{a-b}{a+b} = \frac{m-n}{m+n}.$$

5.2 Принцип построения меркаторской проекции

Картографическую проекцию для составления морских навигационных карт, отвечающую специфическим требованиям равноугольности и локсодромичности предложил в 1569 г. фламандский картограф Герард Кремер (1512–1594), более известный под своим латинским псевдонимом — Меркатор. Именно в меркаторской проекции в наше время во всех странах издаются практически все морские навигационные карты, используемые для обеспечения безопасности судоходства.

Рассмотрим принцип построения меркаторской проекции. Примем Землю за шар, уменьшим его до необходимых размеров и далее будем рассматривать модель Земли как условный глобус, масштаб которого равен главному масштабу будущей карты. Поместим условный глобус в цилиндр так, чтобы по экватору он касался поверхности цилиндра (рис. 5.2, а). При этом ось цилиндра

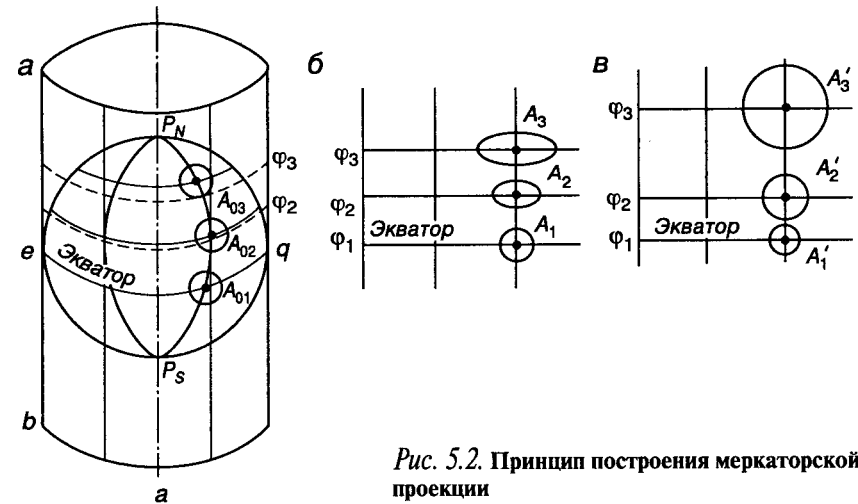


Рис. 5.2. Принцип построения меркаторской проекции

совместится с осью условного глобуса — признак нормальной (прямой) проекции.

Меридианы условного глобуса спроектируем на боковую поверхность цилиндра без искажения их длин (в натуральную величину), как бы выпрямляя их до полного совпадения с боковой поверхностью цилиндра.

Параллели жестко связаны с меридианами в точках их пересечения, поэтому при подобном проектировании каждая параллель будет растягиваться до размеров экватора. Чем больше широта параллели, тем меньше ее длина и, следовательно, тем больше она растянется при переносе ее на цилиндр. Степень растяжения параллелей пропорциональна $\sec \varphi$ и определяется выражением

$$R = r \cos \varphi, \quad (5.4)$$

где R — радиус экватора; r — радиус произвольной параллели; φ — широта этой параллели.

Если после такого проектирования развернуть цилиндр в плоскость, то получившаяся картографическая сетка будет иметь вид взаимно перпендикулярных прямых линий (рис. 5.2, б). Экватор при проектировании на цилиндр не растягивался, поэтому элементарно малый круг, расположенный на нем в точке A_{01} , изобразится точно таким же кругом и на карте — кругом A_1 . Произвольная параллель φ , растягивается (искажена), поэтому элементарно малый

круг A_{0i} , расположенный на этой параллели, изобразится на карте вытянутым вдоль параллели эллипсом A_i . Чем больше широта φ , тем больше растяжение параллели и, следовательно, тем сильнее проявляется искажение круга при его переносе на плоскость. Это значит, что требование равноугольности не выполнено. Чтобы проекция обладала свойством равноугольности, необходимо меридианы в каждой точке вытянуть пропорционально растяжению параллели этой точки. Иначе говоря меридиан в широте φ_i необходимо удлинить настолько, чтобы эллипс A_i превратился в круг A_i' (рис. 5.2, в). Чем больше широта, тем сильнее растянута параллель и, следовательно, тем больше должен быть растянут меридиан. В результате одинаковые элементарно малые круги, расположенные на разных параллелях условного глобуса, изобразятся на карте кругами разных размеров, увеличивающихся с широтой. Это свидетельствует о том, что масштаб полученной карты изменяется пропорционально широте, а точнее — пропорционально $\sec \varphi$.

По этой причине полученная картографическая сетка искажает длины. В частности, важно отметить, что и длина одной минуты меридиана (одна морская миля) на такой карте по линейной величине будет непостоянной, что усложняет работу штурманов по измерению и прокладке расстояний. Если искажаются длины, то, значит, искажаются и площади. По этой причине остров Гренландия на карте в меркаторской проекции изображается по размерам примерно таким же, как и африканский материк, хотя в действительности площадь Африки почти в 15 раз больше площади Гренландии.

Полученная таким образом проекция является прямой (ось цилиндра совмещена с осью Земли), равноугольной (элементарно малый круг на Земле изображается на карте также кругом), цилиндрической (меридианы и параллели являются взаимно перпендикулярными прямыми линиями). Прямоугольный вид нормальной картографической сетки обуславливает прямолинейность локсодромии.

5.3 Уравнения проекции и их анализ

Для составления карты в меркаторской проекции необходимо знать математический закон построения карты. В общем виде этот закон для цилиндрических проекций в соответствии с уравнениями (5.1) имеет следующее выражение:

$$x = f(\varphi); y = C\lambda,$$

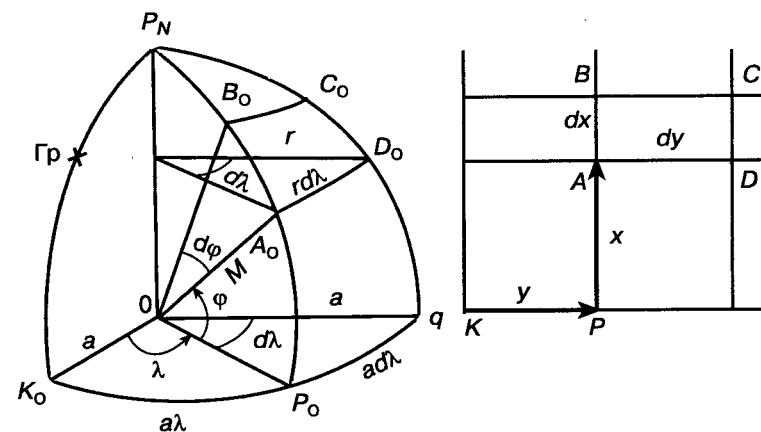


Рис. 5.3. К выводу уравнений меркаторской проекции

где φ, λ — географические координаты точки на поверхности Земли; x, y — прямоугольные координаты этой же точки на карте; C — коэффициент пропорциональности, определяющий расстояния между меридианами на карте.

Для определения этого коэффициента примем Землю за эллипсоид вращения с большой полуосью a и рассмотрим на условном глобусе произвольную точку A_0 с координатами φ, λ (рис. 5.3). На карте она изобразится в виде точки A с прямоугольными координатами x и y .

Предположим, что центральной линией проекции является экватор, который поэтому проектируется без искажений. Тогда $K_0P_0 = KP$. Но $K_0P_0 = a\lambda$, а $KP = y$.

Отсюда уравнение меридианов примет вид:

$$y = a\lambda.$$

Видно, что коэффициент пропорциональности равен большой полуоси (радиусу экватора) земного эллипсоида:

$$C = a.$$

Для определения вида функции $x = f(\varphi)$ в условии равноугольности $m = n$ следует подставить соответствующие выражения для масштабов по меридиану и по параллели:

$$\frac{dx}{Md\varphi} = -\frac{dy}{N \cos \varphi d\lambda}.$$

Продифференцируем уравнение меридианов: $dy = a d\lambda$.

$$\text{Тогда } \frac{dx}{Md\varphi} = \frac{a}{N \cos \varphi}.$$

Решение полученного дифференциального уравнения приводит к табличному интегралу

$$x = a \int_0^{\varphi} \frac{M}{N} \sec \varphi d\varphi.$$

После подстановки значений радиусов кривизны земного эллипсоида M и N и интегрирования, получим уравнение параллелей

$$x = a \ln \left[\operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \left(\frac{1 - e \sin \varphi}{1 + e \sin \varphi} \right)^{\frac{1}{2}} \right], \quad (5.5)$$

где e — эксцентриситет земного эллипсоида.

Таким образом, уравнения меркаторской проекции, выражающие математический закон построения карты, имеют следующий вид:

$$x = a \ln \left[\operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \left(\frac{1 - e \sin \varphi}{1 + e \sin \varphi} \right)^{\frac{1}{2}} \right];$$

$$y = a\lambda.$$

С помощью этих уравнений географические координаты точки φ и λ преобразовываются в прямоугольные картографические координаты x и y . Для Земли-шара справедливо: $M = N = a = R$, а эксцентриситет $e = 0$. Следовательно,

$$x = R \ln \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right);$$

$$y = R\lambda.$$

Анализ уравнений проекции Меркатора позволяет сделать следующие выводы:

- координата x не зависит от долготы λ . Следовательно, постоянному значению широты φ соответствует постоянное для всех долгот значение x , т. е. параллели на карте представляют собой семейство прямых линий, параллельных оси y ;
- координата y не зависит от широты φ . Следовательно, постоянному значению долготы λ соответствует постоянное для всех широт значение y , т. е. меридианы на карте представляют собой семейство прямых линий, параллельных оси x ;
- прямолинейность меридианов и параллелей подтверждает принадлежность меркаторской проекции к категории прямых (нормальных);
- из прямолинейности и взаимной параллельности меридианов следует, что локсодромия, пересекающая все меридианы под одним и тем же углом, также является прямой линией;
- параллельность меридианов и параллелей карты взаимно перпендикулярным координатным линиям x и y является признаком цилиндричности меркаторской проекции;
- уравнение параллелей получено из условия равенства масштабов по меридиану и параллели, следовательно, проекция Меркатора равноугольна.

Таким образом, анализ уравнений подтверждает, что меркаторская проекция удовлетворяет основным требованиям, предъявляемым к морской навигационной карте. Соблюдение этих условий на картах в меркаторской проекции позволяет прокладывать на них без искажений углы и направления, измеренные на местности, а линию пути судна, идущего постоянным курсом (локсодромию), прокладывать прямой линией при помощи обычной линейки.

Кроме того, равноугольность проекции обуславливает подобие форм (контуров) объектов в натуре и на карте. Это в значительной степени способствует опознанию местности по ее изображению (форме) на карте, и наоборот. Поэтому меркаторскую проекцию относят к конформным проекциям — проекциям, сохраняющим подобие форм.

Ортодромия на земной поверхности пересекает меридианы под разными углами, отличающимися друг от друга на угол схождения меридианов. На карте в проекции Меркатора меридианы — параллельные прямые. Следовательно, ортодромия, пересекая параллельные меридианы под разными углами, изобразится на карте кривой линией. То есть прокладка дуги большого круга (ортодромии) на картах в меркаторской проекции усложнена, что затрудняет плавание по кратчайшим расстояниям.

Меркаторская проекция имеет и другие недостатки, с которыми мореплавателям приходится мириться:

- проекция не сохраняет равенство площадей;
- невозможно создание меркаторской карты для приполюсных районов;
- масштаб на картах в меркаторской проекции изменяется с широтой, что вносит искажения в измеренные циркулем расстояния даже в пределах одного листа карты.

5.4 Изменение масштаба. Полоса широт практически постоянного масштаба

Рассмотрим характер изменения масштаба на карте, составленной в проекции Меркатора. Для этого сравним частные масштабы по двум параллелям φ_1 и φ_2 , принимая Землю за шар.

Частный масштаб по параллели A_0A_0' с широтой φ_1 (см. рис. 5.1):

$$n_1 = AA'/A_0A_0' = R d\lambda / R \cos \varphi_1 d\lambda = 1/\cos \varphi_1 = \sec \varphi_1. \quad (5.6)$$

Частный масштаб по параллели $A_0''A_0'''$ с широтой φ_2

$$n_2 = A''A'''/A_0''A_0''' = R d\lambda / R \cos \varphi_2 d\lambda = 1/\cos \varphi_2 = \sec \varphi_2. \quad (5.7)$$

На основании полученных выражений можно заключить, что частный масштаб по параллели зависит только от широты этой параллели. И как следствие: масштаб вдоль параллели не изменяется.

При изменении же широты масштаб изменяется:

$$\begin{aligned} n_2/n_1 &= \sec \varphi_2 / \sec \varphi_1 = \cos \varphi_1 / \cos \varphi_2; \\ n_2 &= n_1 \cos \varphi_1 / \cos \varphi_2. \end{aligned} \quad (5.8)$$

Так как $\varphi_2 > \varphi_1$, то $\cos \varphi_2 < \cos \varphi_1$, и, соответственно, $\cos \varphi_1 / \cos \varphi_2 > 1$, а это означает, что всегда $n_2 > n_1$.

Таким образом, при изменении широты характер изменения масштаба следующий:

- с увеличением широты масштаб увеличивается;
- с уменьшением широты масштаб уменьшается.

С учетом сжатия Земли изменение масштаба с широтой будет характеризоваться

$$n_2 = n_1 N_1 \cos \varphi_1 / N_2 \cos \varphi_2, \quad (5.9)$$

где N_1 и N_2 — радиусы кривизны сечения по первому вертикалу на параллелях φ_1 и φ_2 .

Если в выражениях (5.8) и (5.9) перейти к знаменателям числовых масштабов C_1 и C_2 , то получим:

$$\text{для Земли-шара} \quad C_1/C_2 = \cos \varphi_1 / \cos \varphi_2; \quad (5.10)$$

$$\text{для Земли-эллипсоида} \quad C_1/C_2 = N_1 \cos \varphi_1 / N_2 \cos \varphi_2. \quad (5.11)$$

Особый интерес представляет отношение

$$C_0/C = v, \quad (5.12)$$

где C_0 — знаменатель главного масштаба карты; C — знаменатель масштаба произвольной параллели; v — модуль параллели.

Модуль параллели — число, разделив на которое знаменатель главного масштаба карты, получают знаменатель масштаба произвольной параллели.

Модуль параллели рассчитывают, выбирая из Картографических таблиц длину P_0 одной минуты дуги главной параллели карты по ее широте φ_0 , указанной в заголовке карты, а также длину P одной минуты дуги параллели с заданной широтой φ :

$$v = P_0/P. \quad (5.13)$$

При отсутствии Картографических таблиц, Землю принимают за шар и расчет ведут по упрощенной формуле

$$v = \cos \varphi_0 / \cos \varphi. \quad (5.14)$$

Поскольку с увеличением широты масштаб непрерывно возрастает, то при работе на карте это обстоятельство принимается во внимание, и отрезки расстояний на карте в проекции Меркатора измеряются той частью линейного масштаба, который расположен около средней параллели измеряемого отрезка.

Для перевода масштабов по главным параллелям, указанным на картах в проекции Меркатора, в экваториальный масштаб, можно использовать табл. 2.30, помещенную в справочнике МТ-2000. При построении линейного (широтного) масштаба вертикальную рамку нужно разбить (разделить) на отрезки, равные одной минуте дуги меридиана (одной морской миле), имеющей в различных широтах разную длину. Наиболее строгим и точным решением такой задачи был бы расчет картографических абсцисс $x = f(\varphi)$ для всех параллелей от широты южной рамки до широты северной рамки карты с широтным интервалом в одну минуту. Однако такой расчет является сложным и трудоемким. Этого и не требуется для практических задач. Поэтому при составлении карты параллели проводят через определенные промежутки (широтный интервал) $\Delta\varphi$, внутри которых деление рамки на минуты осуществляется разбивкой их на равные части, соответствующие средней длине минуты меридиана в данном промежутке. Внутри такой полосы широт $\Delta\varphi$ изменение масштаба настолько мало, что оно не превышает ошибок графических построений. Представляет интерес та разность широт, в пределах которой длина минуты меридиана без ущерба для точности графических построений может быть принята постоянной величиной.

Профессор В.В. Каврайский установил зависимость полосы широт практически постоянного масштаба от широты и масштаба карты:

$$\Delta\varphi' = \sqrt{\frac{C_N \operatorname{ctg} \varphi_N}{674}}, \quad (5.15)$$

где C_N — знаменатель частного масштаба на рамке карты, ближайшей к полюсу, φ_N — широта этой рамки.

В готовом виде величины промежутков $\Delta\varphi'$ приводятся в Картографических таблицах. Рассчитанный (или выбранный из таблиц) промежуток практически постоянного масштаба округляется в меньшую сторону до значения, кратного 5' или 10', и принимается затем в качестве широтного интервала, через который на карте проводятся параллели картографической сетки. Если выбранный или рассчитанный широтный интервал окажется меньше 5', то ок-

ругление производится также в меньшую сторону до значения, кратного одной целой минуте.

5.5 Единица карты

Для вычисления размеров рамки карты и построения картографической сетки потребовалась особая единица измерения, которая не была бы подвержена искажениям. Морская миля — длина дуги меридиана в качестве таковой не подходит, так как является переменной величиной. На меркаторской проекции не искажается только земной экватор, и именно поэтому одна его минута была выбрана в качестве картографической единицы длины. Длина одной минуты дуги земного экватора иначе называется экваториальной или географической милей (минутой). Длина экваториальной мили в метрах

$$\Delta l_3' = a \operatorname{arcl}' = 6378245/3437,75 = 1855,36 \text{ м.} \quad (5.16)$$

Длина графического изображения одной минуты дуги экватора на меркаторской проекции называется *единицей карты*.

Единица карты выражается, как правило, в миллиметрах и рассчитывается по формуле

$$e = \frac{\Delta l_3'}{C_3} = \frac{a \operatorname{arcl}'}{C_3}, \quad (5.17)$$

где C_3 — знаменатель масштаба по экватору.

На меркаторской проекции меридианы параллельны друг другу, а масштаб не изменяется по долготе, поэтому графическое изображение одной минуты дуги экватора равно изображению одной минуты дуги любой параллели. По этой же причине единица карты для данной карты является величиной постоянной и ее можно рассчитать по радиусу произвольной параллели:

$$e = \frac{r \operatorname{arcl}'}{C} = \frac{N \cos \varphi \operatorname{arcl}'}{C}, \quad (5.18)$$

где r — радиус параллели в широте φ .

Единица карты используется при расчете картографической сетки меркаторской проекции, а также при графических построениях на карте в качестве постоянной единицы длины.

Для стандартных масштабов значения единицы карты приводятся в табл. 4 сборника “Картографические таблицы”.

5.6 Меридиональные части

При составлении карт каждую параллель проводят, считывая расстояние от экватора до этой параллели в постоянных единицах длины. Расстояние на меркаторской проекции по меридиану между экватором и данной параллелью, выраженное в экваториальных минутах, называется *меридиональной частью параллели* (*МЧ* или *D*).

Уравнение параллелей (5.5) для практических расчетов неудобно. Подставляя в (5.5) величину радиуса экватора $a = 3437,747$ экваториальных минут, и разделив ее на модуль перехода от натуральных логарифмов к десятичным $\text{Mod} = 0,434294$, получим формулу для расчета меридиональной части параллели с широтой φ на эллипсоиде:

$$D = 7915,70447 \lg \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \left(\frac{1 - e \sin \varphi}{1 + e \sin \varphi} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (5.19)$$

По формуле (5.19) составлена табл. 2.28а сборника “Мореходные таблицы” (МТ-2000). Меридиональные части параллелей Северного полушария положительны, параллелей Южного полушария — отрицательны.

Расстояние по меридиану на меркаторской проекции между двумя параллелями, выраженное в экваториальных минутах, называется разностью меридиональных частей (*РМЧ* или ΔD):

$$\text{РМЧ} = \text{МЧ}_2 - \text{МЧ}_1 \text{ или } \Delta D = D_2 - D_1.$$

Знак разности меридиональных частей соответствует знаку разности широт этих параллелей.

При приближенном решении навигационных задач, когда Землю принимают за шар, необходимые меридиональные части $\text{МЧ}_{\text{ш}}$ получают по формуле

$$\text{МЧ}_{\text{ш}} = \text{МЧ} + \Delta \text{МЧ},$$

где $\Delta \text{МЧ}$ — поправка, выбираемая из табл. 2.28б МТ-2000.

5.7 Меркаторская миля

Если на карте в проекции Меркатора провести параллели через одну минуту широты, то *РМЧ* этих параллелей представит собой длину отрезка дуги меридиана, выраженную в экваториальных минутах. Длина графического изображения одной минуты широты на меркаторской карте называется *меркаторской милей*. Вертикальная рамка карты в меркаторской проекции разбита в минутах широты так, что ее используют как шкалу широты. Поскольку одна минута широты соответствует морской миле, то шкала широты одновременно является и шкалой расстояний, выраженных в морских милях.

Меркаторскую милю выражают в миллиметрах и рассчитывают по отношению длины одной минуты меридиана к знаменателю масштаба карты:

$$\delta = \frac{\Delta l'}{C} = \frac{\text{Marcl}'}{C}.$$

Подставляя в числитель величину морской мили, выраженную в миллиметрах, получим

$$\delta = \frac{1000(1852,3 - 9,3 \cos 2\varphi)}{C}.$$

Меркаторская миля, являясь масштабным отображением морской мили, увеличивается с ростом широты. Поэтому, как уже отмечалось, при измерении расстояний на карте необходимо пользоваться шкалой вертикальной рамки в том диапазоне широт, в котором находится измеряемый отрезок.

5.8 Главная параллель карты

При проектировании условного глобуса на касательный по экватору цилиндр (см. рис. 5.2), с увеличением широты искажения длин растут быстро. Так, частный масштаб в широте 48° будет в 1,5 раза больше масштаба на экваторе, а в широтах 60° и 70° — соответственно в 2 и 3 раза больше масштаба на экваторе. Пропорционально изменению масштаба увеличится в этих широтах и длина меркаторской мили.

Для уменьшения искажения длин в пределах листа карты условный глобус проектируют не на касательный, а на секущий цилиндр (рис. 5.4) так, чтобы параллель сечения примерно совпадала со средней широтой картографируемого участка.

При таком способе проектирования параллель сечения переносится на плоскость карты без искажений, а остальные параллели, в том числе и экватор, будут искажены: параллели, расположенные между полюсом и параллелью сечения, увеличат свою длину, параллели же, расположенные между экватором и параллелью сечения, уменьшат свою длину на плоскости.

Таким образом, главный масштаб карты вдоль параллели сечения не изменится. *Параллель, вдоль которой сохраняется главный масштаб карты, называется главной.* Широта главной параллели $\varphi_{гп}$ указывается в заголовке карты.

В России для различных морей и широтных поясов установлены единые главные параллели в зависимости от крайних широт, охватываемых данным морем (районом Мирового океана), называемые стандартными главными параллелями. Масштабы всех карт данного моря (района) рассчитываются для установленной стандартной главной параллели (при этом главной параллели на карте может и не быть).

Примеры стандартных главных параллелей:

Баренцево море	$\varphi_{гп} = 69^\circ$
Балтийское море	$\varphi_{гп} = 60^\circ$
Черное и Азовское моря	$\varphi_{гп} = 44^\circ$

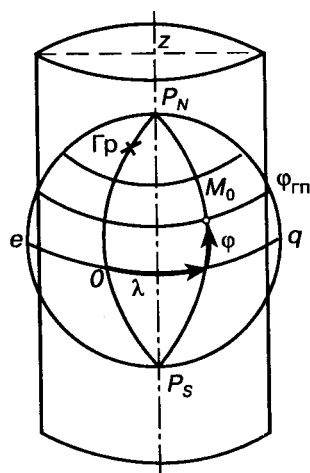


Рис. 5.4. Проектирование глобуса на секущий цилиндр

Каспийское море	$\varphi_{гп} = 42^\circ$
Средиземное море	$\varphi_{гп} = 40^\circ$
Моря в пределах широт от 10° до 33°	$\varphi_{гп} = 25^\circ$
Моря в пределах широт от 0° до 10°	$\varphi_{гп} = 0^\circ$

Полный перечень стандартных главных параллелей приведен в Картографических таблицах.

Стандартизация главных параллелей, издаваемых в Российской Федерации морских карт, позволяет склеивать карты одного масштаба соседних участков моря, упрощает процесс переноса места корабля с карты на карту одинакового масштаба при ведении навигационной прокладки и уменьшает вероятность промахов в работе судоводителей.

5.9 Расчет и построение картографической сетки меркаторской проекции

Рассмотрим порядок решения таких задач на примере.

Предположим, предстоит вычислить и вычертить картографическую сетку меркаторской карты на район, ограниченный параллелями $\varphi_S = 30^\circ 00' N$ и $\varphi_N = 36^\circ 00' N$, а также меридианами $\lambda_W = 11^\circ 00' E$ и $\lambda_E = 21^\circ 00' E$ в масштабе $\mu_0 = 1:1000000$ для главной параллели $\varphi_0 = 40^\circ$. Параллели провести через 1° широты, а меридианы — через 2° долготы.

Для решения задачи необходимо:

- вычислить размеры вертикальной и горизонтальной рамок карты;
- вычислить положение меридианов и параллелей на листе карты;
- вычислить промежуток практически постоянного масштаба;
- вычертить рамку карты, картографическую сетку и нанести опорные пункты (заданные ориентиры).

Порядок решения задачи.

1. Вычислить единицу карты e по формуле

$$e = P_0 / C_0,$$

где P_0 — длина одной минуты главной параллели в миллиметрах, выбираемая из табл. №2 сборника “Картографические таблицы” по широте φ_0 главной параллели карты; C_0 — знаменатель масштаба по главной параллели.

$$e = 1423255 / 1000000 = 1,423255 \text{ мм.}$$

Иногда возникает необходимость рассчитать, в каком масштабе нужно составить карту, чтобы она вмещала заданную разность долгот. Или в другой формулировке: какой выбрать масштаб, чтобы нужный район поместился на имеющемся листе бумаги. В этом случае сначала определяют единицу карты по формуле

$$e = a/PD',$$

где a — длина горизонтальной рамки карты в миллиметрах (рис. 5.5); PD' — заданная разность долгот в дуговых минутах.

Далее находят знаменатель главного масштаба

$$C_0 = P_0/e.$$

2. Рассчитать длину a горизонтальной рамки карты в миллиметрах по формуле

$$a = e(\lambda_E - \lambda_W),$$

где λ_E и λ_W — долготы восточной и западной рамок карты соответственно.

$$a = 1,423255(1260 - 660) = 853,94 \text{ мм.}$$

3. Рассчитать длину b вертикальной рамки карты в миллиметрах по формуле

$$b = e(D_N - D_S),$$

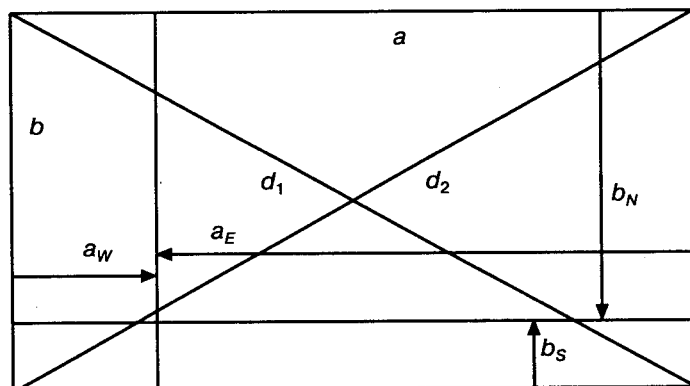


Рис. 5.5. Построение картографической сетки в меркаторской проекции

где D_N и D_S — меридиональные части северной и южной рамок карты соответственно, выбираемые из табл. 1 сборника “Картографические таблицы” по заданной широте.

$$b = 1,423255(2304,5 - 1876,9) = 608,59 \text{ мм.}$$

4. Рассчитать расстояния b_{S_i} от нижней и b_{N_i} от верхней рамок карты до каждой из заданных параллелей с меридиональными частями D_i :

$$b_{S_i} = e(D_i - D_S);$$

$$b_{N_i} = e(D_N - D_i).$$

Для контроля выполнить проверку: $b_{S_i} + b_{N_i} = b$.

Расчеты удобно проводить в табличной форме (табл. 5.1)

5. Рассчитать расстояния a_{W_i} от западной и a_{E_i} от восточной рамок карты до каждого из заданных меридианов с долготой λ_i :

$$a_{W_i} = e(\lambda_i - \lambda_W);$$

$$a_{E_i} = e(\lambda_E - \lambda_i).$$

Для контроля выполнить проверку: $a_{W_i} + a_{E_i} = a$.

Расчеты удобно проводить в табличной форме (табл. 5.2).

6. Вычислить промежуток практически постоянного масштаба по формуле

Таблица 5.1. Расчет расстояний b_S и b_N

Величина	Параллели				
	31°N	32°N	33°N	34°N	35°N
D_p , экв. мили	1946,2'	2016,2'	2087,0'	2158,6'	2231,1'
D_S , экв. мили	1876,9'	1876,9'	1876,9'	1876,9'	1876,9'
D_N , экв. мили	2304,5'	2304,5'	2304,5'	2304,5'	2304,5'
$b_S = e(D_i - D_S)$, мм	98,63	198,26	299,03	400,93	504,11
$b_N = e(D_N - D_i)$, мм	509,95	410,32	309,56	207,65	104,47
$b_S + b_N = b$, мм	608,58	608,58	608,59	608,58	608,58

$$\Delta\varphi' = \sqrt{\frac{C_N \operatorname{ctg} \varphi_N}{674}},$$

где φ_N — широта ближайшей к полюсу рамки карты; C_N — знаменатель частного масштаба по этой рамке.

$$\Delta\varphi = (10^6 \operatorname{ctg} 40^\circ / 674)^{0,5} = 42'.$$

Округляя в меньшую сторону до величины, кратной 5, примем $\Delta\varphi = 40'$. Если результат получен меньше $5'$, то принимают $\Delta\varphi = 1'$. Именно в пределах такого промежутка допустимо производить разбивку рамок данной карты путем деления отрезков рамки на равные части.

7. Вычерчивание планшета начинают с прокладки любой диагонали рамки, направляя ее по диагонали листа бумаги. Углы рамки находят, выполняя засечки из концов диагонали как из центров радиусами, равными рассчитанным сторонам рамки. Для проверки прямоугольности полученной фигуры, необходимо измерить длину второй диагонали и сравнить с ее с расчетной длиной диагонали прямоугольника.

Длина диагонали

$$d_1 = d_2 = \sqrt{a^2 + b^2}.$$

Промежуточные параллели и меридианы проводят, используя рассчитанные их удаления от рамок карты. Далее, с внешней стороны всех рамок карты проводят полосу шириной 3–5 мм для раз-

Таблица 5.2. Расчет расстояний a_W и a_E

Величина	Меридианы			
	13°E	15°E	17°E	19°E
λ_i , дуг. мин	780	900	1020	1140
λ_W , дуг. мин	660	660	660	660
λ_E , дуг. мин	1260	1260	1260	1260
$a_W = e(\lambda_i - \lambda_W)$, мм	170,78	341,56	512,37	683,16
$a_E = e(\lambda_E - \lambda_i)$, мм	683,16	512,37	341,58	170,79
$a_W + a_E = a$, мм	853,94	853,95	853,95	853,95

мещения шкал широты и долготы. Погрешности вычисления и нанесения всех элементов картографической сетки не должны превышать 0,2 мм — погрешностей графических построений.

9. При необходимости нанести на планшет опорный пункт (навигационный ориентир), следует выписать его координаты и использовать их для вычисления расстояний от рамок карты до меридиана и до параллели опорного пункта M :

$b_{MN} = e(D_N - D_M)$ — от северной рамки карты до параллели M ;

$b_{MS} = e(D_M - D_S)$ — от южной рамки карты до параллели M .

Для контроля выполнить проверку: $b_{MN} + b_{MS} = b$.

$a_{MW} = e(\lambda_M - \lambda_W)$ — от западной рамки карты до меридиана M ;

$a_{ME} = e(\lambda_E - \lambda_M)$ — от восточной рамки карты до меридиана M .

Для контроля выполнить проверку: $a_{MW} + a_{ME} = a$.

Место опорного пункта (навигационного ориентира) получают, проводя его меридиан и параллель.

Глава 6

РАВНОУГОЛЬНАЯ ПОПЕРЕЧНАЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКАЯ ПРОЕКЦИЯ ГАУССА

6.1 Сферические и плоские прямоугольные координаты

Проекция Карла Гаусса была разработана им в 1825–1830 гг., а затем ее изменили и упростили в 1911 г. — И. Крюгер, а в 1919 г. — Ф.Н. Красовский.

В проекции, предложенной К. Гауссом издаются крупномасштабные карты и планшеты для геодезических и гидрографических работ. Эта равноугольная поперечная цилиндрическая проекция используется также для составления топографических карт.

Основные требования, которые предъявляются к топографической карте:

- равноугольность;
- постоянство масштаба по всем направлениям в пределах карты;
- ортодромичность.

Изображение поверхности эллипсоида осуществляется по частям — отдельными зонами шириной в 6° долготы. Каждая зона имеет свою обособленную систему прямоугольных сфероидических координат. Началом системы координат в каждой зоне являет-

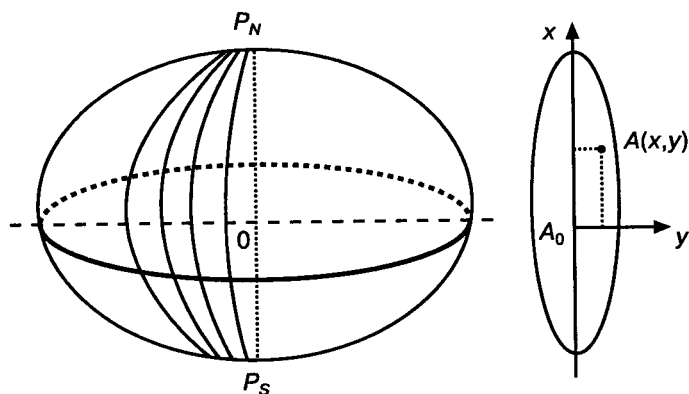


Рис. 6.1. Прямоугольная система сфероидических координат

ся точка A_0 пересечения осевого (среднего) меридиана зоны с экватором (рис. 6.1).

Примем Землю за шар и рассмотрим систему сферических координат (рис. 6.2).

Координатными осями являются осевой меридиан зоны и экватор. Координатными линиями являются дуги взаимно перпендикулярных больших кругов, один из которых совпадает с осевым меридианом данной зоны, а другой проходит через точку A перпендикулярно плоскости осевого меридиана.

На поверхности сферы положение заданной точки A определяется сферическими координатами X и Y .

Сферическая координата X — расстояние в метрической системе мер от экватора до большого круга, проходящего через заданную точку A перпендикулярно плоскости осевого меридиана.

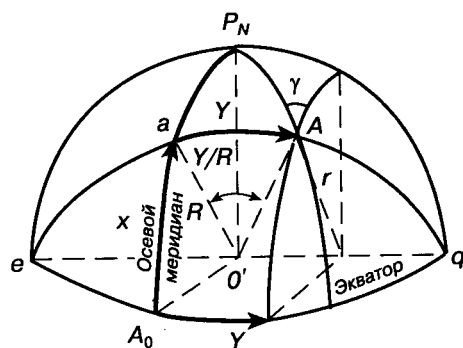


Рис. 6.2. Прямоугольная система сферических координат

Сферическая координата Y — расстояние в метрической системе мер от осевого меридиана до малого круга, проходящего через заданную точку параллельно плоскости осевого меридиана.

Координата X точки A положительна, если точка располагается в северном полушарии и отрицательна, если точка находится в южном полушарии. Координата Y точки A положительна, если точка удалена от осевого меридиана к востоку, и отрицательна, если точка расположена к западу от осевого меридиана.

Если через точку A провести географический меридиан, то его направление не совпадет с направлением малого круга, проходящего через эту точку. Угол между меридианом точки A и направлением малого круга в данной точке называется *углом сближения (схождения) меридианов* и обозначается буквой γ (гамма) греческого алфавита. Плоскость малого круга параллельна плоскости осевого меридиана, поэтому угол сближения меридианов выражается формулой

$$\gamma = (\lambda - L_0) \sin \varphi, \quad (6.1)$$

где L_0 — долгота осевого меридиана; φ и λ — географические координаты заданной точки.

На плоскости (на карте) положение точки определяется плоскими прямоугольными (декартовыми) координатами x , y .

6.2 Принцип построения картографической сетки. Уравнения проекции

При построении картографической сетки в проекции Гаусса координатные линии рассмотренной сферической системы координат проектируются на боковую поверхность цилиндра, касающегося поверхности условного глобуса по осевому меридиану каждой зоны поочередно (рис. 6.3). При этом ось цилиндра развернута относительно оси глобуса на 90° — проекция поперечная. На этот цилиндр проектируются осевой меридиан, дуги больших кругов и малые круги, параллельные осевому меридиану.

Если теперь разрезать цилиндр по образующей и развернуть его в плоскость, то получится сетка плоских прямоугольных координат, на которой вертикальными прямыми линиями изображены осевой меридиан и малые круги, параллельные осевому меридиану, а горизонтальными прямыми линиями — большие круги, перпендикулярные осевому меридиану. При этом малые круги, параллельные осевому

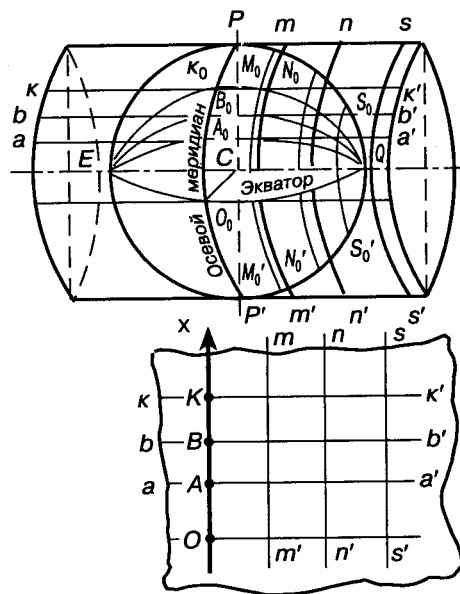


Рис. 6.3. Построение проекции Гаусса

меридиану, растянулись пропорционально $\sec Y/R$ (до длины осевого меридиана). Для соблюдения условия равноугольности соответственно растянуты и дуги больших кругов, перпендикулярных осевому меридиану (аналогично построению меркаторской проекции).

В общем виде уравнения поперечной цилиндрической проекции имеют вид:

$$\begin{aligned} x &= CX; \\ y &= f(Y). \end{aligned} \quad (6.2)$$

Для вывода уравнений проекции Гаусса на поверхности сферы (рис. 6.4, а) выделена бесконечно малая трапеция $A_0B_0C_0D_0$, ограниченная двумя дугами больших (A_0D_0 , B_0C_0) и малых кругов (A_0B_0 , D_0C_0). Расстояние между большими кругами A_0D_0 и B_0C_0 по осевому меридиану MN равно dX , а расстояние между малыми кругами A_0B_0 и D_0C_0 равно dY .

Длина отрезка малого круга A_0B_0 определяется из известного соотношения радиусов параллели и экватора

$$r = R \cos \frac{Y}{R},$$

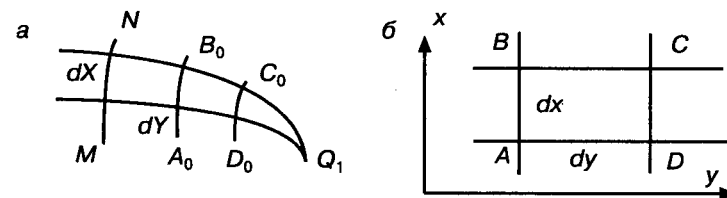


Рис. 6.4. К выводу уравнений проекции Гаусса на сфере (а) и плоскости (б)

где r — радиус параллели; R — радиус экватора; Y/R — угол при центре сферы.

Поэтому отрезок дуги малого круга

$$A_0B_0 = dX \cos \frac{Y}{R}.$$

На плоскости бесконечно малая трапеция $A_0B_0C_0D_0$ изобразится бесконечно малым прямоугольником $ABCD$, в котором $AB = dx$, а $AD = dy$ (рис. 6.4, б).

Условие равноугольности проекции:

$$m = n.$$

Согласно определению масштаба

$$\frac{AB}{A_0B_0} = \frac{AD}{A_0D_0};$$

$$\frac{dx}{dX \cos \frac{Y}{R}} = \frac{dy}{dY}.$$

Отсюда

$$dy = dY \frac{dx}{dX \cos \frac{Y}{R}}.$$

Осевой меридиан проектировался без искажений ($dx = dX$), поэтому

$$dy = dY \frac{1}{\cos \frac{Y}{R}}. \quad (6.3)$$

Интегрируя выражение (6.3) в пределах от 0 до Y , получим формулу для вычисления плоской ординаты y в зависимости от сферической ординаты Y :

$$y = R \ln \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{Y}{2R} \right).$$

Уравнения равноугольной поперечной цилиндрической проекции Гаусса, выражающие связь географических координат точки на поверхности Земли с плоскими координатами на карте, имеют вид:

$$x = X;$$

$$y = R \ln \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{Y}{2R} \right). \quad (6.4)$$

Анализ полученных уравнений позволяет определить основные свойства проекции:

- координатные линии x и y — прямые, при этом линии x параллельны осевому меридиану, а линии y параллельны экватору, т. е. линии x и y являются взаимно перпендикулярными прямыми;
- масштаб карты по оси X (по осевому меридиану) не изменяется;
- масштаб карты по оси Y теоретически возрастает с удалением от осевого меридиана пропорционально $\sec Y/R$.

При удалении от осевого меридиана на 100 км искажение длин — разность ($y - Y$) — составит 1,1 м, а при удалении на 300 км — 110,6 м. Для карты масштаба $M = 1:1\,000\,000$ предельная точность масштаба составит 200 м, что примерно вдвое меньше указанного искажения. Далее искажения будут возрастать очень быстро. Удаление от осевого меридиана на 300 км соответствует разности долгот точки и осевого меридиана около 3° (точнее — $2,7^\circ$).

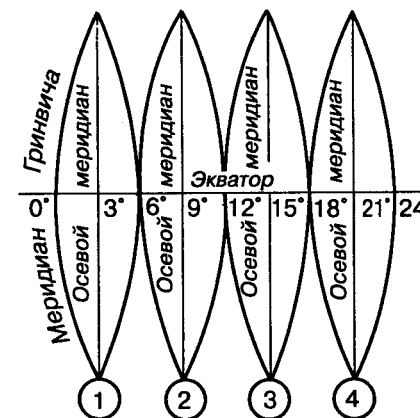


Рис. 6.5. Схема зон при изображении поверхности Земли в проекции Гаусса

Поэтому для изображения поверхности Земли в проекции Гаусса и принята координатная зона общей шириной в 6° , располагающаяся на 3° по долготе по обе стороны от осевого меридиана. В пределах такой шестиградусной координатной зоны искажения длин не превысят 111 м. Иногда для особо точных работ могут применяться и трехградусные зоны.

Счет зон ведется от Гринвича к востоку. Всего таких зон 60. Границами зон являются меридианы, кратные шести (рис. 6.5).

Если известен номер зоны N_3 , то долгота осевого меридиана

$$L_0 = 6N_3 - 3.$$

Номер зоны, в которой находится точка с географической долготой λ , может быть рассчитан по формуле с округлением до меньшего целого числа:

$$N_3 = \frac{\lambda}{6} + 1.$$

Например для точки с $\lambda = 31,3^\circ E$:

$$N_3 = 31,3/6 + 1 = 5,22 + 1 = 6,22 \approx 6;$$

$$L_0 = 6 \cdot 6 - 3 = 33^\circ.$$

Для облегчения работы по определению координатных зон и поясов карт в проекции Гаусса в сборнике МТ-2000 помещена табл. 2.31.

Координатные линии в проекции Гаусса оцифрованы в метрической системе мер. Оцифровка горизонтальных линий показывает удаление этой линии в метрах от экватора, а оцифровка вертикальных линий — удаление их в метрах от осевого меридиана.

Счет абсцисс x во всех зонах ведут от экватора к полюсам. Абсциссы точек северного полушария положительны, а абсциссы точек южного полушария отрицательны. Как правило, в средних широтах России абсциссы выражаются в метрах семизначным числом. Например, $x = 4983340$.

Счет ординат y ведут в каждой зоне от осевого меридиана этой зоны к востоку или к западу от него. Ординаты точек к востоку от осевого меридиана положительны, а ординаты точек к западу от него отрицательны. Для исключения отрицательных чисел при расчетах, ординаты осевых меридианов каждой зоны увеличены на 500000 м. Тем самым при оцифровке вертикальных координатных линий осевой меридиан всегда обозначается ординатой $y = 500\,000$ м. Поэтому все вертикальные координатные линии к западу от осевого меридиана имеют оцифровку $y' = 500\,000 - y$, а вертикальные координатные линии к востоку от осевого меридиана имеют оцифровку $y' = 500\,000 + y$, где y — фактическое удаление данной линии от осевого меридиана в метрах.

Для определения зоны, к которой относится данная ордината y , в ее оцифровку включается порядковый номер шестиградусной зоны в виде двух первых цифр. Например, $y = 12\,630\,250$. Здесь первые две цифры означают порядковый номер шестиградусной зоны (зона № 12).

Таким образом, прямоугольные координаты точки на карте в проекции Гаусса записываются в метрах с указанием для координаты y номера зоны. Например, $x = 3\,930\,580$ м; $y = 6\,760\,340$ м. Эта точка находится в шестой зоне, удалена к северу от экватора на расстояние 3 930 580 м и к востоку от осевого меридиана зоны на 260 340 м.

6.3 Определение направлений и расстояний на карте в проекции Гаусса

Поскольку географический меридиан точки не совпадает с направлением малого круга, проходящего через эту точку, то и на карте в проекции Гаусса эти направления составляют угол, вычисляемый по формуле (6.1).

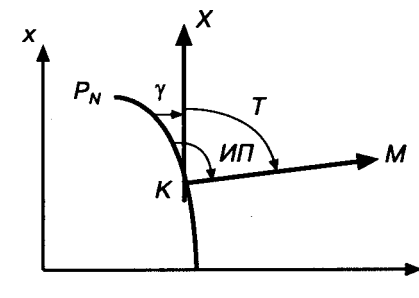


Рис. 6.6. Дирекционные направления

В общем случае географические меридианы и параллели на карте в проекции Гаусса — кривые линии.

Меридианы симметричны относительно осевого меридиана, параллели — относительно экватора. Следовательно, и локсодромия на карте в проекции Гаусса — кривая линия.

Ортодромия на такой карте тоже кривая, обращенная выпуклостью в сторону от осевого меридиана. Однако радиус кривизны ее настолько велик, что практически ортодромия совпадает с прямой линией. Поэтому на практике кратчайшее расстояние на карте в проекции Гаусса измеряется по направлению прямой линии между заданными точками.

Все направления, измеряемые относительно вертикальных линий на карте в проекции Гаусса, называются *дирекционными*.

Дирекционный угол T — угол между северной частью вертикальной линии, параллельной оси x , и прямой линией, соединяющей место наблюдателя K и объект M (рис. 6.6).

Проведем через точку K меридиан и обозначим угол между меридианом и вертикальной линией γ .

Из рисунка видно:

$$\text{ИП} = T + \gamma;$$

$$T = \text{ИП} - \gamma.$$

Следовательно, для перехода от дирекционных направлений к истинным и обратно необходимо учесть величину угла сближения меридианов γ .

При использовании карт и планшетов в проекции Гаусса возникает необходимость решения ряда навигационных задач:

- нанесение на карту точек по их прямоугольным координатам;
- измерение на карте прямоугольных координат точек;

- прокладка и измерение направлений;
- измерение расстояний.

Первая и вторая задачи решаются обычным порядком с использованием километровой сетки — по оцифровке километровых линий на боковой рамке карты.

При необходимости нанести на карту точку по ее географическим координатам (или измерить географические координаты точки) на карту в проекции Гаусса должна быть предварительно нанесена сетка меридианов и параллелей.

При использовании карт в проекции Гаусса навигационную прокладку можно вести так же, как на обычных меркаторских картах, если дирекционные углы отсчитывать от положительного направления оси x и вводить в них поправку за угол сближения меридианов γ :

$$T = ИК - \gamma_{ср}, \quad (6.5)$$

$$ИК = T + \gamma_{ср},$$

где $\gamma_{ср} = \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{2}$ — значение угла сближения меридианов для средней точки маршрута (расстояния между двумя точками).

Наличие на современных топографических картах географической сетки меридианов и параллелей и прямоугольной координатной (километровой) сетки позволяет наносить на карту или определять на ней положение точки по заданным географическим или прямоугольным координатам.

В практике часто возникает необходимость в определении на карте или на местности положения точки:

- по заданному углу и расстоянию относительно положения заданной точки и исходного направления;
- по заданным двум направлениям или двум расстояниям до определяемой точки относительно двух заданных точек и по направлению между ними.

Такие приемы часто встречаются в радиолокационных задачах.

При работе на карте для определения направлений на ориентиры чаще всего применяются истинный азимут, магнитный азимут и дирекционный угол. Реже используют единицу измерения угла “тысячная дистанции”. *Одной тысячной дистанции (т.д.)* называют центральный угол, соответствующий дуге в $1/6000$ длины ок-

ружности. Необычное наименование объясняется тем, что длина отрезка дуги окружности, соответствующей углу в одну тысячную равна округленно одной тысячной доле радиуса этой окружности:

$$l = \frac{2\pi r}{6000} = \frac{6,28r}{6000} = \frac{r}{955} \approx 0,001r.$$

Преимущество этой меры измерения угла заключается в том, что здесь единицей измерения является линейный отрезок, равный одной тысячной доле дистанции. Это позволяет предельно упростить переход от угловых величин к линейным и обратно. При этом используется следующее соотношение:

$$1 \text{ т.д.} = \frac{21600}{6000} = 3,6'.$$

Тысячные дистанции называются также делениями угломера. При измерении углов в т.д. принято называть и записывать раздельно сначала число сотен тысячных, а затем десятков и единиц (табл. 6.1).

Поскольку точное значение длины дуги на 4,71% больше приближенного, то при расчетах, требующих повышенной точности, приближенное значение угла увеличивают на 5%.

Измерение угловых размеров предметов в тысячных дистанции при известных их линейных размерах позволяет приближенно определить и расстояние до них по формуле

$$D = \frac{1000B}{U},$$

где B — линейные размеры; U — угол, т. д.

Таблица 6.1. Пример записи и произношения значений углов, измеренных в тысячных дистанции

Угол, т.д.	Форма записи	Произношение
1250	12–50	Двенадцать — пятьдесят
155	1–55	Один — пятьдесят пять
35	0–35	Ноль — тридцать пять
1	0–01	Ноль — ноль один

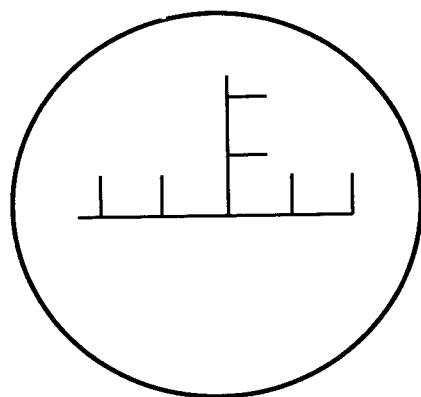


Рис. 6.7. Поле зрения бинокля

Измерение угловой величины предмета производится с помощью биноклей, в поле зрения которых видна сетка тысячных (рис. 6.7). Большие деления нанесены на сетке, как правило, через 10 т.д., а малые — через 5 т.д.

Глава 7

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ АЗИМУТАЛЬНЫЕ ПРОЕКЦИИ

7.1 Общая теория перспективных проекций

Перспективные проекции являются разновидностью азимутальных проекций. Они задаются геометрически путем линейной перспективы поверхности земного шара на картинную плоскость. При этом точка глаза находится на перпендикуляре к картинной плоскости, проходящем через центр условного глобуса. Уравнения перспективных проекций в общем виде имеют следующий вид:

$$\rho = f(Z), \quad (7.1)$$

$$A' = A.$$

Для определения вида функции f (рис. 7.1) обозначим:
 D — расстояние от точки глаза до центра шара OC ;
 K — расстояние от точки глаза до картинной плоскости.

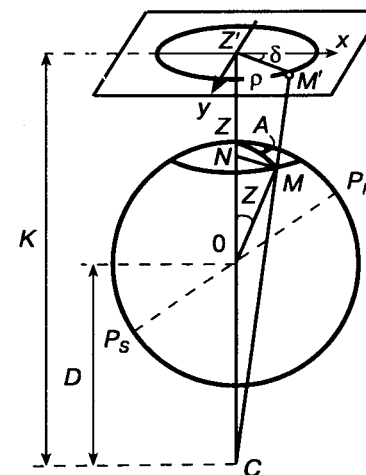


Рис. 7.1. Перспективная проекция

Из подобия прямоугольных треугольников $CZ'M'$ и CNM следует:

$$\frac{Z'M'}{NM} = \frac{CZ'}{CN}. \quad (7.2)$$

Из рисунка видно, что

$$Z'M' = \rho; \quad CZ' = K; \quad NM = r = R \sin z;$$

$$CN = CO + ON = D + R \cos z.$$

Подставив значения сторон в отношение (7.2) и решив его относительно радиуса ρ , получим:

$$\rho = \frac{KR \sin z}{D + R \cos z}, \quad (7.3)$$

где $K = \text{const}$; $D = \text{const}$.

Эти величины называются параметрами проекции.

Полярные координаты ρ и δ неудобны для построения картографических сеток. Гораздо удобнее пользоваться прямоугольными координатами x , y . Выведем уравнения проекции в прямоугольных координатах.

С этой целью подставим в формулу (7.3) выражения для перевода полярных координат в прямоугольные:

$$\begin{aligned}x &= \rho \cos \delta; \\y &= \rho \sin \delta.\end{aligned}\quad (7.4)$$

Значение радиуса ρ определяется из уравнения (7.3). При этом учтем, что во всех азимутальных проекциях $\delta = A$.

Получим:

$$\begin{aligned}x &= \frac{KR \sin z \cos A}{D + R \cos z}; \\y &= \frac{KR \sin z \sin A}{D + R \cos z}.\end{aligned}\quad (7.5)$$

Анализ уравнений проекции показывает, что параметр K влияет только на масштаб изображения. Чаще всего он определяется из условия, что картинная плоскость касается шара в точке Z . Параметр D определяет свойства изображения и зависит от места расположения точки глаза C (см. рис. 7.1).

В зависимости от удаления точки глаза от центра шара, т.е. от величины параметра D перспективные проекции называют:

- гномоническими ($D = 0$);
- стереографическими ($D = R$);
- внешними ($R < D < \infty$);
- ортографическими ($D = \infty$).

В зависимости от широты φ_0 центральной точки Z перспективные проекции подразделяются на нормальные ($\varphi_0 = 90^\circ$), косые ($0 < \varphi_0 < 90^\circ$) и поперечные ($\varphi_0 = 0^\circ$).

Наиболее часто используются стереографические и гномонические перспективные проекции.

Стереографические проекции. Это такие проекции, в которых точка глаза находится на поверхности шара с противоположной стороны от картинной плоскости. Параметры проекции:

$$D = R; \quad K = 2R.$$

Гномонические проекции. В гномонических проекциях точка глаза расположена в центре шара. Если картинная плоскость касается шара, то параметры проекции:

$$D = 0, \quad K = R.$$

С учетом этих значений параметров уравнение (7.3) примет вид:

$$\rho = \frac{KR \sin z}{D + R \cos z} = \frac{R^2 \sin z}{R \cos z} = R \operatorname{tg} z. \quad (7.6)$$

Важным свойством гномонических проекций является изображение на них ортодромии в виде прямой линии.

В гномонической проекции и меридианы и экватор, так же как и дуги всех других больших кругов, изображаются всегда в виде прямых линий. Действительно, большой круг на шаре — это след от пересечения шара плоскостью, проходящей через центр шара. А в гномонической проекции точка глаза расположена именно в центре шара. Следовательно, все проектирующие лучи будут в этом случае располагаться в секущей плоскости, а пересечение секущей плоскости с картинной плоскостью всегда дает прямую линию.

Указанное свойство, называемое *ортодромичностью*, позволяет использовать карты в этой проекции для прокладки отрезков ортодромий, являющихся дугами больших кругов на шаре.

Карты в гномонической проекции могут быть представлены следующими тремя разновидностями: нормальной, поперечной и косой.

Карты в нормальной (полярной) гномонической проекции получаются в том случае, если картинная плоскость касается земного шара в точке одного из полюсов. На этих картах меридианы проектируются прямыми линиями, лучеобразно расходящимися от полюса под углами, равными разности долгот на шаре. Параллели изобразятся в виде концентрических окружностей с общим центром в точке полюса (рис. 7.2).

Карты в поперечной (экваториальной) гномонической проекции получаются в том случае, когда картинная плоскость касается земного шара в любой точке экватора (рис. 7.3). Меридианы на этих картах изобразятся прямыми линиями, перпендикулярными экватору и параллельными центральному меридиану карты (меридиану точки касания картинной плоскости к экватору). Параллели же проектируются в виде гипербол, действительной осью которых будет являться центральный меридиан карты, а их центрами — точка касания картинной плоскости.

Карты в косой (горизонтальной) гномонической проекции будут получены в случае, если картинная плоскость касается земного шара в любой точке между полюсами и экватором (рис. 7.4). Меридианы на них изобразятся тоже прямыми линиями, лучеобразно расходящимися из полюса и симметрично расположенными отно-

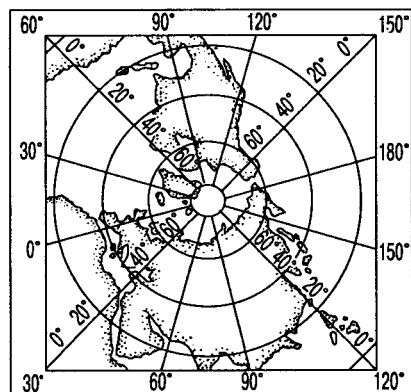


Рис. 7.2. Картографическая сетка нормальной гномонической проекции

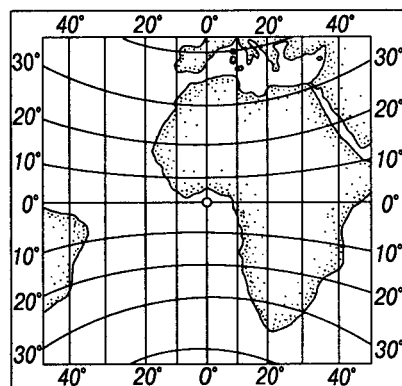


Рис. 7.3. Картографическая сетка поперечной гномонической проекции

сительно центрального меридиана, параллели будут иметь вид различного рода плоских кривых — эллипсов, гипербол, парабол — в зависимости от широты точки касания картинной плоскости.

Для составления морских карт в гномонической проекции в основном используют лишь нормальную (полярную) и косую (горизонтальную) проекции, которые издаются чаще всего в виде специальных карт-сеток.

Гномонические проекции являются произвольными. Они не равновелики и не равноугольны. Очертания материков на них сильно искажены. Непосредственное измерение расстояний на

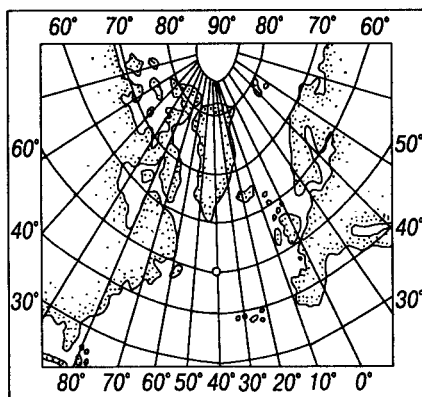


Рис. 7.4. Картографическая сетка косой гномонической проекции

этих картах затруднительно, поэтому расстояния рассчитывают либо по формулам сферической тригонометрии, либо прибегают к достаточно сложным геометрическим построениям.

Локсодромический курс на картах в гномонической проекции не может быть изображен прямой, а представляет собой кривую линию. Поэтому прокладка локсодромии на гномонической карте связана с дополнительными вычислениями и обязательными геометрическими построениями.

Карты в стереографической проекции используются в судоходстве чаще всего для изображения околополярных районов Земли. Поэтому наиболее употребительны нормальные стереографические проекции, у которых центральная точка проекции (точка касания) совпадает с полюсом.

Недостатком стереографической проекции является то, что линия постоянного курса — локсодромия — на этих картах представляет собой кривую линию. Однако эта кривизна очень мала, и для небольших расстояний локсодромию целесообразно прокладывать в виде прямой линии.

Ортодромия на таких картах также изображается кривой линией. Но и эта кривая представляет собой линию малой кривизны, которой при небольших расстояниях на практике пренебрегают.

Исключительно важным свойством этой проекции является то, что карта не слишком большого района с центральной точкой в середине карты имеет очень незначительные искажения, которые практически не влияют на точность графических построений. Так, например, если пользоваться путевой картой в стереографической проекции с центральной точкой в середине карты, то она уже в масштабе 1: 200 000 практически обращается в план. На таких картах меридианы, параллели, линии пеленгов, локсодромии и ортодромии изображаются линиями малой кривизны, практически прямыми в пределах стандартного листа карты.

7.2 Решение основных задач на картах в гномонической проекции

При работе на картах в гномонической проекции необходимо учитывать значительное искажение длин и углов на этих картах. Графическое решение задач на них имеет ряд особенностей, а поэтому следует рассмотреть ход этого решения более подробно.

Задача 1. Нанесение на карту точек по их географическим координатам. Измерение географических координат точек.

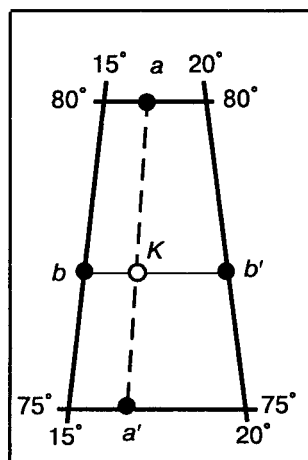


Рис. 7.5. К задаче 1

Задача решается путем графической интерполяции промежутков между меридианами и параллелями. Используя соответствующие деления широты и долготы на рамках карты, можно всегда выделить на карте четырехугольную фигуру (рис. 7.5), содержащую заданную точку.

На северной и южной параллелях этого четырехугольника по заданной долготы отмечают точки a_1 и a_2 , через которые проводят прямую — меридиан заданной точки. На западном и восточном меридианах по заданной широте отмечают точки b_1 и b_2 и проводят через них прямую — параллель точки. Место заданной точки определяется в точке K пересечения проведенных прямых.

Для измерения координат заданной точки K проводят отрезки ее меридиана и параллели до пересечения с меридианами и параллелями четырехугольника, в котором заданная точка находится. При проведении указанных координатных линий необходимо соблюдать закон пропорционального деления этими линиями изображений меридианов и параллелей четырехугольника.

Задача 2. Измерение расстояния между двумя точками.

При измерении длины отрезка AB (рис. 7.6) на карте в нормальной гномонической проекции всегда следует пользоваться шкалой того меридиана, который делит данный отрезок приблизительно пополам. Для этого достаточно как бы развернуть отрезок AB вокруг средней точки M до направления, параллельного среднему меридиану, и измерить разность широт точек A' и B' в дуговых минутах (милях).

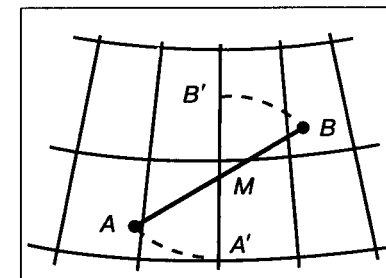


Рис. 7.6. К задаче 2

Однако полученное таким образом расстояние S' всегда меньше действительного. Для повышения точности измерения больших расстояний (свыше 500 миль) их следует измерять по частям, отрезками длиной не более 250 миль, используя для каждого отрезка свои значения величин $\varphi_{\text{ср}}$ и $\Gamma n K_{\text{ср}}$, отсчитываемых от своих средних точек.

Задача 3. Измерение направлений.

Определение направления проложенного отрезка прямой линии AB на картах в нормальной гномонической проекции производится относительно выбранного меридиана (в зависимости от решаемой задачи это может быть и меридиан точки отхода, и средний меридиан отрезка). Измерения производятся с помощью параллельной линейки и транспортира. Снятое с карты направление в этом случае будет гномоническим — $\Gamma n K$.

Для вычисления истинного направления необходимо воспользоваться формулой

$$\text{tg } IK = \text{tg } \Gamma n K \text{ cosec } \varphi, \quad (7.7)$$

где φ — широта точки, от которой измерялось направление заданной линии.

Чаше, вместо исправления искаженных углов при определении направления прямой линии на картах в гномонической проекции, предпочитают по координатам отдельных точек перенести изображение дуги большого круга на карту в меркаторской проекции, с которой затем и измеряют необходимые частные курсы без дополнительных исправлений.

Задача 4. Прокладка локсодромии на карте в гномонической проекции.

Локсодромический курс (заданное истинное направление) переводят в гномоническое направление с помощью формулы

$$\operatorname{tg} \Gamma_{\text{HK}} = \operatorname{tg} \text{IK} \sin \varphi. \quad (7.8)$$

Затем на карте проводят в заданном районе карандашом меридианы через $1-2^\circ$. После этого от меридиана начальной точки A с помощью транспортира и параллельной линейки прокладывают до следующего проведенного карандашом меридиана прямую линию под углом

$$\Gamma_{\text{HK}_{\text{cp}}} = \Gamma_{\text{HK}} \pm \frac{\Delta \lambda}{2},$$

где $\Delta \lambda$ — выбранная разность долгот между проведенными карандашом меридианами.

Из точки B от ее меридиана вновь прокладывают прямую до следующего меридиана под углом $\Delta \lambda / 2$.

Построение продолжается описанным образом от каждого нового меридиана. При этом необходимо помнить, что величина $\Delta \lambda / 2$ прибавляется при $\Gamma_{\text{HK}} < 180^\circ$ и вычитается при $\Gamma_{\text{HK}} > 180^\circ$.

Задача 5. Нанесение дуги большого круга.

Для решения этой задачи достаточно соединить конечные пункты прямой линией на карте в гномонической проекции. При необходимости проложить дугу большого круга на карте в другой проекции, ее переносят по координатам.

7.3 Плавание по дуге большого круга

Ранее отмечалось, что линия кратчайшего расстояния между двумя точками на земном эллипсоиде называется геодезической линией и представляет собой сложную кривую двойкой кривизны.

На сферической поверхности геодезическая линия совпадает с дугой большого круга. Следовательно, на Земле-шаре кратчайшее расстояние между двумя точками измеряется по дуге большого круга или по ортодромии, проходящей через эти точки. Однако, удерживая заданный курс корабля по компасу, корабль перемещается не по ортодромии, а по локсодромии. При трансокеанских пе-

реходах со значительным изменением долготы разница длин локсодромии и ортодромии может достигать существенной величины, измеряемой сотнями миль. В этих случаях ортодромическая траектория пути выгоднее локсодромической.

Ортодромия на морской навигационной карте в меркаторской проекции изображается кривой линией. Прокладка этой кривой сопряжена с определенными трудностями. Сложен и сам процесс удержания судна на этой ортодромии. Поэтому, прежде чем приступить к расчету плавания по ортодромии, необходимо выяснить целесообразность и возможность такого плавания.

Целесообразность плавания по дуге большого круга (ортодромии) определяется существенностью разности длин локсодромии $S_{\text{лок}}$ и ортодромии $S_{\text{орт}}$, проложенных из пункта отхода в пункт прихода:

$$\Delta S = S_{\text{лок}} - S_{\text{орт}}. \quad (7.9)$$

Эти длины рассчитывают по известным зависимостям:

$$S_{\text{лок}} = (\varphi_2 - \varphi_1) \sec K_{\text{лок}} = \Delta \varphi \sec K_{\text{лок}}; \quad (7.10)$$

$$\cos S_{\text{орт}} = \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \cos (\lambda_2 - \lambda_1). \quad (7.11)$$

По найденной величине ΔS делается вывод о целесообразности плавания по дуге большого круга.

Возможность плавания по дуге большого круга определяется в зависимости от расположения ее траектории относительно навигационных опасностей и других объектов, влияющих на выбор пути корабля. Для этого ее траекторию следует нанести на генеральную карту рейса и убедиться, что путь по ортодромии проложен в благоприятных навигационно-гидрографических и гидрометеорологических зонах.

При плавании по дуге большого круга ее траекторию заменяют хордами — отрезками локсодромий. Длина хорды определяется из условия, требующего, чтобы разность между длиной хорды и стягивающей ее дугой ортодромии не превышала пренебрежимо малой величины, равной 0,1%. Этому условию соответствуют долготные интервалы хорд, равные $4-6^\circ$.

На практике используют следующие способы расчета направлений хорд — локсодромий для плавания по дуге большого круга:

- с помощью ортодромических поправок;
- с помощью карт в гномонической проекции;

- помощью специальной номограммы;
- с применением средств вычислительной техники.

Использование ортодромических поправок. Необходимо выполнить следующие действия.

1. Определить долготный интервал изменения курса $\Delta\lambda$ и провести соответствующие ему меридианы от пункта отхода к пункту прихода.

2. По координатам начальной и конечной точек плавания на карте в меркаторской проекции проложить отрезок локсодромии между этими точками и измерить исходный локсодромический курс K_0 (рис.7.7).

3. Начальную ортодромическую поправку ψ_0 выбрать из табл. 2.12 МТ-2000 или рассчитать по формуле. Учесть, что в северном полушарии при движении на восток знак ψ_0 положителен, а при движении на Запад — отрицателен. В южном полушарии — наоборот.

4. Рассчитать направление ортодромии в пункте отхода:

$$A_1 = K_0 - \psi_0.$$

5. Рассчитать направление (курс) первой хорды:

$$K_1 = A_1 + \psi_1, \quad (7.12)$$

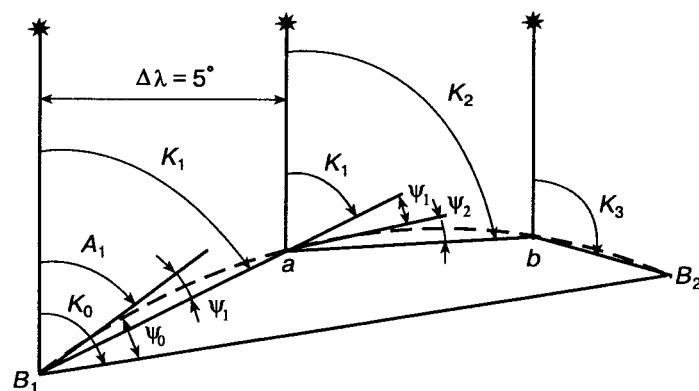


Рис. 7.7. Прокладка дуги большого круга по хордам

где ψ_1 — ортодромическая поправка для первого курса, выбираемая по широте начальной точки B_1 и принятому долготному интервалу $\Delta\lambda$.

6. От исходной точки B_1 по направлению K_1 до пересечения с меридианом $\lambda_a = \lambda_1 + \Delta\lambda$ провести первую хорду дуги большого круга. В полученной точке a рассчитать направление второй хорды:

$$K_2 = K_1 + \psi_1 + \psi_2, \quad (7.13)$$

где ψ_2 — ортодромическая поправка второго курса, выбираемая по широте точки a и принятому долготному интервалу $\Delta\lambda$.

7. Провести вторую хорду от точки a до меридиана $\lambda_b = \lambda_a + \Delta\lambda$.

Аналогичным образом рассчитать и проложить все последующие хорды:

$$K_i = K_{i-1} + \psi_{i-1} + \psi_i. \quad (7.14)$$

Когда до пункта прихода останется $\Delta\lambda$ меньше принятого интервала, хорда не рассчитывается. Заключительный отрезок локсодромии прокладывают от точки на последнем промежуточном меридиане непосредственно в пункт прихода.

Использование карт в гномонической проекции. Дуга большого круга изображается на картах в гномонической проекции прямой линией. Это позволяет, соединив прямой линией пункты отхода и прихода, убедиться, что проложенная ортодромия проходит в стороне от опасностей. Далее следует по измеренным с карты координатам отдельных точек ортодромии перенести дугу большого круга на меркаторскую путевую карту.

Карты в гномонической проекции издаются в масштабах от 1:10000000 до 1:35000000. Хотя координаты промежуточных точек измеряются на них с некоторыми погрешностями, для плавания по ортодромии с учетом возможных сносов судна такая неточность вполне допустима. Так как карты в гномонической проекции не конформны, измерять направления и расстояния на них достаточно сложно. Значительно удобнее и точнее промежуточные курсы и плавание по ним измерять с меркаторской карты после переноса на нее дуги большого круга.

Для нанесения дуги большого круга на путевые карты могут быть использованы и некоторые карты рекомендованных путей, на которые для районов интенсивного судоходства заранее наносят дуги больших кругов.

При практическом выполнении необходимо:

- на карте в гномонической проекции соединить начальную и конечную точки перехода прямой линией;
- полученную прямую разбить от начальной точки на отрезки через 10° по долготе и получить, таким образом, промежуточные точки;
- измерить координаты промежуточных точек, перенести их на меркаторскую карту и соединить прямыми отрезками локсодромических курсов.

Использование специальной номограммы. Определение начального направления дуги большого круга A_1 производится по специальной номограмме (адмиралтейский номер 90199). Порядок работы с номограммой указан в ее описании. Дальнейшая методика расчета курсов не отличается от описанной в первом способе.

Использование вычислительной техники. Все работы по нанесению дуги большого круга на морскую навигационную карту в меркаторской проекции существенно облегчаются при использовании современной вычислительной техники. При этом вначале прокладывают локсодромию и разделяют ее на отрезки по долготе, исходя из заданной точности плавания.

Для выбранных значений разностей долгот промежуточных точек локсодромии из исходной точки последовательно рассчитываются направления хорд — отрезков локсодромий, длины этих хорд и координаты точек поворота с хорды на хорду. Расчеты производятся по известным формулам сферической тригонометрии.

ОСНОВЫ МОРСКОЙ И РЕЧНОЙ ЛОЦИИ

Глава 8 НАВИГАЦИОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ МОРЕЙ

8.1 Навигационные опасности

Судовождение тесно связано с учетом конкретной морской навигационной обстановки, нередко изобилующей различными препятствиями, представляющими опасность для мореплавания. При этом под *морской навигационной обстановкой* подразумевается обстановка в море, обусловленная совокупностью физико-географических, гидрографических, гидрометеорологических условий и рекомендаций, регламентирующих движение судов, оказывающих влияние на решение задач морской навигации, а под термином *морская навигационная опасность* — препятствие, опасное для плавания судна.

Все навигационные опасности условно подразделяют на постоянные и временные.

Постоянные навигационные опасности — это всякие надводные, осыхающие или подводные, искусственные или естественные объекты, представляющие опасность для мореплавания. Такими опасными объектами чаще всего являются:

- возвышения подводного рельефа, глубины над которыми малы по сравнению с окружающими;
- затонувшие суда;
- минная опасность;
- утерянные на малых глубинах якоря и другие объекты.

Временные навигационные опасности создаются главным образом гидрометеорологическими факторами — туманом, ветром, течением, волнением и другими. К ним можно отнести также сорванные с якорей мины, буи, бочки, остатки понтонов, притопленные деревья, рыболовные сети, покинутые суда и другие плавающие предметы, вынуждающие судно при встрече с ними изменять курс. Сведения о всевозможных временных навигационных опасностях доводятся до мореплавателей специальными сообщениями и сигналами различных станций.

Судовождение — наука точная и не терпит двойственности в толковании понятий, которыми она оперирует. На первый взгляд одинаковые по смыслу названия — пролив и проход, мель и отмель для специалиста наполнены вполне конкретным содержанием, принципиально отличным одно от другого. Поэтому в лоции терминологии уделяется особое внимание, и она вся стандартизована. Рассмотрим ряд примеров.

Подводная гора — отдельное, с крутыми склонами подводное возвышение морского дна глубокой части океанов и морей.

Банка — изолированное и ограниченное по площади резкое поднятие морского дна.

Мель — более или менее обширное по площади возвышение на материковой отмели.

Отмель — мель, простирающаяся от берега.

Осушка — часть отмели или берега, осыхающая в малую воду.

Риф — опасное для плавания надводное или осыхающее возвышение морского дна со скалистым грунтом или скопление надводных или осыхающих камней.

Важнейшим фактором обеспечения безопасности судовождения в районах, где имеются различные навигационные опасности, является навигационное оборудование в виде совокупности рационально спроектированных и размещенных на берегу, в прибрежных водах и в ближнем космосе различных средств навигационного оборудования.

8.2 Принципы навигационного оборудования

Во второй половине XX в. быстрый рост торгового, промыслового и военно-морского флотов, повышение интенсивности судоходства, тоннажа и скорости судов, рост потенциальной опасности аварий нефтяных танкеров и судов с грузами, опасными для окружающей среды, потребовали значительного усиления внима-

ния к навигационно-гидрографическому и гидрометеорологическому обеспечению безопасности мореплавания. Важнейшей составной частью этого обеспечения является навигационное оборудование, предназначенное для создания благоприятной в навигационном отношении обстановки, обеспечивающей безопасность плавания судов всех типов и классов.

Современные средства навигационного оборудования (СНО) представляют собой систему специальных объектов и устройств, предназначенную для решения перечисленных ниже основных задач:

1) обеспечение опознавания морского побережья, а также навигационных определений места судна;

2) обеспечение следования судна по фарватерам, каналам, рекомендованным курсам, в узкостях и на акваториях портов;

3) ограждение навигационных опасностей, специальных полигонов, районов и отдельных точек на воде;

4) обеспечение гидрографических и тральных работ, испытаний навигационной техники, определения маневренных элементов судов.

Иначе говоря, СНО являются средствами внешней коррекции местоположения судна.

При проектировании системы навигационного оборудования, как правило, руководствуются принципами решения трех первых основных задач навигационного обеспечения.

Для решения первой задачи по обеспечению опознавания различных районов побережья и навигационных определений места применяют принцип *“обеспечения по площади”*. Он заключается в развитии сети СНО для покрытия рабочими зонами этих средств наибольших площадей.

Зона действия СНО — район моря, в пределах которого возможно измерение навигационного параметра по этому СНО.

Рабочая зона СНО — та часть зоны действия, в пределах которой возможно определение места судна с заданной точностью.

Степень обеспеченности данного района моря оценивается площадью и положением построенных на карте рабочих зон относительно рекомендованных курсов и фарватеров, а также характером распределения точности в рабочих зонах.

Обеспечение следования судна по рекомендованным курсам, фарватерам, каналам, в узкостях и на акваториях портов, т. е. решение второй задачи навигационного оборудования осуществляется по принципу *“обеспечения по направлению (маршруту)”*. Для этого устанавливают зрительные, радиотехнические и другие СНО вдоль фарватеров и рекомендованных курсов, устанавливают створы и секторные огни. Кроме того, обозначают эти курсы, гра-

ницы фарватеров, бровки каналов и зоны разделения движения с помощью знаков плавучего ограждения.

При решении третьей задачи, связанной с указанием положения навигационных опасностей, отдельных точек и районов на воде, руководствуются принципом *“обозначения места”*. При этом для обозначения места конкретной опасности применяют знаки плавучего ограждения, радионавигационные системы ближнего действия, секторное освещение на маяках и знаках, створное оборудование.

8.3 Характеристики и классификация средств навигационного оборудования

При оценке качества навигационного оборудования исходят из следующих общих характеристик СНО.

Точность, обеспечиваемая СНО при определении места, характеризуется погрешностью в измерении навигационного параметра (пеленга, угла, расстояния) и в определении места.

Дальность действия СНО зависит от его принципа действия и должна обеспечивать определение места в любой точке оборудуемого района.

Быстродействие (время, затрачиваемое на определение места) зависит от принципа действия СНО, уровня автоматизации бортовой аппаратуры и может колебаться в широких пределах: от десятых долей секунды до нескольких минут.

Надежность СНО — свойство оборудования выполнять заданные функции в определенных условиях эксплуатации при сохранении значений основных характеристик в установленных пределах. Критерии: наработка на отказ, вероятность безотказной работы, среднее время восстановления.

Помехоустойчивость СНО — способность сохранять свои основные характеристики в условиях естественных и искусственных помех.

Автономность СНО — способность действовать определенный период без обслуживания.

Классифицируют СНО по различным признакам:

- по дислокации — космические, береговые, морские (плавучие и подводные);
- по используемому физическому полю — зрительные (оптические), радиотехнические, акустические, электромагнитные;
- по происхождению — искусственные и естественные;

- по режиму работы — работающие непрерывно, работающие по расписанию, работающие по заявке, работающие по запросу;
- по виду источника света — электрические, ацетиленовые, газосветные, люминесцентные, лазерные, светоотражающие;
- по виду измеряемого навигационного параметра — азимутальные, стадиометрические, гиперболические, угломерные;
- по физическому принципу измерения — амплитудные, фазовые, импульсные, импульсно-фазовые, частотные.

Кроме того, СНО могут быть: активные и пассивные, стационарные и временные, обслуживаемые и автоматические, светящиеся и несветящиеся, точечные и протяженные, одиночные и работающие в группе.

Различные виды СНО удовлетворяют предъявляемым к ним требованиям в различной степени. Так, зрительные СНО просты по устройству, обеспечивают высокую точность определений места, однако дальность их действия ограничена и зависит от условий видимости. Радиотехнические СНО обеспечивают обсервации на больших расстояниях с высокой точностью, однако, требуют сложной и дорогостоящей бортовой аппаратуры и весьма чувствительны к помехам. Очевидно, что с помощью СНО одного какого-либо типа решить все задачи в любых условиях невозможно. Поэтому как при навигационном оборудовании, так и при мореплавании стремятся соблюдать принцип комплексирования различных СНО.

8.4 Зрительные средства навигационного оборудования

Береговые средства навигационного оборудования. Береговое ограждение устанавливается у береговой черты и служит для определения места судна и ориентировки при выборе безопасного пути.

Маяк — дневной и ночной навигационный ориентир, представляющий собой сооружение преимущественно башенного типа (рис. 8.1), отличительной формы и окраски, установленное на берегу или в море на гидротехническом основании, имеющее световое маячное оборудование. Оптическая дальность видимости огня маяка ночью более 10 миль.

Составные части маяка: фундамент, ствол башни, лестница и головная часть, состоящая из фонарного сооружения и балкона (галереи).

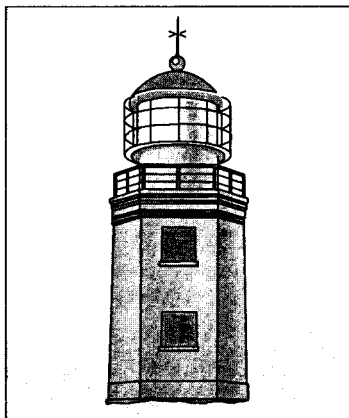


Рис. 8.1. Маяк

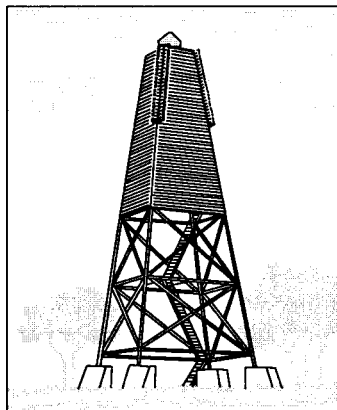


Рис. 8.2. Навигационный знак

Башни маяков различают:

по конструкции — со сплошными стенами, решетчатые и смешанные — со сплошной центральной шахтой для размещения лестницы;

по материалу — каменные, кирпичные, бетонные, бутобетонные, железобетонные, монолитные или сборные, чугунные, стальные или деревянные;

по форме — цилиндрические, призматические, конические, пирамидальные и др.

Навигационный знак — дневной и ночной или только дневной навигационный ориентир того же вида, что и маяк, но чаще ажурной конструкции со щитами для улучшения видимости, который устанавливают на берегу или в море на гидротехническом основании (рис. 8.2). Светящийся навигационный знак оборудуется светооптическим аппаратом с дальностью видимости огня ночью до 10 миль.

В темное время суток огни знаков различают по цвету и характеристике. Несветящиеся знаки являются исключительно дневными навигационными ориентирами.

Навигационные знаки различают по тем же признакам, что и маяки.

Выразительность архитектурных форм маяков и навигационных знаков способствует их опознаванию. Следует учитывать, что по форме башни маяков и знаков опознаются лишь со сравнительно небольших расстояний. При наблюдении с больших удалений мелкие детали не различаются, а контуры становятся расплывча-

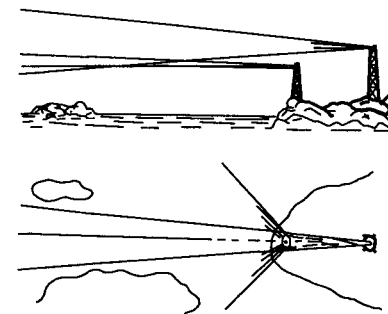


Рис. 8.3. Створные знаки

тыми. Наилучшими формами башни признаны цилиндрическая и призматическая, так как они обеспечивают наибольшую видимую площадь с любых направлений.

Маяки и навигационные знаки используются мореплавателями в качестве одиночных ориентиров для измерения на них пеленгов в дневное и ночное время. Кроме того, днем можно измерить вертикальный угол ориентира и далее рассчитать до него расстояние.

Основной недостаток этих видов навигационного оборудования, как и других зрительных средств, заключается в том, что их использование находится в полной зависимости от прозрачности атмосферы.

Створ — система двух или нескольких знаков (рис. 8.3) или огней, ось симметрии которой совмещена с осью фарватера или ограждающим пеленгом, что обеспечивает обнаружение отклонения судна за пределы безопасной для плавания зоны. Горизонтальная проекция оси симметрии створа называется *линией створа*.

Створы предназначены для обеспечения плавания по прямым отрезкам каналов и фарватеров при входе на рейды и в гавани, при плавании в узкостях и шхерах. Створы, как ни одно визуальное средство, обеспечивают возможность мореплавателю сравнительно точно удерживаться на заданной линии пути и определять точку начала поворота при плавании. Кроме того, створы используют для обозначения ограждающего пеленга в районах, изобилующих навигационными опасностями. Створы незаменимы при выполнении специальных работ: тралении, промере, определении маневренных элементов судов и при девиационных работах.

В зависимости от зрительного восприятия створы подразделяются на линейные, прицельные, щелевые, перспективные и лучевые. При этом они могут быть светящими или несветящими.

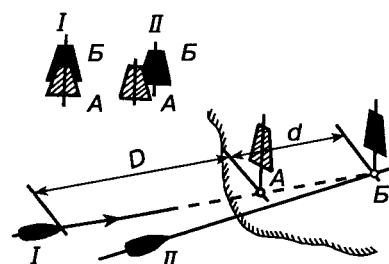


Рис. 8.4. Схема линейного навигационного створа:

I, II – позиции судна

Линейный створ (рис. 8.4) – система из двух или трех знаков, расположенных на заданной линии створа на разных уровнях таким образом, что мореплаватель, находясь в пределах безопасной для плавания линии (зоны), наблюдает эти знаки в одной визирной плоскости. При отклонении от линии створа, прямая, проходящая через центры знаков, усматривается с судна как наклонная.

Прицельный створ (рис. 8.5) – система из трех знаков, расположенных в вершинах равнобедренного треугольника, с основанием обращенным к морю. Линию створа получают, опустив высоту на это основание. При движении судна по прицельному створу задний, обычно более высокий знак, должен просматриваться точно посередине между двумя передними. Смещение заднего знака в сторону одного из передних свидетельствует о смещении судна с линии створа.

Щелевой створ (рис. 8.6) – по устройству аналогичен прицельному, однако используется он иначе. При плавании по этому створу

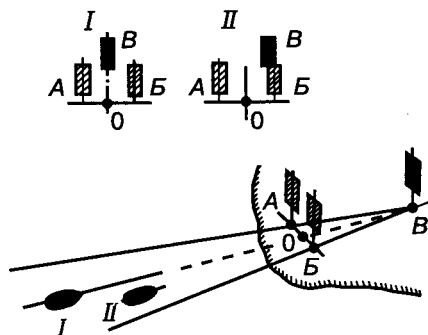


Рис. 8.6. Схема щелевого створа:

I, II – позиции судна

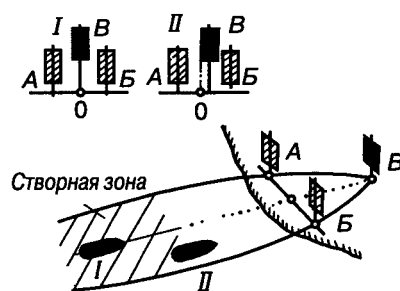


Рис. 8.5. Схема прицельного створа:

I, II – позиции судна

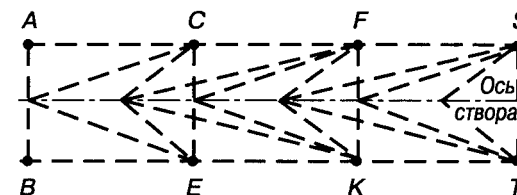


Рис. 8.7. Схема перспективного створа

ру задний, обычно более высокий знак, должен быть все время виден в расщелье (щели) между передними. Если же задний знак состворился с одним из передних, значит, судно вышло за пределы безопасной зоны.

Перспективный створ (рис. 8.7) – система двух, трех или более пар знаков, расположенных через равные расстояния таким образом, что ось фарватера проходит посередине между знаками пары и является осью симметрии всей системы. При плавании по этому створу мореплаватель должен следовать между знаками так, чтобы дальние пары знаков усматривались симметрично относительно линии створа и внутри ближней к судну пары.

Лучевой створ (рис. 8.8) – луч прожектора, направленный по оси фарватера под углом $5-19^\circ$ к горизонту. Если судно движется по оси фарватера, то мореплаватель видит луч прожектора направленным вертикально вверх. При уклонении от оси створа, луч усматривается наклонившимся в сторону, обратную стороне уклонения.

Лазерный створ (рис. 8.9, 8.10) – излучающее устройство на базе оптического квантового генератора, создающее направленный луч заданной расходимости в инфракрасном или видимом спектре. Наблюдать этот луч можно на дальностях в несколько десятков километров визуальным или с помощью специальных приемных устройств.

По назначению створы бывают навигационные и специальные.

К навигационным створам относят ведущие и поворотные створы.



Рис. 8.8. Схема лучевого створа

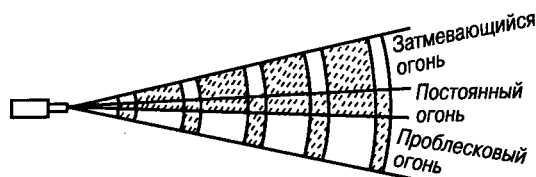


Рис. 8.9. Лазерный створ с двумя переплетающимися лучами

Ведущие створы служат для вождения судов по прямолинейным коленам фарватеров и каналов.

Поворотные створы используют на многоколенных фарватерах для указания начала поворота с одного колена на другое. При этом каждый створ может быть ведущим для одного участка и поворотным для другого. Вид и огни поворотных знаков должны резко отличаться от вида и огней ведущих знаков.

К специальным створам относят девиационные, тральные, лоцмейстерские и промерные створы, а также створы мерных линий.

Девиационные створы служат для определения девиации магнитных компасов на специальных девиационных полигонах. Наиболее удобны полигоны, оборудованные веером створов с одним общим задним или передним створным знаком.

Створы мерных линий используют при оборудовании визуальных мерных линий для обозначения границ участков с определенной длиной пробега. Знаки створов располагают на берегу попарно так, чтобы оси створов были параллельны между собой и перпендикулярны к рекомендованной линии пробега. Расстояние между осями секущих створов на берегу соответствует длине пробега судна на акватории.

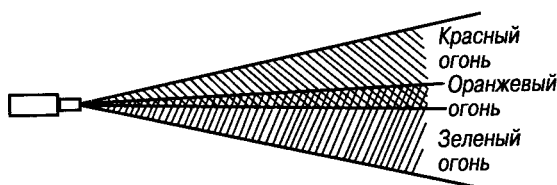


Рис. 8.10. Лазерный створ с цветными лучами

Тральные створы служат для удержания судна на галсе при тралении, главным образом в гаванях, бухтах и в узкостях, а также в прибрежных районах с сильным течением. В качестве створных знаков используются переносные щиты и вежи. Начало и конец тральных галсов часто закрепляют с помощью специально выставляемых секущих створов.

Лоцмейстерские створы предназначены для закрепления на водной поверхности мест установки знаков плавучего ограждения навигационных опасностей. Створы располагают на берегу или на островах таким образом, чтобы пересечение их осей указывало место постановки буя или вежи. Иногда в качестве знаков лоцмейстерских створов используют приметные объекты на местности или цветные пятна, окрашиваемые на камнях или скалах.

Промерные створы предназначены только для ориентировки движения судна на галсе промера и створная линия не может быть использована для определения места.

В качестве задних створных знаков специальных створов могут использоваться приметные пункты на местности или искусственные сооружения.

Створы называют прямыми, если знаки находятся прямо по носу идущего с моря судна и обратными, если они расположены по корме.

По дальности действия створы условно разделяют на створы ближнего действия (до 10 км) и на створы дальнего действия (более 10 км). При этом дальность видимости створа зависит от многих факторов. Основными из этих факторов являются площадь знаков и контраст их с фоном, общие условия освещенности, сила света огней и прозрачность атмосферы.

При плавании по створу мореплаватель решает вполне конкретную зрительную задачу по обнаружению смещения корабля с линии створа. Качество решения этой задачи зависит от конструктивных особенностей створа, а также от разрешающей способности человеческого глаза по углу $\epsilon \approx 1 \div 2'$. Обобщенный критерий качества створа — его чувствительность. *Чувствительность створа p* — величина обратно пропорциональная боковому смещению (см. рис. 8.4). Для линейного створа чувствительность может быть подсчитана по формуле

$$p = D \left(\frac{D}{d} + 1 \right) \arctan \epsilon', \quad (8.1)$$

где D — расстояние от судна до переднего створного знака; d — расстояние между створными знаками.

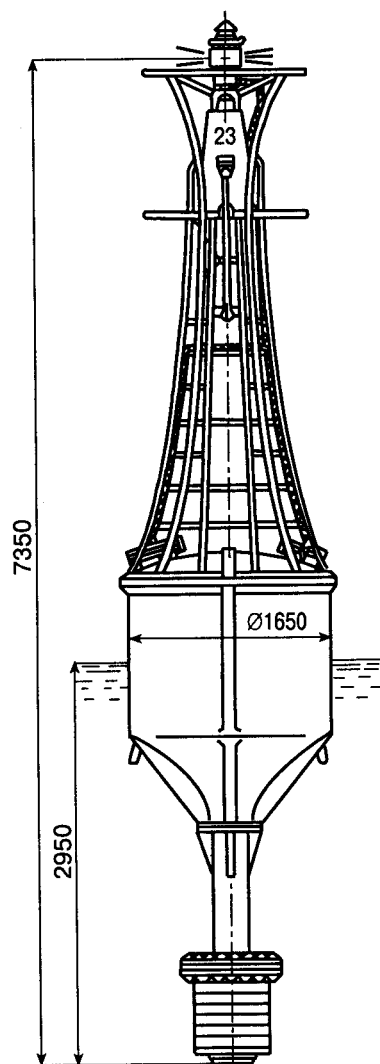


Рис. 8.12. Буй пластмассовый средний

Корпус исполняет роль поплавка и обычно сварен из листов стали. Внутри корпуса имеются герметичные пеналы для размещения источников питания. Надстройка предназначена для увеличе-

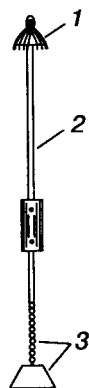
Рис. 8.13. Веха:

1 — топовая фигура; 2 — шест; 3 — якорное устройство

- легко распознаваться по окраске корпуса, надстройки и виду топовой фигуры в дневное время, а также по цвету и характеристике огня в ночное время;
- быть простыми и надежными, удобными в обслуживании и недорогими.

Буи в зависимости от назначения, размера и источника питания подразделяются на морские, лиманные и каналные; большие, средние и малые; электрифицированные (ацетиленовые) и несветящие.

Независимо от назначения и размеров буи (рис. 8.12) имеют следующие основные части: корпус, надстройку и противовес.



ния дальности видимости буя и в верхней части имеет площадку для установки светооптического аппарата. Здесь же крепится радиолокационный отражатель и топовая фигура. Противовес служит для придания бую остойчивости и может иметь разнообразную конструкцию.

Буи морские большие используются для ограждения навигационных опасностей, обозначения фарватеров и рекомендованных путей в открытых районах моря и на значительном удалении от берега, а также в качестве приемных в подходных точках к каналам или фарватерам.

Буи морские средние используются для ограждения навигационных опасностей, обозначения фарватеров и каналов, а также рекомендованных путей в прибрежной зоне.

Буи морские малые применяются для ограждения навигационных опасностей, обозначения фарватеров и каналов вблизи береговой черты и в закрытых заливах, бухтах и гаванях.

Буи лиманные и каналные рассчитаны на установку в закрытых от волнения мелководных районах (лиманах) и поэтому имеют по сравнению с морскими буями меньшую осадку.

Буи зимние — светящие и несветящие буи, выставяемые в некоторых районах на зимний период, обычно вместо снятого плавучего ограждения. Благодаря сигарообразной обтекаемой форме, большой плавучести и противовесу, буй оказывает малое сопротивление движению воды и легко занимает вертикальное положение в плавающем и мелкобитом льду. Гладкая поверхность буя позволяет ему свободно погружаться под лед при подвижках и свободно всплывать в разводьях.

Вехи бывают деревянные, металлические и пластмассовые и применяются для ограждения каналов, фарватеров и навигационных опасностей, а также для обозначения осей фарватеров, рекомендованных путей, зон разделения движения, подходных, приемных и других точек на воде, границ районов и полигонов (рис. 8.13).

Вехи являются в основном дневными ориентирами, однако на них могут устанавливаться простейшие светотехнические устройства или пассивные радиолокационные отражатели, которые дают возможность использовать вехи и в темное время суток.

В зависимости от назначения вехи различаются между собой окраской шестов, окраской и видом топовых фигур. В зависимости от района постановки вехи подразделяются на морские, рейдовые и бухтовые. Рейсвехи выставяются на зиму для закрепления мест стоянки штатного ограждения, снимаемого на зимний период.

Существующая система ограждения с помощью буев и вех — результат работы международных конференций по унификации систем ограждения. В результате длительных дискуссий в 1976 г. Международная ассоциация маячных служб (МАМС) и Международная морская организация (ИМО) разработали унифицированную систему, которая получила наименование “Система А — комбинированная кардинально-латеральная система плавучего ограждения (красный слева)”.

Кардинальной называется система ограждения, при которой взаимное положение опасности (района) и ограждающего ее знака определяется относительно четырех главных направлений. *Латеральной* называется система ограждения каналов и фарватеров, при которой положение опасности и ограждающего ее знака определяется относительно пути следования судна, идущего по каналу. Унифицированная система обеспечивает возможность как раздельного, так и совместного использования исторически сложившихся кардинальной и латеральной систем ограждения.

Эта система построена на следующих принципах:

- число плавучих знаков ограждения ограничено необходимым минимумом;
- обеспечивается легкое и надежное опознание знаков в ночное время по цвету и характеру огня без секундомера;
- зеленые и красные огни имеют только латеральные знаки, при этом они могут иметь любые характеристики;
- кардинальные знаки несут белые огни, характеристики которых резко отличаются друг от друга;
- в дневное время знаки опознаются по расцветке, форме и топовым фигурам;
- затонувшие суда ограждаются кардинальными или латеральными знаками, как и все другие навигационные опасности.

По этой системе ограждаются:

- стороны фарватеров, каналов и проходов;
- естественные навигационные опасности и подводные препятствия;
- районы и объекты, важные для мореплавания;
- новые опасности.

Предусматривается пять типов знаков, которые можно использовать в любой комбинации:

- кардинальные знаки, ограждающие навигационные опасности (четыре вида);

- латеральные знаки, ограждающие стороны каналов, фарватеров и проходов (четыре вида);
- знаки, ограждающие отдельные опасности незначительных размеров (один вид);
- знаки, обозначающие начальные точки и ось фарватера (канала) и середину прохода (один вид);
- знаки специального назначения (один вид).

Кардинальные знаки — буи столбовидной формы (рис. 8.14, см. цветную вклейку). Выставляются по принципу ограждения отдельных навигационных опасностей с четырех главных направлений. Каждому плавучему предостерегательному знаку присваивается наименование, соответствующее направлению, с которого он выставлен. Например: “Северный буй банки Аксенова”. При этом наименование кардинального знака обозначает сторону, с которой судно должно обойти этот знак. Окраска буев желто-черная. Кроме того, буи несут топовые фигуры в виде двух черных конусов один над другим в различной комбинации.

Латеральные знаки — буи конической или столбовидной формы или вехи (рис. 8.15, см. цветную вклейку). Выставляются по принципу ограждения сторон фарватеров. При этом, двигаясь “с моря”, мореплаватель должен видеть слева знаки, окрашенные в красный цвет с топовой фигурой в виде красного цилиндра, а справа — знаки зеленого цвета с топовой фигурой в виде зеленого конуса вершиной вверх.

Знаки, ограждающие отдельные опасности незначительных размеров, — буи столбовидной формы или вехи (рис. 8.16, см. цветную вклейку). Выставляются непосредственно над опасностью. Обходить их можно с любой стороны. Окраска черная с широкой красной полосой. Несут топовую фигуру в виде двух черных шаров один над другим.

Знаки, обозначающие начальные точки и ось фарватера (канала) и середину прохода, — буи сферической или столбовидной формы и вехи (рис. 8.17, см. цветную вклейку). Окрашены красными и белыми вертикальными полосами. Топовая фигура — красный шар.

Знаки специального назначения — буи любой формы, принятой в Системе А, и вехи, окрашенные полностью в желтый цвет (рис. 8.18, см. цветную вклейку). Топовая фигура — косой желтый крест. Применяются для обозначения или ограждения специальных районов или объектов, показанных на навигационных картах и описанных в руководствах для плавания: например, якорных мест, карантинных стоянок, районов свалки грунта, районов и полигонов боевой подготовки, мест прокладки кабелей и трубопроводов, мест отдыха.

Новые опасности — термин, применяемый к появившимся или обнаруженным опасностям, еще не показанным на картах и не описанным в руководствах для плавания (затонувшие суда, мели, банки). Ограждаются такие опасности кардинальными или латеральными знаками. Кроме того, если новая опасность представляет серьезную угрозу для мореплавания, она может быть ограждена дублирующим знаком, оборудованным радиолокационным маяком-ответчиком с кодовым сигналом “W” длиной в 1 милю на экране корабельной РЛС.

Плавучий маяк (рис. 8.19, см. цветную вклейку) представляет собой судно специальной конструкции с характерными надстройками и резко отличительной окраской, установленное на якоре в определенном штатном месте, координаты которого точно известны. Устанавливаются плавучие маяки в открытом море для ограждения крупных навигационных опасностей и оборудуются светооптическими аппаратами, радиотехническими и звукосигнальными устройствами. Все эти средства работают, как правило, синхронно.

Часто на плавучих маяках размещаются лоцманская и спасательная станции. Тогда их называют приемными маяками и используют для указания мореплавателям подходной к порту точки. В некоторых мелководных прибрежных районах плавмаяки заменяют небольшими маячными судами (ботами), как правило, для обозначения входов в каналы или для ограждения малых глубин. Реже встречается освещаемый поплавко-плот с надстройкой и кололом, действующим при волнении моря.

За штатное место плавучего маяка принимаются координаты точки положения его якоря на дне. Радиус циркуляции плавмаяка на якоре не должен превышать четырех глубин места постановки. Положение плавучего маяка на штатном месте регулярно контролируется его капитаном.

Если плавучий маяк не находится на своем штатном месте, то он не несет маячного огня и не подает установленных для него как для маяка звуковых и радиосигналов. В этом случае он несет: днем — два черных шара (или два красных флага), а ночью — два красных огня в носовой и кормовой части. Кроме того, на судне поднимают сигнал по МСС (Международному своду сигналов) “ПЦ” (“Я не нахожусь на штатном месте”), а ночью зажигают одновременно красный и белый фальшфейеры не реже чем через 15 мин.

Плавучие маяки пока еще используются в системе навигационного оборудования морей. Роль и значение их в настоящее время несколько уменьшились в связи со сложностью и дороговизной

эксплуатации, а также в связи с широким развитием строительства маяков на гидротехническом основании.

Вид и описание берегового и плавучего ограждения приведены в справочниках “Огни и знаки”, а также в лоциях и на навигационных картах.

Станции для обслуживания мореплавателей. Сигнальные станции (сигнальные посты, сигнальные мачты) служат для передачи мореплавателям сведений об ожидаемой погоде, состоянии льда, приливо-отливных явлениях. Эти станции чаще всего располагаются в портах или на подходах к ним, иногда они располагаются при маяках.

Штормовые станции служат для передачи на корабли и суда штормовых предупреждений.

Радиостанции предназначены для передачи на корабли и суда различной информации и определения места:

- радиостанции службы погоды и ледовой службы передают гидрометеорологические сводки, прогнозы погоды, ледовые прогнозы, штормовые предупреждения;
- радиостанции навигационных извещений мореплавателям передают кораблям и судам информацию и предупреждения об изменениях в условиях плавания в том или ином районе;
- радиостанции сигналов времени служат для определения поправок судовых хронометров.

Телефонные станции предназначены для передачи по проводам различных сообщений, принятых с судов. Располагаются они при маяках. Связь с судами может осуществляться с помощью семафора или радиотелефона.

Семафор используется для передачи на суда информации о временно запрещенных для плавания районах, курсах, ведущих к опасности, обнаруженных минах. Семафоры располагаются обычно на плавучих маяках, лоцвахтах и постах. Сигналы и извещения передаются по Международному своду сигналов (МСС).

Лоцманские станции (лоцвахты) — места базирования лоцманов в районах, где требуется лоцманская проводка. Чаще всего они находятся на плавучих маяках или на специальных лоцманских судах. Вызов лоцмана осуществляется сигналом по МСС. При отсутствии лоцмана на станции днем поднимают шар, а ночью зажигают красный огонь.

Спасательные станции (спасательные посты) служат для оказания помощи кораблям, судам и людям, терпящим бедствие на море. Они обычно располагаются на побережье вблизи основных путей судов в данном районе (чаще всего при маяках) или в портах и

имеют все средства, необходимые для оказания помощи терпящим бедствие.

Сигналы, относящиеся к движению судов. *Сигналы предостережения об опасности* поднимаются на маяках, лоцманских судах, а также на любых кораблях и судах, заметивших судно, курс которого ведет к опасности.

Спасательные сигналы используются для связи между береговыми спасательными станциями и судами, терпящими бедствие в соответствии с Международной конвенцией по охране человеческой жизни на море.

Лоцманские сигналы поднимаются на специальных мачтах, устанавливаемых у входа в гавани, каналы или на берегах рек. Они регулируют движение и облегчают ориентировку при входе в гавани и порты. Значение сигнала может быть самым различным: о глубине на фарватере, о приливе (отливе), открытом (закрытом) входе или выходе и т.д.

Сигналы при проходе мостов в отдельных государствах регулируют движение судов при проходе мостов в соответствии со специальными правилами. Днем эти сигналы подают семафором, ночью — огнями по МСС.

Устройство семафоров и значение передаваемых ими сигналов описано в книге “Международный свод сигналов”.

Перечисленные сигналы не исчерпывают указаний для регулирования режима плавания в различных районах и условиях. Полные сведения о станциях, обслуживающих мореплавателей, и установленных сигналах приводятся в лоциях, справочниках “Огни и знаки”, “Радиотехнические средства навигационного оборудования”, ежегодно публикуются в первом номере Извещений мореплавателям ГУНиО МО РФ, показаны на картах и объявляются в портах “Обязательным постановлением администрации порта”.

8.5 Звукосигнальные системы

Общие сведения. Звукосигнальные средства как предостерегательные СНО еще широко используются в прибрежной зоне для повышения безопасности плавания судов. Звукосигнальные средства ориентируют мореплавателей относительно навигационных опасностей, на которых или вблизи которых они установлены. Направление на источник звука с частотой 100–1000 Гц определяется в атмосфере ориентировочно: при подаче длинных сигналов — с точностью 12–14°, а при подаче коротких сигналов — с точностью

3–4°. Удаление судна от навигационной опасности оценивается по усилению или ослаблению уровня громкости звукового сигнала. Однако к такой оценке следует подходить с большой осторожностью. Дальность действия звукосигнальных установок, в общем, невелика, поэтому их применение ограничено прибрежной зоной. Для расширения возможности их применения в зоне открытого моря, звукосигнальные средства часто устанавливают на плавучих маяках и больших морских буях. В целом следует учитывать, что звукосигнальные установки служат только в качестве ориентирных и предостерегательных средств. Они лишь дополняют комплекс различных СНО, обеспечивающих безопасность плавания в данном районе.

Классификация звукосигнальных систем. По месту установки:

- береговые или стационарные [наутофоны, УЗД (установки звуковые динамические), сирены];
- плавучие (ревун, колокола);
- подводные (подводный колокол, подводный осциллятор).

По дальности действия и мощности:

- ближнего действия с дальностью слышимости до 1 мили;
- среднего действия с дальностью слышимости от 1 до 5 миль.

По принципу действия:

- электромагнитные (наутофон);
- электродинамические (УЗД);
- пневматические (сирена, диафон, тайфон, ревун, горн, пушка, свисток);
- механические (колокол, гонг).

Дальность слышимости зависит от следующих факторов:

- звуковой мощности излучателей;
- диаграммы направленности излучателей;
- условий распространения звука в атмосфере (температура, влажность, давление, скорость и направление ветра, а также градиент этих величин);
- условий приема звуковых сигналов на корабле (маскировочный эффект).

В настоящее время в практике навигационного оборудования используются главным образом электрические звукосигнальные установки на знаках и маяках, ревун на больших морских буях.

Характеристика звуко сигнальных систем. Звуко сигнальные средства, как стационарные, так и установленные на плавучих СНО, начинают действовать при появлении тумана и понижении видимости до 3 миль. Включаются они с помощью автоматического датчика видимости или вахтенным маяка, ведущим постоянное наблюдение за состоянием видимости. Фактическая видимость определяется по специальным ориентирам, расстояние до которых заранее измерено.

Длительность звучания звуко сигнальной установки должна быть короткой и частой, что облегчает и звуковое восприятие, и определение направления на источник звука. Оптимальными параметрами характеристик звучания в атмосфере являются:

- общий период звучания — 15–60 с, в течение которых должно быть не менее двух импульсов звука;
- наименьшая продолжительность звукового сигнала — не менее 1,5 с. В сложных сигналах, содержащих более двух импульсов, короткие импульсы следует чередовать с более продолжительными;
- частота звука наутофонных установок — 300–500 Гц, УЗД — 200–1000 Гц.

Навигационные опасности ограждаются звуко сигнальными средствами таким образом, чтобы рабочий сектор слышимости полностью перекрывал навигационную опасность или фарватер на всем их протяжении. В пределах этого рабочего сектора сигнал должен отчетливо прослушиваться и быть ровным по тону. Отдельные импульсы разной продолжительности должны хорошо распознаваться и позволять определять полную характеристику сигнала. Одинаковые характеристики не должны повторяться в пределах побережья протяженностью до 30 миль. Если звуко сигнальные установки расположены на меньшем удалении друг от друга, то их характеристики должны резко отличаться и быть удобными для опознавания.

Подводные сигналы также предназначены для ориентировки мореплавателей относительно береговой черты в условиях пониженной видимости. Водная среда более благоприятна для распространения звуковых волн, чем воздух, поэтому при средней скорости распространения звука в воде 1500 м/с, дальность слышимости достигает для подводных колоколов 15 миль, а для подводных излучателей (осцилляторов) более 50 миль.

Подводный колокол может устанавливаться на буях, плавучих маяках и у берегов. Приводится в действие механически, электри-

чески или под действием колебаний волн. В последнем случае частота ударов зависит от степени волнения, но сила ударов всегда постоянна. Одиночный колокол слышен на 5–7 миль, группа колоколов — на 10–15 миль. Каждой из установок придается свой отличительный характер.

Подводный излучатель (подводный осциллятор) приводится в действие при помощи электрической энергии и генерирует в воде ультразвуковые колебания с частотой 1050 Гц. На слух воспринимается как сигнал высокого тона. Слышимость осцилляторов примерно в два раза лучше, чем колоколов. Кроме того, преимуществом осцилляторов является возможность формирования сигналов по азбуке Морзе.

Подводные колокола и осцилляторы устанавливают при береговых маяках в районе изобаты 20 м на специальной донной треноге. Точное место треноги указывают на карте.

Для приема подводных сигналов на боевых кораблях используют штатные гидроакустические станции и комплексы, а на судах устанавливают специальные звукоприемные аппараты — гидрофоны.

Подводные звуковые сигналы слышны тем лучше, чем глубже сидит судно, чем меньше его скорость и чем спокойнее море. Лучше всего слышен звук, если направление на его источник находится в районе траверзных курсовых углов. Звук почти не улавливается, если приходит с острых носовых и, особенно, кормовых курсовых углов.

Характеристики воздушных и подводных звуковых сигналов во всех деталях описаны в руководствах “Огни и знаки”.

8.6 Дальность видимости предметов в море

Дальность видимости горизонта. Наблюдатель, находящийся в море на судне, видит ограниченную часть поверхности моря.

Линия, ограничивающая видимую часть поверхности моря, называется *видимым горизонтом наблюдателя*. Эта линия является малым кругом на поверхности Земли. Сферический радиус этого малого круга — это и есть дальность видимого горизонта наблюдателя D_e . Поместим наблюдателя в точку A на земной поверхности (рис. 8.20).

Глаз наблюдателя будет расположен в точке A' на высоте e от земной поверхности. Принимая Землю за шар, проведем касатель-

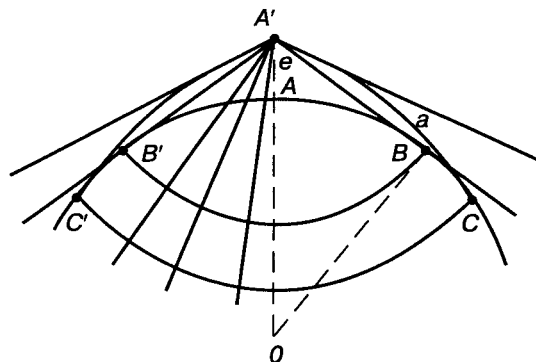


Рис. 8.20. Дальность видимого горизонта наблюдателя

ные от глаза наблюдателя к земной поверхности. Точки касания расположатся на земной поверхности на линии малого круга BB' .

Если бы Земля не имела атмосферы, то лучи зрения от глаза наблюдателя распространялись бы по этим касательным, и наблюдатель видел бы участок поверхности моря, ограниченный малым кругом BB' . Однако Земля окружена атмосферой, плотность которой уменьшается с высотой. Лучи зрения от глаза наблюдателя проходят через слои атмосферы различной плотности и при этом преломляются, т. е. искривляются.

Оптический луч зрения от глаза наблюдателя пройдет по кривой $A'aC$. По таким же кривым пойдут и другие оптические лучи от глаза наблюдателя, и он будет видеть участок поверхности моря, ограниченный малым кругом CC' . Этот малый круг CC' и является видимым горизонтом наблюдателя. Он представляется наблюдателю в виде линии горизонта, по которой море как бы соединяется с небом.

Явление преломления зрительного луча атмосферой называется *земной рефракцией*. В результате действия земной рефракции наблюдатель увидит линию видимого горизонта на расстоянии AC . Расстояние AC и будет дальностью видимого горизонта наблюдателя D_e с высоты глаза e .

Для определения дальности видимого горизонта D_e необходимо сначала определить длину отрезка $A'B$ из прямоугольного треугольника $A'OB$. В этом треугольнике $OB = R$ (радиус Земли); $OA' = R + e$, где e — высота глаза наблюдателя; $A'B$ обозначим D_T — теоретическая (геометрическая) дальность видимого горизонта:

$$(A'B)^2 = (A'O)^2 - (OB)^2.$$

Подставив в это выражение значения входящих в него величин, получим

$$\begin{aligned} D_T^2 &= (R + e)^2 - R^2 = R^2 + 2Re + e^2 - R^2 = 2Re + e^2 = \\ &= 2Re(1 + e/2R). \end{aligned}$$

Так как высота глаза e пренебрежительно мала по сравнению с радиусом Земли R , то выражение $e/2R$ стремится к нулю.

$$D_T = \sqrt{2Re}. \quad (8.2)$$

Так как высота e мала, то можно считать, что $A'B = AB$; отсюда

$$AB = D_T = \sqrt{2Re}.$$

Под действием земной рефракции в результате преломления зрительного луча наблюдатель видит дальше на величину BC , которая зависит от коэффициента земной рефракции и определяется выражением

$$BC = 0,56k\sqrt{2Re}.$$

Среднее значение коэффициента земной рефракции $k = 0,16$, поэтому

$$BC = 0,09\sqrt{2Re}.$$

Таким образом, реальная дальность видимого горизонта определится выражением

$$AC = D_T + BC = \sqrt{2Re} + 0,09\sqrt{2Re} = 1,09\sqrt{2Re}.$$

Для того чтобы получить дальность видимого горизонта в милях, необходимо радиус Земли R и высоту глаза наблюдателя e выразить в милях. Тогда

$$D_e = 1,09\sqrt{2 \cdot 3437,75 \frac{e}{1852}} = 2,1\sqrt{e}, \quad (8.3)$$

где D_e — реальная дальность видимого горизонта, мили; e — высота глаза наблюдателя, м.

Дальность видимого горизонта с учетом земной рефракции называется географической дальностью видимого горизонта и ее можно определить по табл. 2.1 МТ-2000.

Рассмотренный выше подход применяется и для оценки возможности радиолокационной наблюдаемости. С учетом особенности рефракции электромагнитных волн в земной атмосфере географическая дальность радиолокационного горизонта

$$D_p = 2,39\sqrt{h_a}, \quad (8.4)$$

где h_a — высота антенны РЛС, м.

Географическая дальность радиолокационного горизонта может быть выбрана из табл. 2.2 МТ-2000.

Дальность видимости предметов в море. Луч зрения от глаза наблюдателя, коснувшись земной поверхности в точке C , распространяется и дальше. Если на пути луча окажется предмет, то этот предмет будет виден наблюдателю. Наблюдатель, находящийся в точке A , с высотой глаза e , будет видеть предмет, находящийся в точке P и имеющий высоту h (рис. 8.21).

Расстояние AP от наблюдателя до видимого им предмета называется дальностью видимости предмета D_n . Из рис. 8.21 видно, что

$$D_n = D_e + D_h,$$

где D_e — дальность видимого горизонта наблюдателя с высотой глаза e ; D_h — дальность видимого горизонта с высоты предмета h .

Физическая сущность величины D_h аналогична сущности величины D_e , следовательно $D_h = 2,1\sqrt{h}$.

Тогда $D_n = 2,1\sqrt{e} + 2,1\sqrt{h}$ или

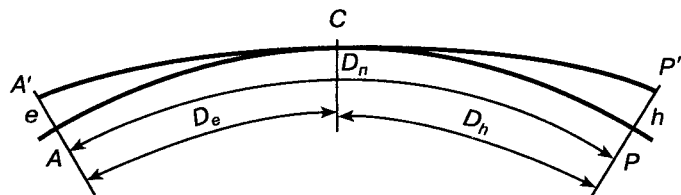


Рис. 8.21. Дальность видимости предмета

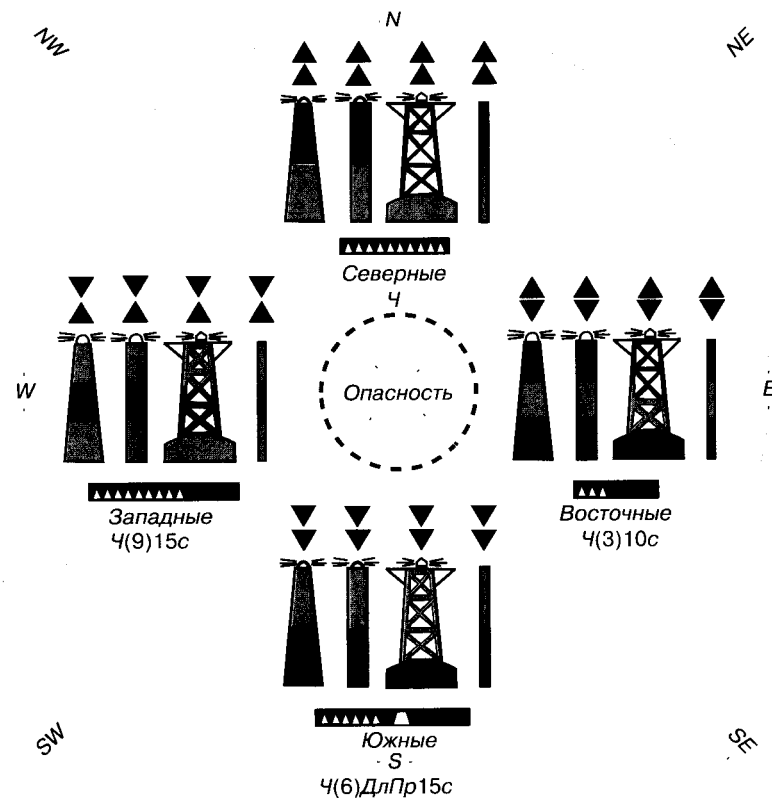


Рис. 8.14. Кардинальные знаки

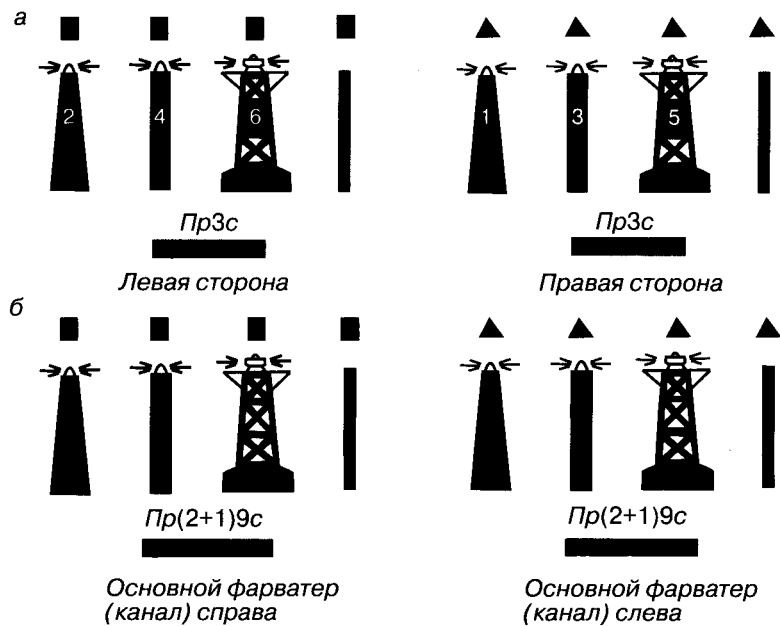


Рис. 8.15. Латеральные знаки

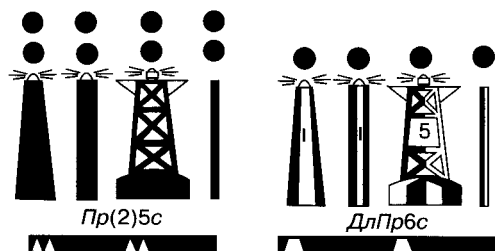


Рис. 8.16. Знаки, ограждающие отдельные опасности незначительных размеров

Рис. 8.17. Знаки, обозначающие начальные точки и ось фарватера (канала) и середину прохода

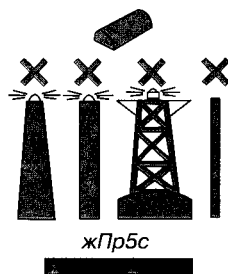


Рис. 8.18. Знаки специального назначения

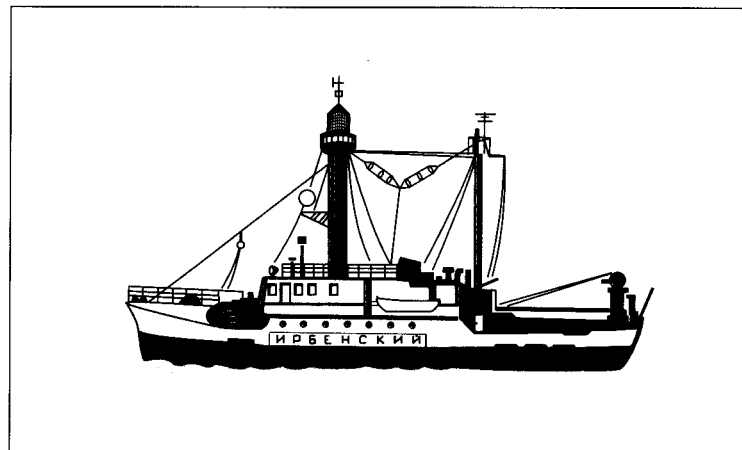


Рис. 8.19. Плавучий маяк

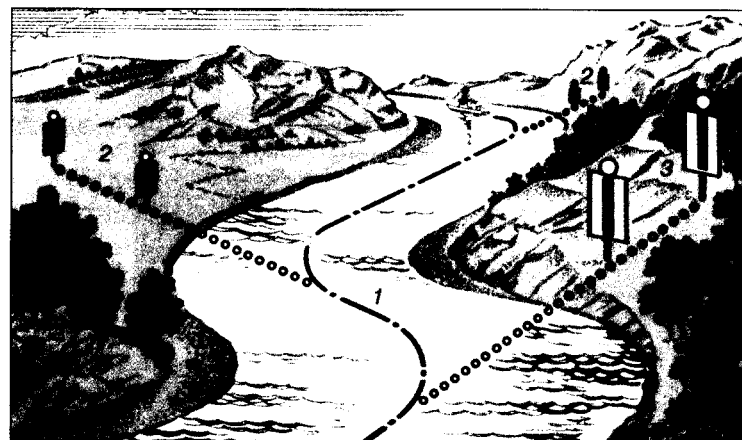


Рис. 11.1. Осевые створы на местности

1 – ось судового хода; 2 – створы на светлом фоне; 3 – створы на темном фоне местности.

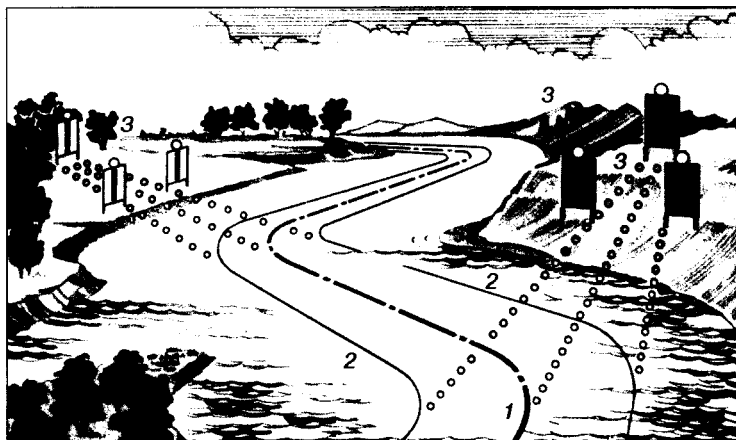


Рис. 11.2. Щелевые створы на местности

1 – ось судового хода; 2 – кромки судового хода; 3 – створы.

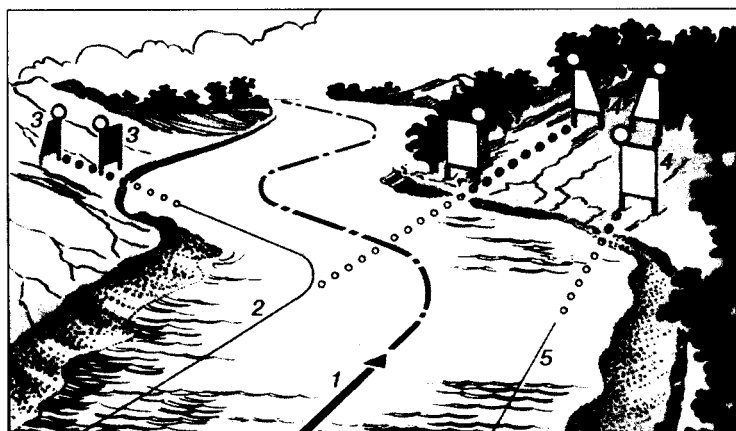


Рис. 11.3. Кромочные створы на местности:

1 – направление течения; 2 – левая кромка судового хода; 3 – створные знаки для обозначения одной (левой) кромки судового хода; 4 – створные знаки для обозначения двух кромок судового хода; 5 – правая кромка судового хода.

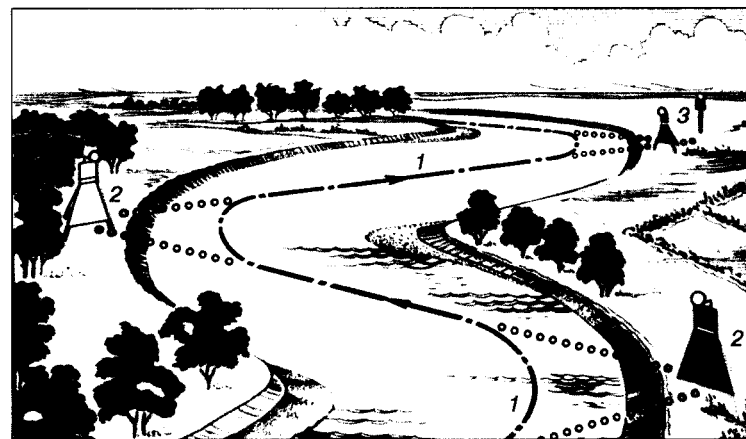
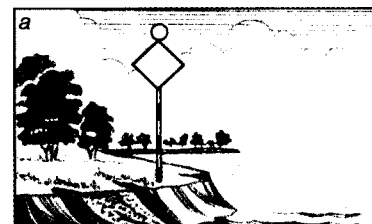
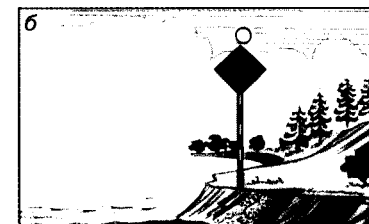


Рис. 11.4. Перевальные знаки на местности

1 – направление судового хода; 2 – перевальные знаки; 3 – створно-перевальный знак.



Огонь



Огонь

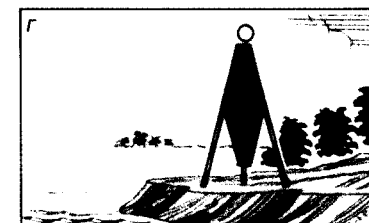
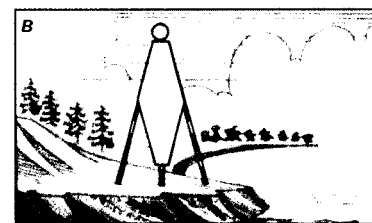


Рис. 11.5. Ходовые знаки на левом (а, в) и на правом (б, г) берегах

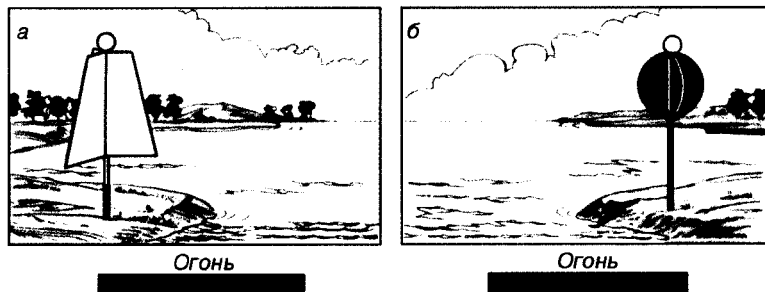


Рис. 11.6. Весенние знаки на левом (а) и правом (б) берегах

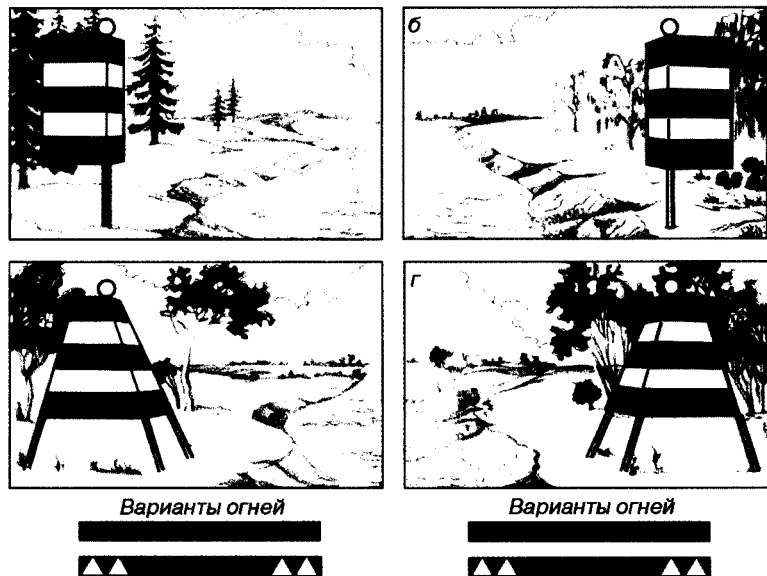


Рис. 11.7. Знаки «Ориентир» на левом (а, в) и правом (б, г) берегах

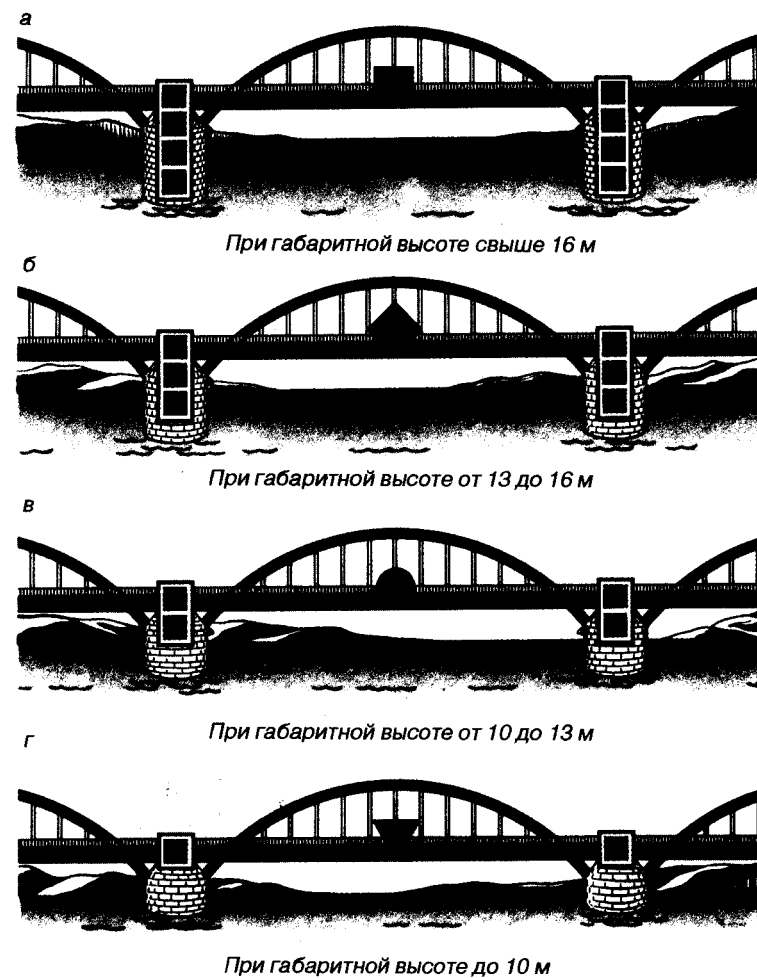


Рис. 11.8. Указатели оси судового хода в судоходных пролетах мостов и указатели высоты подмостового габарита и кромок судового хода для светлого фона

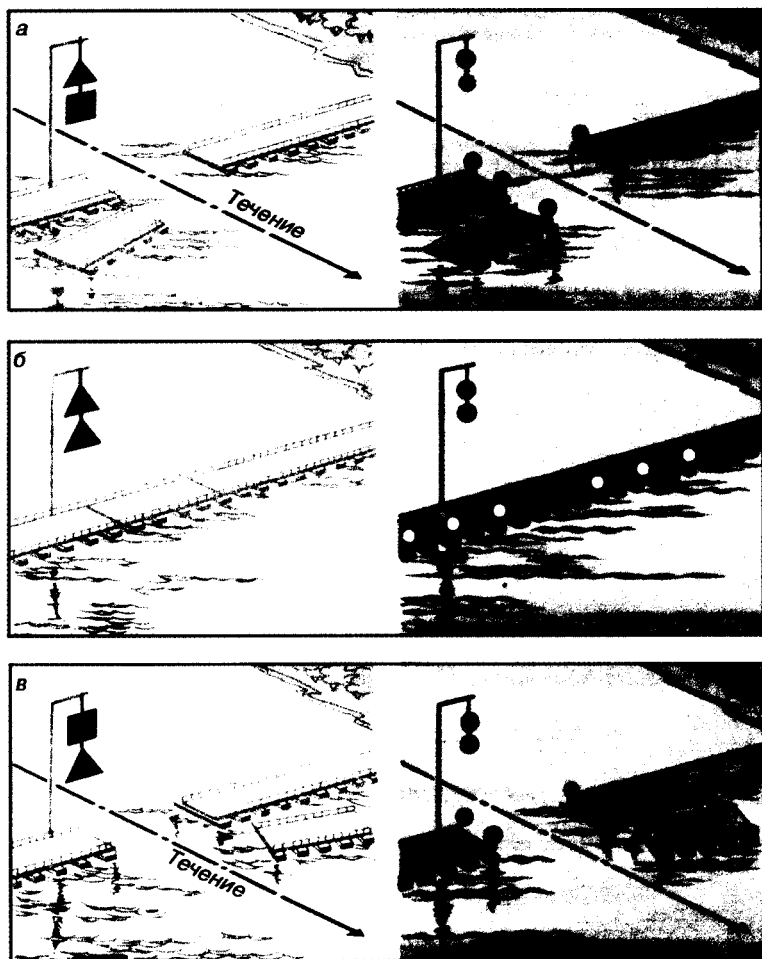


Рис. 11.9. Навигационные знаки на наплавных мостах (днем) и огни (ночью)

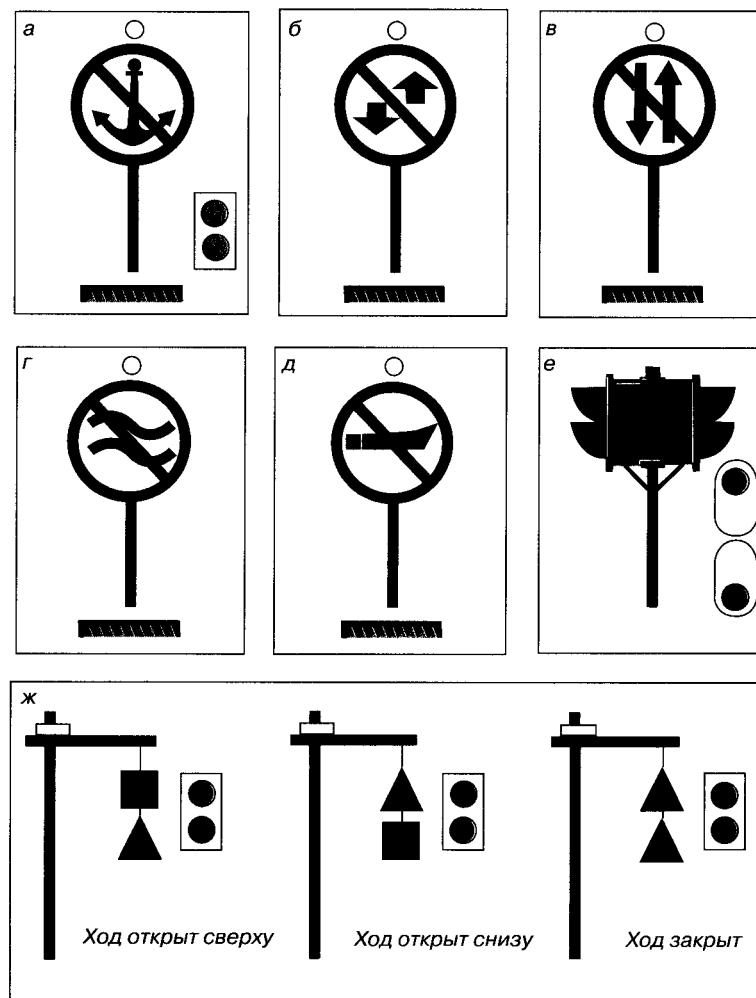


Рис. 11.10. Запрещающие знаки

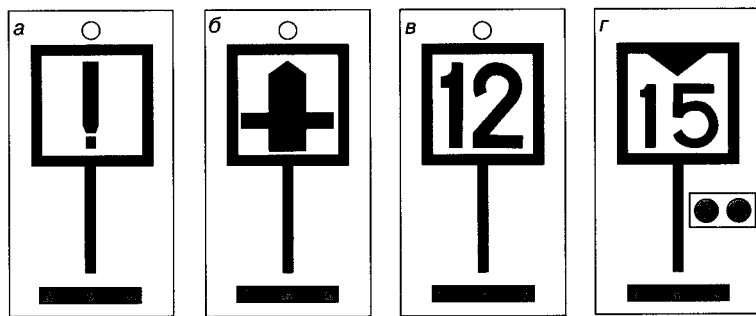


Рис. 11.11. Предупреждающие и предписывающие знаки

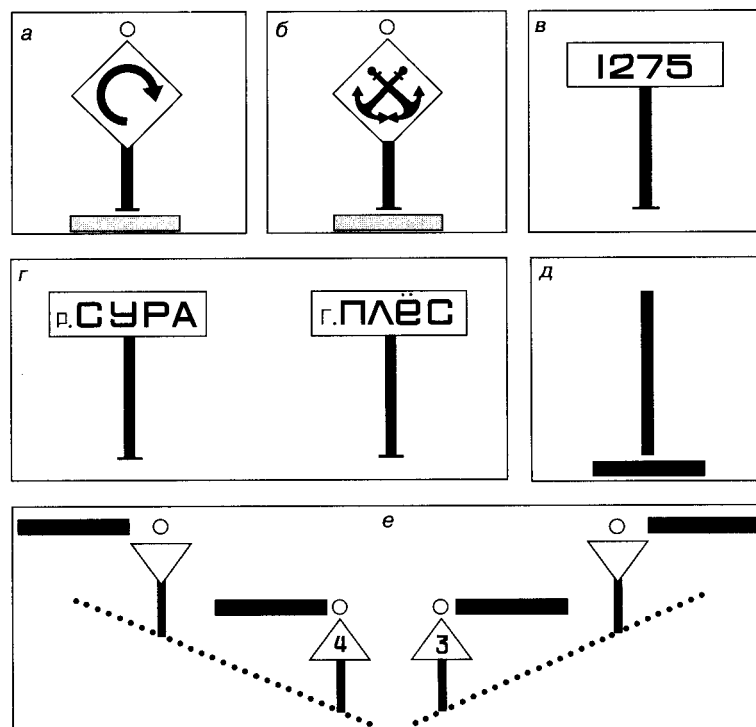


Рис. 11.12. Указательные знаки

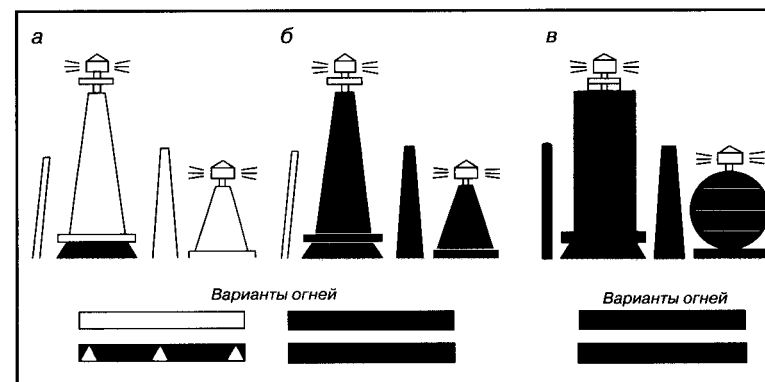


Рис. 11.13. Кромочные знаки

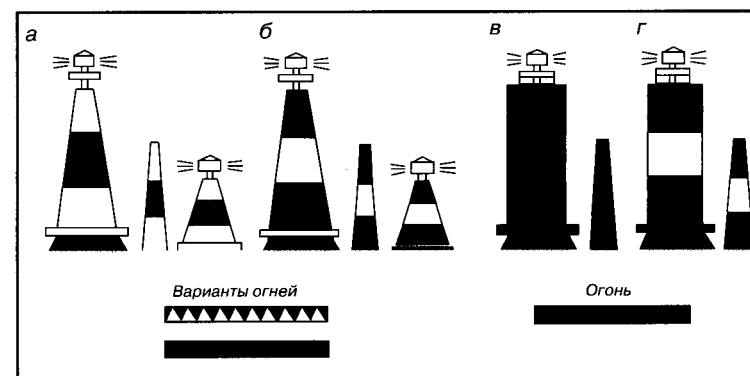


Рис. 11.14. Поворотные знаки

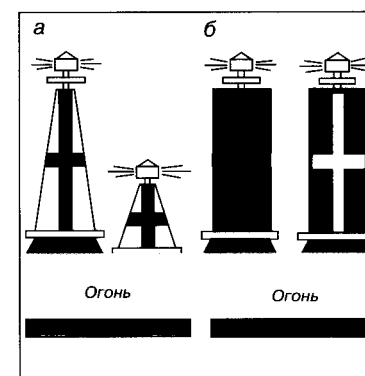


Рис. 11.15. Знаки опасности

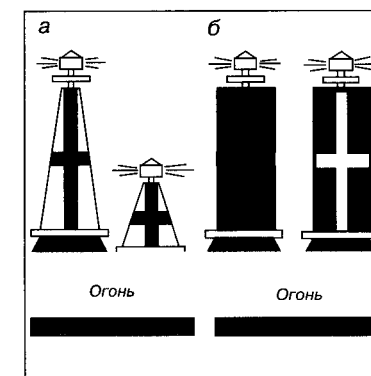


Рис. 11.16. Свальные знаки

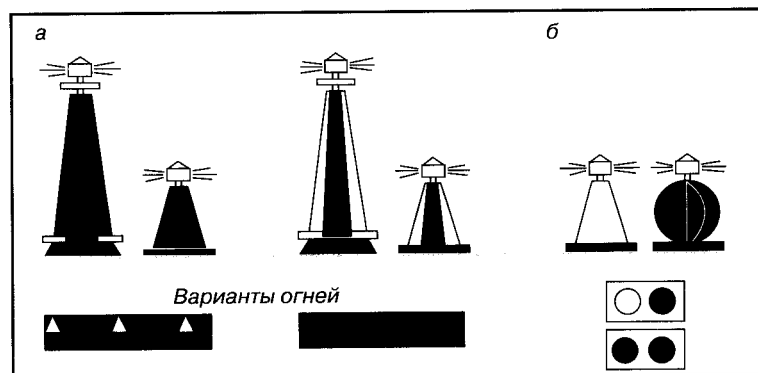


Рис. 11.17. Разделительные знаки

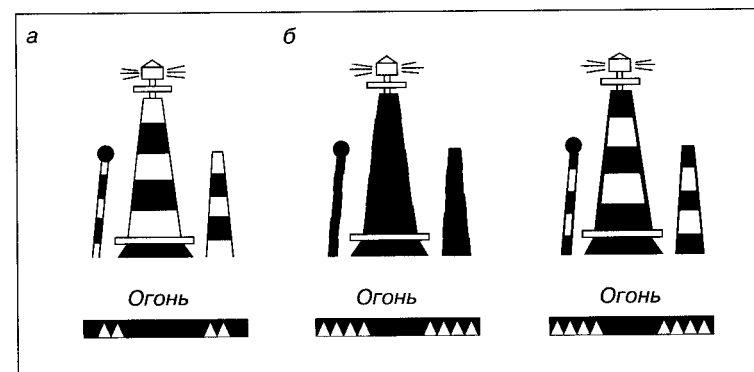


Рис. 11.18. Осевые (а) и поворотно-осевые (б) знаки

$$D_{\Pi} = 2,1(\sqrt{e} + \sqrt{h}). \quad (8.5)$$

Рассчитанная с помощью формулы (8.5) дальность видимости предмета D_{Π} называется *географической дальностью видимости предмета*. Она зависит как от высоты глаза наблюдателя e , так и от высоты предмета h .

Географическую дальность видимости предметов можно определить с помощью табл. 2.3 или по номограмме 2.4 МТ-2000, которые рассчитаны по формуле (8.5).

Оптическая дальность видимости. Формула (8.5) учитывает как кривизну поверхности Земли, так и земную рефракцию, однако, при ее выводе не принимались во внимание такие важные факторы как изменение освещенности в течение суток, сила и цвет огня, прозрачность атмосферы и другие. Дальность видимости, учитывающая весь комплекс условий наблюдения конкретного ориентира в конкретной обстановке, называется оптической дальностью видимости.

Оптическая дальность видимости — это наибольшее расстояние, с которого глазу наблюдателя становится видимым наблюдаемый ориентир. Различают дневную и ночную дальности видимости.

Дневная оптическая дальность видимости — это наибольшее расстояние от маяка, с которого объект, доступный для наблюдения при данных условиях погоды, полностью сливается с фоном и становится невидимым.

Ночная оптическая дальность видимости — это наибольшее расстояние от маяка, с которого освещенность, создаваемая на зрачке глаза наблюдателя маячным огнем, равна пороговой освещенности.

Как уже указывалось, в целом оптическая дальность видимости определяется рядом факторов:

- прозрачностью атмосферы;
- оптическими свойствами (освещенность, яркость, цвет) объекта и фона, на котором он наблюдается;
- формой и размерами объекта наблюдения;
- свойствами зрения наблюдателя.

Прозрачность атмосферы определяется ее способностью поглощать, преломлять и рассеивать свет. Характеризуется это свойство коэффициентом прозрачности атмосферы τ , который показывает, какая часть исходного светового потока прошла через атмосферу. Пределы изменения этого коэффициента $\tau = 0 \div 1$. Среднее значение $\tau = 0,8 \text{ мили}^{-1}$.

При расчетах видимости большое значение имеет соотношение яркости объекта $B_{об}$ и яркости фона $B_{ф}$, на котором он проектируется. Это соотношение называют яркостным контрастом

$$K = \frac{B_{об} - B_{ф}}{B_{об}}. \quad (8.6)$$

Чем больше контраст, тем заметнее объект на этом фоне, тем лучше его видимость. Минимальный яркостный контраст определяется порогом контрастной чувствительности глаза наблюдателя $\varepsilon = 0,05$. Помутнение атмосферы, и ухудшение освещенности снижают контраст, что и обуславливает быстрое уменьшение дальности видимости в сумерки.

Часто прозрачность атмосферы оценивают метеорологической дальностью видимости, под которой понимают расстояние S , на котором абсолютно черное тело с угловыми размерами не менее $0,3^\circ$ на фоне неба у горизонта находится на границе восприятия зрением в дневное время. Зависит метеорологическая дальность видимости как от прозрачности атмосферы, так и от порога контрастной чувствительности глаза ε :

$$S = \ln \varepsilon / \ln \tau.$$

Дальность видимости реального объекта всегда меньше метеорологической дальности видимости и составляет от нее около 60%. За рубежом применяют так называемую номинальную дальность видимости, которая соответствует метеорологической дальности видимости, рассчитанной для $\tau = 0,74$ миля⁻¹.

Кроме яркостного контраста имеет значение и цветовой контраст. Грамотная окраска СНО необходима не только для их надежного опознания, но и для повышения яркостного контраста с фоном. Однако уже на средних дистанциях цвет окраски даже крупных объектов становится неразличимым и влияние цветового контраста не ощущается. Широкое применение для повышения цветового контраста находят флюоресцентные краски, использование которых повышает дневную дальность видимости в несколько раз. Особенно это заметно в пасмурную погоду.

Огни маяков и светящихся знаков зажигают как для обеспечения использования этих ориентиров ночью, так и для увеличения дальности их видимости днем за счет повышения яркостного контраста. Условием видимости огней выступает определенная пороговая

освещенность, которая является одним из свойств человеческого глаза.

Световым порогом чувствительности глаза E_n для белого постоянного огня называют минимальную освещенность на зрачке глаза, при которой в данных условиях наблюдения огонь еще виден. $E_n = 0,002$ мклк.

Заметно влияние и спектрального состава света, или иначе — цвета огней маяков и знаков на дальность их видимости. Это определяется *цветовым порогом чувствительности* человеческого глаза, под которым понимают минимальную освещенность на зрачке глаза, при которой еще различим цвет огня. Цветовые пороги чувствительности резко отличаются:

- для красного огня — 0,5 мклк;
- для зеленого огня — 1,5 мклк;
- для синего огня — 7,0 мклк.

Цветовой порог выше светового, поэтому при приближении к маяку наблюдатель сначала видит любой огонь как белый и только по мере приближения начинает различать его цвет. Сравнение порогов чувствительности показывает, что дальше всего виден белый огонь, хуже — красный, еще хуже — зеленый и, наконец, хуже всего виден синий огонь.

Оптическая дальность видимости огней рассчитывается по номограмме 2.5 МТ-2000, учитывающей все условия наблюдения, или определяется из практических наблюдений опытным путем.

Обычно оптическая дальность видимости маячных огней подбирается так, чтобы она соответствовала географической дальности видимости маяка.

Дальность видимости, показанная на картах и в других навигационных пособиях. На морских навигационных картах и в других пособиях по судовождению указывается дальность видимости маяков, огней и знаков, которая рассчитана для высоты глаза наблюдателя 5 м (рис. 8.22).

Таким образом, дальность видимости, показанная на карте, складывается из дальности видимости горизонта с высоты предмета h и дальности видимости горизонта с высоты глаза наблюдателя 5 м. Сумма этих величин и составит дальность видимости предмета, указанную на карте,

$$D_k = 2,1\sqrt{h} + 2,1\sqrt{5} = 2,1(\sqrt{h} + \sqrt{5}). \quad (8.7)$$

Так как $2,1\sqrt{5} = 4,7$ мили, то $D_k = 2,1\sqrt{h} + 4,7$.

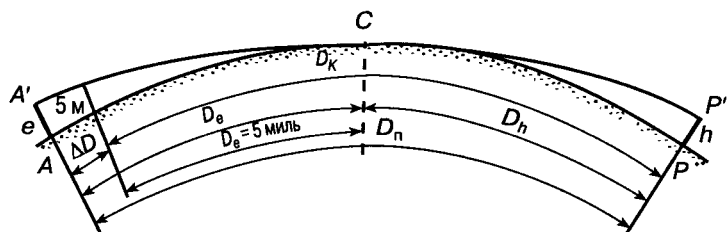


Рис. 8.22. Дальность видимости, показанная на карте

Если высота глаза наблюдателя отличается от 5 м, то к дальности видимости, показанной на карте, нужно прибавить поправку ΔD , т. е. $D_{\Pi} = D_K + \Delta D$, откуда $\Delta D = D_{\Pi} - D_K$.

Подставив значения D_{Π} и D_K , получим

$$\Delta D = 2,1\sqrt{e} - 4,7. \quad (8.8)$$

Анализ формулы (8.8) показывает, что при $e > 5$ м ΔD имеет знак «плюс» (+), а при $e < 5$ м ΔD имеет знак «минус» (—).

В тех случаях, когда географическая и оптическая дальности видимости маяков и светящихся знаков различны, на картах и в других навигационных пособиях указывается та дальность видимости, которая меньше.

Глава 9 МОРСКИЕ КАРТЫ

9.1 Требования к морским картам

Морские карты служат для обеспечения судовождения и решения различных задач, связанных с деятельностью торгового, промыслового и военно-морского флотов.

Морские карты — основной источник информации о навигационно-гидрографической обстановке в районе плавания, поэтому очень часто они становятся основным юридическим документом при судебном разбирательстве аварий или столкновения судов. Ни один международный договор, либо соглашение по вопросам судоходства, рыболовства, установления морских границ и прочее не могут быть подготовлены и подписаны без использования морских карт.

Морской картой называется построенное по определенному математическому закону, уменьшенное и обобщенное изображение на плоскости поверхности океанов и морей Земли, передающее размещение и взаимосвязь различных объектов и явлений природы при помощи условных знаков.

От других изображений карту отличает:

- математический закон построения, который выражается в использовании определенного масштаба, картографической проекции и предусматривает переход от физической поверхности к математической;
- отбор и обобщение отображаемого содержания (генерализация), которые обусловлены назначением карты, ее масштабом и особенностями картографируемой акватории;
- изображение всех объектов и явлений в определенной системе условных знаков.

Существенными свойствами карты являются ее наглядность, измеримость и информативность.

Наглядность — возможность быстрого обзора и восприятия наиболее важных и существенных элементов содержания карты. Ни один вербальный или графический материал не может так быстро, как карта, и с такой исчерпывающей подробностью показать распространение и особенности изображаемого явления. Карты создают зрительную модель картографируемой поверхности, отражают все знания о показанных объектах или явлениях и позволяют найти закономерности в их распределении.

Измеримость — важное свойство карты, обеспечивающее возможность выполнять различные измерения и расчеты с требуемой точностью.

Информативность — способность карты хранить и передавать пользователю разнообразные сведения об объектах и явлениях.

Широкое распространение и использование морских карт порождает определенные довольно жесткие требования к ним. Как и все другие географические карты, они должны:

- обладать геометрической точностью, соответствующей назначению карты;
- быть полными, достоверными и современными по содержанию;
- иметь наглядное и хорошо читаемое изображение, прежде всего, объектов, имеющих навигационное значение;
- составляться в картографических проекциях, удобных для графического решения задач судовождения и других расчетов;

- отражать действительность с необходимой подробностью;
- печататься на бумаге, имеющей незначительную деформацию в условиях хранения на судне и допускающей многократное использование карандаша и ластика;
- иметь формат, удобный для использования в условиях судна.

Однако к морской навигационной карте предъявляются и специфические требования, с тем чтобы она в наибольшей степени соответствовала процессу решения навигационных задач.

При выборе морских навигационных карт мореплаватели издавна особое внимание обращали на то, чтобы локсодромия — линия пути судна, следующего неизменным курсом — изображалась на карте прямой линией. Отсюда первое основное требование к картографической проекции для морской навигационной карты: локсодромия должна изображаться на карте прямой линией. Для этого меридианы карты должны изображаться параллельными прямыми, а параллели — прямыми, перпендикулярными меридианам. Действительно, если линия курса — прямая, пересекающая все меридианы под одним и тем же углом, то меридианы могут быть только прямыми линиями, параллельными друг другу.

Процесс судовождения неразрывно связан с измерением на земной поверхности различных углов и направлений, которые затем прокладываются на карте. Это выполняется наиболее просто, если углы, измеренные на местности, равны соответствующим углам на карте. Отсюда второе основное требование к картографической проекции для морской навигационной карты: проекция должна быть равноугольной. Выполнение этого требования в наибольшей степени способствует опознанию обстановки на местности и на карте и обуславливает прямоугольность картографической сетки. Действительно, меридианы и параллели пересекаются на земной поверхности под углом 90° , следовательно, при равноугольности проекции под таким же углом они пересекаются и на карте.

Иными словами к морской навигационной карте предъявляются специфические требования *равноугольности* и *локсодромичности*. Эти требования были сформулированы мореплавателями уже к началу эпохи Великих географических открытий. Однако, только в 1569 г. фламандский картограф Герард Кремер (латинский псевдоним — Меркатор) предложил проекцию, которая удовлетворяла всем перечисленным требованиям. Проекция получила признание во всех странах, и ее назвали меркаторской. С тех пор и до

настоящего времени она является основной картографической проекцией морских навигационных карт, предназначенных для решения широкого круга задач судовождения. Многочисленные попытки ученых и мореплавателей предложить другую более удобную проекцию, успехом пока не увенчались.

9.2 Общая характеристика морских изданий

Морские карты, руководства и пособия, издаваемые в России Главным управлением навигации и океанографии Министерства обороны РФ (ГУНиО МО), являются официальными государственными документами, содержащими сведения о навигационно-гидрографических, геофизических, топографических и гидрометеорологических элементах обстановки в районах океанов и морей, а также прилегающих к ним побережий. В совокупности, эти документы предназначены для обеспечения деятельности военно-морского, торгового и промыслового флотов, судов других министерств и ведомств, а также для решения иных задач, связанных с использованием Мирового океана в военных, экономических и научных целях.

Кроме морских карт, руководств и пособий, ГУНиО издает также карты и руководства на внутренние водные пути (судоходные озера и некоторые реки или их участки).

Морские карты, руководства и пособия совместно с картами и руководствами на внутренние водные пути составляют единую систему изданий ГУНиО, сокращенно именуемую *Системой морских карт, руководств и пособий*.

Источниками информации, помещаемой на картах, в руководствах и пособиях, являются:

- материалы гидрографических, геофизических и океанографических работ и топографических съемок;
- отечественные и иностранные морские и топографические карты, руководства и пособия для плавания;
- отечественные и иностранные извещения мореплавателям;
- банк цифровых данных картографической информации;
- документы министерств РФ, определяющие режим плавания;
- законы, постановления, инструкции, положения, правила и другие официальные документы, регламентирующие взаимоотношения государств на океанах, морях и внутренних водных путях.

Кроме того, при составлении карт, руководств и пособий используются навигационные донесения мореплавателей, различные справочники и научные труды в области судовождения, геофизики и океанографии.

Сведения, помещаемые в руководствах и пособиях, дополняют элементы содержания карт.

Карты, руководства и пособия на весь Мировой океан и внутренние водные пути, издаваемые ГУНиО, непрерывно поддерживаются на уровне современности.

Информация об изменениях навигационной обстановки в соответствии с Положением о навигационной информации объявляется в извещениях мореплавателям (ИМ) и в передаваемых по радио навигационных предупреждениях по районам Мирового океана (НАВАРЕА, НАВИП) и прибрежных предупреждениях (ПРИП).

Сведения, соответствующие действительной обстановке на определенной дате, содержат только те морские карты, руководства и пособия, которые откорректированы по данным последних ИМ и навигационных предупреждений.

Документом, определяющим номенклатуру карт, руководств и пособий, имеющих на снабжении, является каталог карт и книг, откорректированный по последним извещениям мореплавателям.

9.3 Содержание морской навигационной карты

Общие сведения. Содержанием карты называется совокупность всех наносимых на карту элементов. Оно включает в себя:

- математическую основу карты;
- общегеографическую нагрузку;
- специальную нагрузку;
- элементы оформления.

Математическую основу карт составляют картографическая проекция, масштаб, принятая система координат опорных пунктов (геодезическая основа), нуль глубин и высот (высотная основа), а также компоновка карты, включающая ее формат, нарезку, внутренние рамки и их разбивку.

Проекция морских карт. Для составления морских карт наиболее часто применяются следующие картографические проекции:

а) цилиндрические:

- нормальная (прямая) равноугольная цилиндрическая проекция Меркатора (нормальная проекция Меркатора);
- поперечная равноугольная цилиндрическая проекция Меркатора (поперечная проекция Меркатора);
- поперечная равноугольная цилиндрическая проекция Гаусса;

б) конические:

- нормальная равноугольная коническая проекция;
- равнопромежуточная коническая проекция (нормальная и косая);

в) азимутальные:

- гномоническая проекция (нормальная, косая и поперечная);
- стереографическая проекция (нормальная, косая и поперечная);
- равнопромежуточная азимутальная проекция Постеля (нормальная, косая и поперечная);
- равновеликая азимутальная проекция Ламберта (нормальная, косая и поперечная).

Для решения отдельных задач навигации могут применяться карты, составленные и в других картографических проекциях.

Геодезическая и высотная основа. Геодезической основой морских карт является опорная сеть геодезических пунктов, координаты которых приведены в установленную для данного района земной поверхности систему координат, а высоты приведены к принятому уровню.

В зависимости от типа, масштаба и покрываемого района морские карты создаются либо в Единой государственной системе координат 1942 г., либо в системах координат, принятых на исходных картографических материалах.

Морские карты в масштабах мельче 1:500000 издаются на открытые воды Мирового океана в Системе координат 1942 г.

Морские карты в масштабах 1:500000 и крупнее издаются:

а) на воды России, иностранные воды Балтийского, Черного и Каспийского морей, воды КНДР и Ляодунского полуострова (КНР), а также на открытые воды Мирового океана — в Системе координат 1942 г.;

б) на прибрежные иностранные воды (кроме иностранных вод, указанных в п. "а"):

- навигационные морские карты — в системах координат, принятых на исходных картографических материалах;
- специальные карты для ВМФ, морские вспомогательные и справочные карты — в Системе координат 1942 г.

На картах в масштабах 1:500 000 и крупнее указывается название системы координат карты, и приводятся поправки для перехода от Всемирной геодезической системы координат (WGS) к системе координат карты.

На картах вод России абсолютные высоты указываются от нуля Кронштадтского футштока (в Балтийской системе высот), а при отсутствии связи геодезической основы с нулем Кронштадтского футштока — в местной системе высот.

На картах, издаваемых на иностранные воды, сохраняется система высот, принятая на исходных картографических материалах.

За нуль глубин на морских картах принимаются:

а) для морей без приливов или со средней величиной прилива менее 50 см, а также для озер — средний многолетний уровень моря (озера);

б) для морей со средней величиной прилива равной или большей 50 см — наименьший теоретический уровень;

в) для трассы Северного морского пути — уровень, установленный Гидрографическим предприятием Департамента морского транспорта Минтранса РФ в 1965 г.;

г) для Каспийского моря — средний уровень за 1940 — 1955 гг.;

д) для карт на иностранные воды — уровни, принятые на исходных картографических материалах.

Масштабы морских карт. Морские карты в зависимости от их назначения, навигационно-гидрографических особенностей и изученности района, а также имеющихся картографических материалов издаются в стандартных масштабах 1:500—1:100 000 000 в зависимости от предназначения.

Компоновка морских карт. Морские карты издаются отдельными стандартными листами следующего формата:

- на целом листе — 780 × 1015 мм;
- на половине листа — 500 × 780 мм;
- на четверти листа — 380 × 500 мм.

Предельные размеры внутренних рамок карт на стандартных листах не должны превышать:

- для карт на целом листе — 690 × 940 мм;
- для карт на половине листа — 430 × 690 мм;
- для карт на четверти листа — 310 × 430 мм.

В необходимых случаях карты могут издаваться на двух и более целых стандартных листах (многолистные карты).

Каждой морской карте присваивается адмиралтейский номер, состоящий из цифр или цифр с добавлением букв русского алфавита. Номера карт однозначно указывают районы океанов и морей, покрываемые картами тех или иных типов, а также нарезку и масштаб морских карт, которым они присвоены.

Математическая основа создает скелет карты — картографическую сетку в избранном масштабе и нарезку. Далее эта сетка заполняется элементами общегеографического и специального назначения.

Нагрузка морских карт. К *общегеографическим элементам* нагрузки относятся:

- береговая линия с обозначением характера берега (песчаный, скалистый, обрывистый);
- рельеф и гидрография суши;
- элементы гидрографической сети;
- населенные пункты с элементами инфраструктуры и связывающая их дорожная сеть с дорожными сооружениями;
- почвенно-растительный покров;
- государственные границы.

Специальные элементы нагрузки морских карт включают в себя:

- гидротехнические сооружения, портовые объекты и сооружения на море; рельеф морского дна (глубины, подводные опасности);
- навигационные опасности;
- поверхностные грунты морского дна;
- средства навигационного оборудования;
- навигационные ориентиры;
- прочие навигационные элементы содержания морских карт (предупреждения о навигационных опасностях, сведения о приливах, течениях, различные водные районы, фарватеры, морские каналы, рекомендованные пути, рисунки средств навигационного оборудования и берегов);
- магнитное склонение, горизонтальная составляющая напряженности магнитного поля, магнитные аномалии, аномалии силы тяжести и уклонения отвесной линии;
- морские границы государств и данные о границах территориальных вод;
- элементы специальной нагрузки (главным образом на справочных и вспомогательных картах);
- стадиометрические, гиперболические, азимутальные сетки и другие изолинии;
- шкала километрового меридианного масштаба;

- данные о нуле глубин;
- морские каналы, фарватеры, мерные линии, системы разделения движения;
- виды берегов и отдельных СНО;
- сетки изолиний для определения места судна с помощью различных РНС.

При составлении карт уделяется особое внимание специализации их содержания: преимущественному отбору элементов навигационного значения, особенно таких, которые в большей степени опасны для судов (банки, рифы), и схематичности в изображении элементов нагрузки, имеющих второстепенное значение для мореплавания (гидрография суши, дорожная сеть).

Элементы оформления карты. Это понятие включает внешнюю рамку карты, надписи и элементы дополнительной характеристики. Надписи на картах являются необходимым текстовым дополнением их содержания. Сюда относятся заголовок карты, различные пояснения, предупреждения и примечания, географические названия и многое другое.

Заголовок (титул) карты содержит название района с указанием бассейна, к которому он относится; сведения о масштабе карты, о мерах, в которых даны высоты и глубины, информацию о магнитном склонении и ряд других сведений, имеющих отношение ко всей карте.

К **зарамочным надписям** относятся адмиралтейский номер карты, информация о составлении, издании, корректуре карты, ее размерах и стыковке с другими листами.

Пояснительные слова указывают детали объектов, поясняют мелкие условные знаки, а также объекты, не поддающиеся изображению условными знаками. Иногда эти слова играют роль условных знаков.

Элементы дополнительной характеристики: врезки (небольшие карты или планы, расположенные на свободных местах карты), виды берегов, изображения СНО, таблицы течений и приливов.

Элементы содержания изображаются на картах с помощью условных знаков, которые делятся на три основные группы: контурные (масштабные), немасштабные и пояснительные.

Контурные условные знаки применяются для изображения объектов местности, которые по размерам занимаемой ими площади могут быть показаны в масштабе карты: острова, озера, леса, болота. Состоят такие знаки из внешнего очертания (контура) и заполняющих контур условных знаков.

Внемасштабные условные знаки используются для изображения объектов, не выражающихся в масштабе карты: маяки, буи, вежи, радиомачты. Один и тот же объект может быть показан контурным или внемасштабным условным знаком в зависимости от масштаба карты. Местоположению объектов, выраженных внемасштабными знаками, соответствуют следующие точки условных знаков:

- у знаков правильной геометрической формы — геометрический центр знака;
- у знаков с одной осью симметрии, несимметричных, а также у знаков с широким основанием — середина основания;
- у знаков с прямым углом в основании — вершина прямого угла;
- у знаков, составленных из нескольких фигур — геометрический центр нижней фигуры.

Местом отметки глубины является пересечение диагоналей воображаемого прямоугольника, в который можно заключить число целых метров данной глубины.

Пояснительные условные знаки служат для обозначения характеристик различных объектов и применяются в сочетании с другими условными знаками (например, дальность видимости СНО, характер их действия).

Оформление морских карт (условные знаки, надписи, рамки и т.п.) выполняется в соответствии с руководством “Условные знаки и сокращения для составления и оформления морских карт и карт внутренних водных путей” и приложением к нему, изданных ГУНиО.

9.4 Классификация морских карт

Общие сведения. Морские карты, издаваемые ГУНиО для обеспечения деятельности торгового и промыслового флотов, по своему назначению подразделяются на две основные группы:

- навигационные морские карты;
- морские вспомогательные и справочные карты.

В свою очередь, навигационные карты подразделяются на следующие подгруппы:

- общенавигационные (генеральные, путевые, частные, планы);
- радионавигационные (гиперболические, стадиометрические, азимутальные);
- навигационно-промысловые (обзорные, справочные, собственно навигационно-промысловые);

- внутренних водных путей (судоходных озер, устьевых и предустьевых участков рек, речные).

К справочным относятся следующие виды карт:

- обзорные, радиомаяков и радиостанций, РНС, гидрометеозлементов, элементов земного магнетизма, батиметрические, грунтов, часовых поясов, рекомендованных путей, бланковые, шлюпочные, для прокладки ДБК, а также карты-сетки и сборные листы.

Навигационные морские карты. Предназначены для обеспечения решения задач судоходства. Использование навигационных морских карт в целях обеспечения навигационной безопасности судоходства является обязательным.

Всегда следует использовать карту наиболее крупного масштаба из имеющихся на данный район согласно каталогу карт и книг.

Навигационные морские карты на районы, расположенные в пределах широт от 0° до 85°, составляются в нормальной проекции Меркатора. Для обеспечения отдельных специальных задач допускается составление карт в нормальной проекции Меркатора на полярные районы севернее параллели 85°.

Навигационные морские карты издаются в стандартных масштабах от 1:500 до 1:5 000 000 включительно. Указанный на карте масштаб относится к ее главной параллели. Для карт масштабов крупнее 1:100 000 за главную параллель принимается средняя параллель карты. Для карт в масштабах 1:100 000 и мельче установлены стандартные главные параллели.

Нарезка навигационных морских карт выполняется исходя из необходимости обеспечения картами определенных географических районов с учетом установленных форматов и масштабов карт. Кроме того, учитывается следующее:

- а) в пределы нарезки включаются различного рода объекты, имеющие важное значение для плавания в данном районе;
- б) соседние листы одномасштабных карт взаимно перекрываются для обеспечения удобного перехода с карты на карту при ведении навигационной прокладки (величина перекрытия составляет не более 1/4 площади листа карты и не менее 3 см).

Общенавигационные карты. Предназначены для графического решения задач навигации, а также для изучения, анализа и выборки данных о навигационно-гидрографической обстановке, необходимых для обеспечения общего мореплавания во всех водах Мирового океана.

Общенавигационные карты по масштабам и назначению подразделяются на следующие группы:

- генеральные карты (масштаба с 1:5 000 000 по 1:1 000 000 включительно);
- путевые карты (крупнее 1:1 000 000 и до 1:100 000 включительно);
- частные карты (крупнее 1:100 000 и мельче 1:25 000);
- морские планы (1:25 000 и крупнее).

Картами масштабов 1:2 000 000 и 1:5 000 000 покрывается весь Мировой океан.

Генеральные карты предназначены для общего изучения районов плавания, выбора маршрута и предварительной прокладки рейса, для навигационной прокладки при плавании в районах открытого моря, а также для обеспечения мореплавателей обобщенной навигационно-гидрографической информацией.

Картами масштаба 1:1 000 000 покрываются районы Мирового океана, для которых карты масштаба 1:2 000 000 почему-либо неудобны или мелки.

Путевые карты масштаба 1:500 000 предназначены для обеспечения мореплавания в прибрежных районах Мирового океана.

Картами масштаба 1:500 000 покрываются районы континентального шельфа, материкового склона, срединно-океанических хребтов, подводных гор, океанических островов и других географических объектов.

Путевые карты масштаба 1:200 000 предназначены для обеспечения мореплавания в прибрежных районах Мирового океана и издаются на все прибрежные воды.

Путевые карты масштаба 1:100 000 предназначены для плавания в прибрежных районах со сложными навигационными условиями, на подходах к портам и устьям рек; они издаются на соответствующие районы прибрежных вод.

Частные карты предназначены для обеспечения плавания в прибрежных водах с весьма сложными навигационными условиями. Частные карты издаются на отдельные районы прибрежных вод: узкости, входы в бухты, устья рек, фьорды, порты и т. п.

Морские планы предназначены для обеспечения входа судов в порты, гавани, бухты, на рейды, якорные места и т. п., передвижения в пределах этих акваторий, прохода узкостей, обеспечения якорной стоянки, производства погрузочно-разгрузочных, дноуглубительных и гидротехнических работ.

Морские планы издаются на акватории портов, гаваней, бухт, узкостей, якорных мест, устьев рек, на фарватеры, морские каналы и т. п.

Рельеф морского дна на общенавигационных картах изображается изобатами в сочетании с отметками глубин. Изобаты являются основным средством сплошного (непрерывного) отображения рельефа и глубин морского дна (глубина в любой точке может быть оценена интерполированием значений соседних изобат). Сечение рельефа морского дна и частота нанесения на карту отметок глубин устанавливаются в зависимости от диапазона глубин, характера рельефа дна и масштаба карты с обязательным нанесением наименьших и наибольших отметок глубин. На картах, недостаточно обеспеченных материалами съемки рельефа дна, делается примечание об ориентировочном положении изобат или они не проводятся. Изобаты 20 м и 30 м показываются во всех случаях, когда они имеются в пределах карты. Для изображения на крупномасштабных картах микрорельефа дна (ямы с крутыми склонами, обрывы, зоны распространения подводных валов и т. п.) применяются соответствующие условные знаки.

Изобата, указывающая границу безопасности плавания, и находящиеся за ее пределами банки, подводные камни, затонувшие суда и другие подводные препятствия с глубинами, меньшими или равными ей, выделяются голубой полосой или заливкой.

Навигационные опасности (банки, повышения дна, опасные для плавания судов, мели, рифы, скалы, камни, затонувшие суда, сваи и другие препятствия) показываются на всех путевых, частных картах и морских планах полностью, в диапазоне всех глубин, с обобщением, определяемым масштабом карты. При обобщении изображения навигационных опасностей всегда показывается внешняя граница их распространения. Эти же требования распространяются на генеральные карты, за исключением зоны от береговой линии до первой изобаты, в которой навигационные опасности не наносятся.

Сведения о грунтах морского дна на общенавигационных картах до глубины 100 м изображаются с подробностью, необходимой для оценки условий якорной стоянки, а на больших глубинах с подробностью, необходимой для выявления общей характеристики грунтов.

На картах районов, для которых характерны приливные явления, показывается осушка и ее характер, высоты осыхающих объектов; на путевых, частных картах и морских планах приводятся таблицы элементов прилива. На генеральных картах наносятся векторы преобладающих или постоянных течений.

На картах показываются также водовороты, буруны, сулои, участки с водорослями (на генеральных картах только за пределами их перекрытия путевыми картами).

Сведения о береговых и плавучих средствах навигационного оборудования, границы водных районов (районов боевой подготовки ВМФ, опасных, режимных или запретных для плавания районов, районов якорных стоянок, районов свалки грунта и затопленных взрывчатых веществ, районов, запретных для лова рыбы, и т.п.), линии створов, рекомендованные пути и фарватеры, системы разделения движения судов, морские каналы, мерные линии, подводные кабели, трубопроводы и другие данные на общенавигационных картах показываются с подробностью, соответствующей назначению и масштабу карты.

Сухопутная нагрузка на общенавигационных картах дается в объеме, необходимом для обеспечения мореплавания и общегеографической характеристики побережья. На генеральных картах элементы суши изображаются в полосе 5–6 см. На путевых и частных картах показывается полоса суши, рельеф которой наблюдается с моря и отображается на экранах корабельных радиолокационных станций, а при равнинном характере рельефа — полоса суши шириной 10–14 см. За пределами этой полосы показываются отдельные объекты, наблюдаемые с моря визуально или с помощью радиолокационных станций. На морских планах изображение суши наносится в пределах их нарезки.

На общенавигационных картах в пределах изображаемой полосы суши показываются:

- береговая линия и характер берега;
- рельеф суши;
- населенные пункты с элементами инфраструктуры;
- гидротехнические сооружения;
- дороги и дорожные сооружения (железные дороги, шоссейные, улучшенные грунтовые и грунтовые дороги);
- элементы гидрографической сети;
- растительный покров (только на частных картах и морских планах в объеме, способствующем опознаванию побережья).

Кроме того, на картах выделяются фиолетовой окружностью береговые приметные пункты, которые могут служить навигационными ориентирами (приметные с моря вершины гор, характерные скалы, обрывы, осыпи, устья рек и т. п., а также отдельно стоящие здания, деревья, заводские трубы, церкви и другие объекты).

Рельеф суши изображается горизонталями и высотными отметками, а также соответствующими условными знаками.

Береговая линия, характер берега и приметные пункты в зависимости от масштаба карты показываются с подробностью, необ-

ходимой для опознавания того или иного участка берега и ориентирования по нему, а также для обеспечения возможности выбора пунктов подхода к берегу и высадки на него. Для показа остальных элементов сухопутной нагрузки за основу принимается их подробность на одномасштабных топографических картах.

На общенавигационных картах приводятся данные о магнитном склонении и магнитных аномалиях. При этом указывается величина склонения, приведенная к определенному году, и ее годовое изменение. На карты полярного бассейна масштабов 1:500 000 и мельче наносятся изодинамы горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля Земли, равные 2, 3 и 5 мкТл, и изогоны через 2–5°.

На общенавигационных картах показываются государственные границы, демаркационные линии, границы территориальных вод и специальных зон.

В разрыве западной стороны внешней рамки карты наносится шкала километрового меридианного масштаба. На свободных местах карт при необходимости помещаются врезки морских планов якорных мест, бухт и гаваней, а также важные предупреждения о навигационных опасностях и местных правилах, изображения видов берегов, средств навигационного оборудования и приметных с моря пунктов.

Радионавигационные карты и радионавигационные планшеты. Радионавигационные карты предназначены для решения тех же задач, что и общенавигационные карты, а кроме того обеспечивают графическое отыскание места судна по измеренным навигационным параметрам радионавигационных систем (РНС).

Радионавигационные карты представляют собой общенавигационные карты с дополнительной нагрузкой в виде сетки изолиний навигационных параметров радионавигационных систем, а также надписей и легенд, относящихся к изолиниям этих параметров. Часто здесь же приводятся поправки за условия распространения радиоволн. Изолинии проводятся на морской части карты через 1–3 см.

Масштаб радионавигационной карты выбирается исходя из навигационно-гидрографических особенностей района и точности РНС с таким расчетом, чтобы при прокладке линий положения обеспечивалась реализация точности измерений радионавигационного параметра.

Радионавигационные планшеты издаются только для графического определения места судна по измеренным радионавигационным параметрам и должны использоваться в навигационных целях

только совместно с навигационными морскими картами. Они могут издаваться как в нарезке навигационных карт, так и в самостоятельной нарезке.

На радионавигационные планшеты наносится рамка, картографическая сетка, сетка изолиний радионавигационных параметров, береговая линия, наиболее важные географические названия и заголовков. Рамки радионавигационных планшетов мелких масштабов на градусы и минуты не разбиваются. Эта разбивка производится по всем меридианам и параллелям, проведенным на планшетах.

На радионавигационные планшеты масштабов 1:100 000–1:25 000 по заявке может наноситься километровая сетка. Разбивка сетки на километровые деления и их оцифровка производятся только по одной средней линии абсцисс и на одной средней линии ординат.

Навигационно-промысловые карты. Предназначены для обеспечения безопасности промыслового плавания судов в открытом море и вблизи берегов, а также эффективного ведения промысла. Они представляют собой общенавигационные морские карты, на которые нанесены элементы дополнительной промысловой нагрузки, в том числе промысловые характеристики районов, сетки квадратов, сетки изолиний для определения места по РНС, выделены участки, непригодные для лова. Навигационно-промысловые карты издаются по заявкам Госкомрыболовства РФ, как правило, в нарезке общенавигационных карт масштабов 1:200 000–1:1 000 000. Выбор масштаба каждой конкретной карты (или серии карт) определяется географическими условиями района промысла.

По назначению и содержанию различают обзорные, справочные и собственно навигационно-промысловые карты.

Обзорные карты служат для изучения условий промысла, предварительной прокладки поиска промысловых концентраций объектов добычи, планирования расстановки орудий лова и решения ряда других задач, связанных с предстоящим промыслом.

Справочные карты представляют собой вспомогательные карты границ районов и квадратов, а также гидробиологических элементов, характеризующих размещение того или иного объекта добычи.

Собственно навигационно-промысловые карты служат для выбора мест тралений и других видов лова, ведения счисления координат промыслового судна и определения его места, а также решения других навигационных задач.

На навигационно-промысловые карты, кроме элементов содержания, показываемых на общенавигационных картах, наносится информация, необходимая для данного вида и района промысла.

Морские вспомогательные и справочные карты. К морским вспомогательным и справочным относятся карты:

- справочно-информационные;
- гидрометеорологические;
- радиомаяков и радиостанций;
- элементов земного магнетизма;
- радионавигационных систем;
- рекомендованных путей;
- бланковые;
- карты-сетки;
- для прокладки ортодромий;
- для спасательных средств;
- с наглядным изображением рельефа морского дна;
- батиметрические;
- грунтов;
- подводных кабелей;
- часовых поясов;
- памятных мест побед и героической гибели кораблей отечественного флота;
- для яхт и прогулочных катеров.

В дополнение к указанным типам карт могут создаваться по мере необходимости карты и карты-схемы, содержащие и другие справочные сведения.

Проекция, масштаб, нарезка и содержание каждого типа вспомогательных и справочных карт определяются в зависимости от их назначения.

Справочно-информационные карты составляются на районы интенсивного судоходства; их назначение — помочь судоводителю в подборе и изучении систематизированной информации, необходимой при подготовке и осуществлении плавания с учетом принятой организации движения судов.

Для составления справочно-информационных карт используются навигационные морские карты, изданные в нормальной проекции Меркатора, лоции, описания огней и знаков, радиотехнических средств навигационного оборудования, расписания навигационных и гидрометеорологических передач, различные региональные правила, обязательные постановления по портам и другие государственные и ведомственные нормативные документы, регламентирующие плавание в картографируемом районе. Масштаб и нарезка картографического материала должны позволять размещение всей необходимой информации.

Справочно-информационные карты содержат сведения, характеризующие условия плавания и, как правило, включающие в себя:

- общие сведения о районе;
- краткую информацию о влиянии гидрометеорологических условий на безопасность плавания;
- сведения о режиме плавания и организации движения судов и связи с ними;
- специальные правила и рекомендации, регламентирующие плавание, в том числе в узкостях и портовых водах;
- ограничения, установленные для плавания и пребывания судов в портах;
- методические указания для планирования плавания в районе;
- сведения о лоцманской службе;
- меры по предотвращению загрязнения окружающей среды;
- сведения о средствах навигационного оборудования, в том числе о радиомаяках и радиолокационных маяках-ответчиках;
- предупреждения, направленные на повышение навигационной безопасности плавания;
- наставления (рекомендации) для входа в порты, рейды или проливы.

Указанные сведения представляются в виде тематических текстовых блоков и таблиц, логически распределенных на картографической основе и при необходимости дополненных отдельными схемами.

Текстовые блоки могут размещаться компактно в последовательном порядке. В этом случае на справочно-информационной карте помещаются карты-схемы для планирования плавания.

При сравнительно небольшом объеме текстовой части, позволяющем разместить ее на свободных местах навигационной карты, справочно-информационная карта отдельно не создается. Текстовая часть в этом случае наносится на навигационную карту, которая сохраняет название (заголовок) и номер, но выпускается как новое издание.

Карты гидрометеорологических элементов представляют собой бланковые карты с сеткой меридианов и параллелей и контуром береговой черты, на которых условными знаками показаны по сезонам или месяцам характеристики различных гидрометеорологических элементов, например, таких как ветры, течения, волнение, льды, приливы. На таких картах часто показывают традиционные и сезонные судоходные пути.

Карты радиомаяков и радиостанций показывают точное расположение радиомаяков и радиостанций, обслуживающих мореплавание, с указанием их основных характеристик и опознавательных сигналов.

Карты элементов земного магнетизма содержат сведения об отдельных элементах земного магнитного поля (склонении, наклонении, вертикальной и горизонтальной составляющих напряженности), необходимые для решения навигационных и специальных задач. Эти карты составляют обычно в меркаторской проекции. На них наносят контуры береговой черты и места магнитных обсерваторий, а склонение, наклонение и напряженность магнитного поля показывают изогонами, изоклинами и изодинамами разного цвета.

Карты радионавигационных систем представляют собой бланковые мелкомасштабные карты отдельных морей, океанов или их частей, на которых показано место береговых станций радионавигационных систем, зоны действия этих систем и линии равных точек определения места с их помощью.

Карты рекомендованных путей представляют собой мелкомасштабные карты с нанесенными на них портами и связывающими их океанскими и морскими путями.

Бланковые морские карты представляют собой картографическую основу для составления различных схем и графических документов. На них, как правило, показывают общие очертания береговой линии, острова, крупные судоходные реки, каналы, водохранилища, озера, магистральные железные дороги, крупные населенные пункты, порты. Рельеф суши и морского дна не показывают вообще. На некоторые бланковые карты наносят дополнительную нагрузку.

Бланковые карты издаются в масштабах 1:10 000—1:100 000 000.

Карты-сетки предназначены для графического счисления пути судна при плавании в открытых районах океанов.

Карты-сетки издаются по широтным поясам в прямой проекции Меркатора в масштабах 1:200 000, 1:250 000, 1:500 000 и 1:750 000. На карты-сетки наносится сетка меридианов и параллелей, при этом оцифровываются только параллели. Меридианы оцифровываются пользователем по необходимости.

Карты для прокладки ортодромий предназначены для общей ориентировки при выборе кратчайшего и безопасного в навигационном отношении пути кораблей и судов. Издаются на отдельные океаны или их части в мелких масштабах в гномонической проекции (нормальной, косой или поперечной).

Карты для спасательных средств предназначены для обеспечения действий спасательных кораблей, судов, катеров, шлюпок в случае аварии или гибели судна. К картам этого типа относятся:

- карта мира с ориентирными точками для наведения судов при оказании помощи в море;
- шлюпочные карты.

Карта мира с ориентирными точками для наведения судов при оказании помощи в море используется штабами, координирующими действия сил и средств в ходе спасательной операции, а также спасательными судами и кораблями, осуществляющими поиск и оказание помощи аварийным судам.

Для составления карты используется бланковая морская карта в прямой проекции Меркатора масштаба 1:50 000 000. На карту с шагом 5° по широте и долготе наносятся кружки с номерами районов поиска. Четырехзначные порядковые номера для Атлантического и Северного Ледовитого океанов начинаются с единицы, для Индийского океана — с двойки, для Тихого океана — с тройки, для Северного моря — с четверки, для Средиземного моря — с пятерки.

Шлюпочные карты предназначены для использования на спасательных катерах, шлюпках и плотках в случае гибели судна. Они издаются в масштабах 1:10 000 000 и мельче в проекциях, принятых для навигационных морских карт, и охватывают большие районы (например, северную часть Тихого океана).

Основным содержанием шлюпочных карт являются обобщенные сведения о навигационных и гидрометеорологических элементах (постоянные и сезонные течения, осредненные границы распределения преобладающих ветров, туманов, зон штилей и слабых ветров, границы распространения льдов и айсбергов, важнейшие океанские пути мира и т. д.). На обратной стороне карт помещаются правила пользования картой и условные знаки, необходимые сведения по морской практике, основные данные о навигационном и метеорологическом режиме. Здесь же имеются рекомендации по выживанию на море в экстремальных условиях. Комплект шлюпочных карт запаян в полиэтиленовый пакет вместе с упрощенным прокладочным инструментом и карандашами и входит в состав обязательного снабжения спасательных средств.

Карты с наглядным изображением рельефа морского дна предназначены для использования в качестве вспомогательного материала при общем изучении и оценке районов океанов и морей. К картам этого типа относятся физиографические карты и карты со светотеневым изображением изобат.

Эти карты издаются в проекциях, принятых для навигационных морских карт, а также в стереографической проекции. Масштабы карт устанавливаются в зависимости от размеров района.

Рельеф дна на физиографических картах изображается штриховым рисунком, на картах со светотеневым изображением изобат — изобатами со световым оформлением, создающим объемный эффект, и отметками глубин.

Батиметрические карты — морские карты, главным содержанием которых является изображение подводного рельефа посредством изобат или изобат в сочетании с послойной раскраской как морской, так и сухопутной частей карт.

Батиметрические карты создаются как международные карты по региональным картографическим проектам на основе сотрудничества гидрографических служб под общим методическим руководством Консультативной группы Межправительственной океанографической комиссии по океаническому картографированию.

Карты подводных кабелей предназначены для изображения проложенных по морскому дну трасс телеграфных, телефонных и силовых кабелей. Карты издаются в мелких масштабах в проекциях, принятых для навигационных морских карт.

Карты часовых поясов содержат данные о границах часовых поясов. За географическую основу этих карт принимаются мелко-масштабные бланковые морские карты.

На *картах памятных мест побед и героической гибели кораблей* показываются районы памятных событий в истории русского и советского флотов. В таблицах приводятся сведения о местах отдачи почестей и о событиях, в ознаменовании которых отдаются почести.

Карты для яхт и прогулочных катеров предназначены для обеспечения туристических походов в прибрежных водах морей и по внутренним водным путям Российской Федерации.

9.5 Система адмиралтейских номеров морских карт

В целях систематизации изданий Главного управления навигации и океанографии Министерства обороны нашей страны, упрощения подбора навигационных пособий и облегчения переписки по ним с 1 января 1968 г. введена система пятизначных адмиралтейских номеров для отечественных морских карт.

Адмиралтейский номер морской навигационной карты или карты внутреннего водного пути несет следующую информацию.

Первая цифра номера карты обозначает океан или его часть с входящими в него морями, впадающими в них реками и тяготеющими к этим океанам озерами. Для разных частей Мирового океана она имеет следующие значения:

- 1 — Северный Ледовитый океан;
- 2 — Атлантический океан, северная часть;
- 3 — Атлантический океан, южная часть;
- 4 — Индийский океан;
- 5 — Тихий океан, южная часть;
- 6 — Тихий океан, северная часть.

Вторая цифра номера карты обозначает масштаб (вид) карты:

- 0 — масштабы 1: 5 000 000 — 1:1 000 000 (генеральные карты);
- 1 — масштабы крупнее 1:1 000 000 и по 1:500 000 включительно (путевые карты);
- 2 — масштабы крупнее 1: 500 000 и по 1:200 000 включительно (путевые карты);
- 3 и 4 — масштабы крупнее 1:200 000 и по 1:100 000 включительно (путевые карты);
- 5 и 6 — масштабы крупнее 1:100 000 и мельче 1:25 000 (частные карты);

7 — резерв;

8 и 9 — масштабы крупнее 1: 25 000 (морские планы).

Третья цифра номера для карт масштабов крупнее 1:500 000 обозначает район океана (моря), в пределах которого находится данная карта.

Две последние цифры для карт масштабов крупнее 1:50 000 и три последние цифры для карт масштаба 1:500 000 и генеральных карт — порядковый номер карты в данном море, океане или его части.

Например:

- адмиралтейский номер карты 22215 означает, что карта относится к северной части Атлантического океана, что она путевая масштаба 1:200 000 — 1:300 000, относится к Северному морю, имеет порядковый номер 15;
- адмиралтейский номер карты 62003 означает, что карта относится к северной части Тихого океана, что она путевая масштаба 1:200 000 — 1: 300 000, относится к Охотскому морю, ее порядковый номер 3.

Адмиралтейские номера специальных, справочных и вспомогательных карт имеют следующие особенности:

- первой цифрой адмиралтейского номера всех карт этой группы является цифра 9;

- вторая цифра номера карт обозначает океан или его часть в соответствии с делением, принятым для навигационных карт;
- третья цифра номера карт обозначает масштаб карты следующим образом:
 0 — масштаб 1:5 000 000 и мельче;
 1 — масштаб 1:2 000 000 и мельче;
 2 — масштаб 1: 1 000 000 и мельче;
 3 — масштаб мельче 1: 500 000;
 4 — масштаб 1:500 000;
 5 — масштаб 1:400 000;
 6, 7, 8 и 9 — масштаб крупнее 1: 400 000;
- последние две цифры номера этих карт являются их порядковыми номерами в данном океане или его части.

Например, адмиралтейский номер карты 92035 означает, что карта является бланковой обзорной или справочной картой на район северной части Атлантического океана, масштаба 1: 500 000, ее порядковый номер 35.

Карты, которые охватывают весь мир или несколько океанов, или имеют скользящую долготную рамку (карты-сетки), второй цифрой адмиралтейского номера имеют ноль (0).

Картам этой группы присвоены следующие адмиралтейские номера:

- 90000 — 90199 — мировые карты;
- 90200 — 90399 — карты-сетки масштаба 1:250 00 и мельче;
- 90400 — 90999 — карты-сетки масштаба 1:20 000 и крупнее;
- последние цифры обозначают порядковый номер карты в каталоге.

Адмиралтейские номера морских навигационных карт, справочных и вспомогательных карт с дополнительной нагрузкой, основой которых явились навигационные, обзорные или бланковые карты, состоят из адмиралтейских номеров таких карт с добавлением через дефис установленных для этих карт прописных букв.

При этом необходимо иметь в виду, что количество знаков в номере карты, включая дефис, запятые и пробелы между знаками, не должно превышать 6.

К номерам издаваемых в РФ морских карт с дополнительной нагрузкой добавляются буквы только русского алфавита, за исключением карт составляющих магнитного поля Земли (Н и Z).

Адмиралтейские номера на отечественных картах проставляются по углам карт без знака номера.

9.6 Степень доверия к морской навигационной карте

Перед тем как воспользоваться картой, необходимо все-сторонне проанализировать все элементы ее содержания с целью оценки пригодности карты для решения поставленной навигационной задачи.

Основными критериями для оценки достоинства карты являются:

- масштаб карты;
- современность картографических материалов и гидрографических работ, по результатам которых составлена карта;
- подробность промера глубин при данном характере рельефа дна.

В заголовке карты приводятся данные о масштабе, принятом нуле глубин и высот, а также магнитном склонении.

Масштаб карты и рассчитанная предельная его точность позволяют оценить погрешность измерения длин, а также степень генерализации изображения.

На генеральных картах навигационные опасности показывают только в открытой части морей. Вблизи берега их показывают частично только для общей навигационной характеристики района. В прибрежной зоне до изобаты 50 м навигационные опасности не наносятся вообще. В прибрежных частях генеральных карт при наличии путевых карт не наносятся затонувшие суда и навигационные опасности с обозначениями ПС, СС, "По донесению".

Отсутствие данных о нуле глубин вынуждает мореплавателей критически относиться к достоверности малых глубин на данной карте, проявляя особую осторожность при плавании, особенно в малую воду.

Особо важная информация о современности карты содержится в зарамочных надписях. Это выходные данные карты с указанием ее геодезической основы, использованных при ее составлении картографических материалов, даты первого и нового изданий, даты большой, малой и текущей корректуры карты.

Современные методы гидрографических исследований не дают абсолютно полной информации о рельефе дна. Поэтому проведенные на карте изобаты вместе с нанесенными цифрами глубин места должны быть проанализированы с точки зрения безопасности плавания.

Плавный рельеф, характеризующийся согласием соседних глубин, отсутствием банок и островков, благоприятен для судовождения. Сложный рельеф, характеризующийся резким изменением глубин, наличием банок и островов, опасен и требует предосторожности.

рожностей. Здесь всегда существует вероятность встретить сколько угодно малые глубины, не обнаруженные при промере.

На белых пятнах, имеющих на картах, глубины никогда не измерялись и поэтому здесь можно встретить любую малую глубину, особенно при сложном рельефе. Под белыми пятнами надо понимать участки карты без данных о рельефе, размеры которых заметно превышают среднее расстояние между отметками глубин на карте.

В общем случае изобату 20 м следует считать предостерегательной для судов с большой осадкой, а изобату 10 м — для судов с малой осадкой. За предостерегательные изобаты без особой надобности заходить не рекомендуется.

При оценке грунта для выбора якорной стоянки следует иметь в виду, что показанные на карте грунты определялись, как правило, по образцам, поднятым в выемках ручных и механических лотов, и характеризуют только верхний, часто очень тонкий слой грунта морского дна.

Исключительно важные сведения о достоверности и точности картографического изображения, режиме плавания, новых опасностях и нестандартных условных знаках помещены в предупреждениях и примечаниях в виде текстовых дополнений.

В целом надежными принято считать карты более крупного масштаба, составленные по материалам отечественных гидрографических работ, по более поздним источникам, более позднего года издания, откорректированные по “Извещениям мореплавателям” на дату выхода в море, а также согласно навигационной информации, принятой по радио.

Высокая надежность информации морских карт не только не исключает, а, наоборот, диктует необходимость осмысленного и творческого отношения к ее оценке со стороны мореплавателя. Приведенными выше сведениями далеко не исчерпывается вопрос о степени доверия к навигационной карте и практических приемах оценки надежности картографической информации.

Морская карта, более чем какая-либо требует критического подхода. Необоснованная ее переоценка и слепое доверие ведут к промахам в оценке морской навигационной обстановки, навигационным авариям и катастрофам судов.

Только комплексное использование морской навигационной карты, лоции, других навигационных пособий и руководств для плавания может обеспечить мореплавателя всей накопленной необходимой информацией по данному району плавания.

9.7 Классификация руководств и пособий для плавания

Общие сведения. Морские навигационные руководства и пособия для плавания являются книжными изданиями ГУНиО, содержащими международно-правовую, навигационно-гидрографическую, гидрометеорологическую и геофизическую информацию по районам Мирового океана, правила и рекомендации по обеспечению безопасности плавания, а также необходимые мореплавателям справочные сведения.

Классификация морских навигационных руководств и пособий приведена ниже:

Международно-правовые руководства

- Международные правила предупреждения столкновений судов
- Сборник международных договоров и законодательных актов по вопросам мореплавания
- Международный свод сигналов
- Морское законодательство Российской Федерации
- Система А — комбинированная кардинально-латеральная система плавучего ограждения (красный слева)
- Описание особенностей огней военных кораблей и сигналов, подаваемых кораблями и судами для обеспечения безопасности плавания
- Общие положения об установлении путей движения судов
- Пределы действия территориальной юрисдикции государств в Мировом океане

Руководства для плавания

- Лоции и дополнения к ним
- “Огни и знаки”, “Огни”
- Радиотехнические средства навигационного оборудования
- Радионавигационные системы
- Расписание передач навигационных предупреждений и гидрометеорологических сообщений радиостанциями
- Расписание факсимильных гидрометеорологических радиопередач
- Режим плавания судов
- Правила плавания
- Руководства для захода судов в порты

Пособия для плавания

- Таблицы радионавигационных систем
- Описание системы плавучего ограждения в водах России
- Атласы зон точности обсерваций по РНС

- Каталоги карт и книг
- Мореходные таблицы
- Таблицы морских расстояний
- Океанские пути мира

Гидрометеорологические пособия

- Атласы океанографических параметров
- Комплекты гидрометеорологических карт морей и районов океанов
- Атласы льдов
- Атласы приливных течений
- Таблицы приливов (издаются ежегодно) и приливных течений
- Атласы опасных и особо опасных гидрометеорологических явлений

Астрономические пособия

- Морской астрономический ежегодник
- Астронавигационный альманах
- Таблицы “Высоты и азимуты светил” (ВАС-58)
- Таблицы вычисления высот и азимутов (ТВА-57)

Научно-технические и учебные пособия

- Научные труды по навигации, гидрографии и океанографии
- Учебные пособия для судоводителей и гидрографов
- Периодические научно-технические издания

К морским руководствам относятся издания, содержащие правила, указания либо рекомендации, невыполнение или неучет которых возлагает на мореплавателя ответственность за возможные последствия.

Международно-правовые руководства. Предназначены для международно-правового обеспечения безопасного плавания в Мировом океане. К основным международно-правовым руководствам относятся следующие издания:

- Морское законодательство Российской Федерации;
- Сборник международных договоров и законодательных актов по вопросам мореплавания;
- Международные правила предупреждения столкновения судов в море;
- Руководство “Пределы действия территориальной юрисдикции государств в Мировом океане”.

Руководства для плавания. Содержат сведения, которые вместе со сведениями, содержащимися на навигационных, специальных, вспомогательных и справочных картах, обеспечивают морепла-

телей навигационно-гидрографической, гидрометеорологической, астрономической и другой необходимой информацией.

Лоции совместно с картами предназначены для обеспечения судоводителей информацией об элементах обстановки, определяющих навигационные условия в прибрежных водах Мирового океана, а также наставлениями, рекомендациями для плавания, указаниями и предупреждениями, которыми надлежит руководствоваться при плавании в этих водах.

Лоции содержат информацию, представленную в текстовой (описательной) форме, а также в виде схем, рисунков и таблиц. Сведения, помещаемые в лоциях, и данные, приведенные на морских картах и в других руководствах и пособиях, взаимно дополняют друг друга и должны использоваться совместно.

В лоциях приводятся:

- общая оценка описываемого района (навигационно-географические и гидрометеорологические условия плавания, обеспеченность лоцманской проводкой, спасательной службой и навигационной информацией; возможности ремонта и снабжения и т. п.);
- сведения о характере берега, ориентирах на побережье и навигационных опасностях, дополняющие данные, имеющиеся на навигационных картах;
- сведения о наличии средств навигационного оборудования;
- сведения о гидрометеорологических условиях в отдельных районах и пунктах, их влиянии на безопасность плавания, местных признаках изменения погоды и приближения опасных для плавания явлений;
- сведения о портах, гаванях и якорных местах, населенных пунктах;
- правила захода в порты и передвижения внутри портов;
- сведения о геофизических явлениях, имеющих навигационное значение;
- наставления для плавания по отдельным участкам описываемого района (в проливах, на фарватерах, подходах к портам и якорным местам, в районах интенсивного судоходства и т. п.);
- рекомендации по выбору якорных мест в различных условиях и подходу различных плавсредств к берегу, высадке на берег;
- изображения (фотографии, рисунки) отдельных участков побережья с приметными объектами (ориентирами);
- справочные данные, необходимые мореплавателю (таблицы расстояний от главных портов России до основных пунктов описываемого района и между этими пунктами).

В приложениях к лоциям помещаются дополнительные сведения, не предусмотренные описанной выше схемой.

При накоплении значительного по объему корректурного материала издаются дополнения к лоциям. В дополнение к лоции включаются сведения об изменениях в навигационной обстановке, появившиеся после издания лоции и имеющие существенное значение для плавания.

“Огни и знаки” (*“Огни”*) – руководство, содержащее необходимые мореплавателям сведения о зрительных средствах навигационного оборудования побережья морей и океанов.

“Огни и знаки” издаются на отечественные воды и содержат сведения о всех штатных средствах навигационного оборудования за исключением вех. *“Огни”* издаются на иностранные воды и содержат сведения о светящихся средствах навигационного оборудования, за исключением светящихся и несветящихся буйев и вех.

Радиотехнические средства навигационного оборудования (РТСНО) предназначены для обеспечения судоводителей сведениями о радиотехнических средствах навигационного оборудования, обеспечивающих мореплавание в российских и иностранных водах.

РТСНО содержат сведения:

- о спутниковых навигационных системах;
- о наземных радионавигационных системах;
- о морских радиомаяках и аэрорадиомаяках;
- о радиостанциях, работающих по запросу для пеленгования;
- о радиопеленгаторных станциях и радиолокационных маяках.

В них приводятся данные о расположении радиотехнических средств навигационного оборудования, их зонах действия, режимах и времени работы и другая информация, необходимая для использования этих средств в целях навигации.

Расписания передач навигационных предупреждений и гидрометеорологических сообщений радиостанциями и расписания факсимильных гидрометеорологических радиопередач предназначены для обеспечения судов сведениями о работе радиостанций, передающих навигационные предупреждения и гидрометеорологические сообщения.

В расписаниях приводятся названия радиостанций, их позывные сигналы, районы обслуживания, режим работы, время и содержание передач, а также некоторые справочные данные.

Правила плавания содержат сведения об установленных местными властями и административными органами зарубежных государств особых правилах плавания на отдельных участках своих

территориальных вод (Суэцкий канал, Панамский канал и др.) и внутренних водных путей. Правила обязательны для всех кораблей и судов, находящихся в водах этих государств.

Режим плавания судов (сводное описание) предназначен для кораблей ВМФ и судов гражданских ведомств и содержит общие указания для плавания, правила захода судов гражданских ведомств в закрытые для иностранных судов порты, а также сведения:

- об опасных (из-за возможного наличия мин) районах, фарватерах, рекомендованных путях и якорных местах в этих районах;
- о морских режимных районах;
- о районах, опасных в навигационном отношении;
- об установленных путях движения судов;
- о районах якорных мест.

Руководства по режиму плавания в районах боевой подготовки флота содержат сведения о границах районов боевой подготовки кораблей ВМФ и правилах плавания в них.

Руководства для захода судов в российские порты предназначены для обеспечения иностранных судоводителей сведениями о правилах и навигационных условиях подхода к российским портам и захода в них. Издаются на открытые для захода иностранных судов российские порты и районы подхода к ним. В руководствах содержится навигационное описание портов и подходов к ним, приводятся извлечения из Правил плавания в водах России, сведения о системе плавучего ограждения в водах России (система МАМС, регион А), сроках действия средств навигационного оборудования и морских радиомаяках.

Руководства для плавания по Северному морскому пути содержат:

- описания природных условий судоходства в российском секторе Арктики;
- изложение тактики плавания во льдах (включая ледокольную проводку судов);
- описания условий плавания по отдельным маршрутам;
- рекомендации по оперативному навигационно-гидрографическому и гидрометеорологическому обеспечению высокоширотных переходов.

Пособия для плавания. Океанские пути мира – пособие, предназначенное для выбора оптимальных путей следования кораблей и судов между наиболее важными портами мира в зависимости от навигационно-гидрографических и гидрометеорологических условий.

Пособие содержит описания океанских и некоторых морских путей, включающие в себя:

- краткую характеристику гидрометеорологических условий и рекомендации по выбору маршрута следования в различные сезоны;
- рекомендации по определению места;
- предупреждения навигационного характера;
- сведения о местных признаках изменения погоды и приближении ураганов, других опасных для плавания явлений.

К пособию прилагаются карты основных океанских путей. Пособие не заменяет лоции и другие навигационные руководства и не освобождает мореплавателя от необходимости их использования.

Таблицы радионавигационных систем предназначены для построения на морских картах линий положения при определении места с помощью радионавигационных систем. Таблицы издаются на район действия одной пары станций. Кроме основных таблиц в пособие включаются таблицы и схемы вспомогательного характера и необходимые пояснения.

Атласы зон точности определения места с помощью РНС содержат карты-схемы зон ожидаемой точности определения места для различных условий освещенности по каждой цепи РНС, а также поправки за условия распространения радиоволн для пар станций.

В целях упорядочения процесса приведения руководств и пособий для плавания на уровень современности по извещениям мореплавателям издаются сводные корректуры. В сводных корректурах содержится информация, объявленная в извещениях мореплавателям для данного издания.

Морские гидрометеорологические пособия. Предназначены для обеспечения судоводителей сведениями об элементах гидрометеорологической обстановки, определяющих условия плавания и ведения морского промысла в водах Мирового океана.

Данные пособия в совокупности содержат сведения, позволяющие:

- давать общую оценку гидрометеорологического режима в районах плавания в целях планирования морских перевозок и морского промысла;
- получать статистические данные о распределении отдельных гидрометеорологических элементов;
- выбирать или предвычислять значения некоторых гидрометеорологических элементов (приливов, приливных течений) на заданные моменты.

Морские астрономические пособия. Предназначены для обеспечения мореплавателей исходными данными, необходимыми для определения места судов в море астрономическими способами и для решения некоторых частных задач навигации.

Научно-технические и учебные пособия. К ним относятся издаваемые научные труды и монографии по навигации, гидрографии и океанографии, учебные пособия для гидрографов и штурманов, периодические научно-технические издания.

Руководства для внутренних водных путей. Содержат сведения навигационно-гидрографического, гидрометеорологического и справочного характера, необходимые для обеспечения безопасности плавания. В эту группу документов входят руководства для плавания и лоции на некоторые крупные реки.

9.8 Система адмиралтейских номеров руководств и пособий для плавания

С целью систематизации, удобства подбора и использования руководств для плавания каждому изданию присваивается свой адмиралтейский номер. Существующая в настоящее время в России система адмиралтейских номеров руководств для плавания введена в 1961 г.

Адмиралтейский номер руководств и пособий для плавания состоит из четырех цифр (знаков).

Первая цифра обозначает вид руководства (пособия) для плавания; она имеет следующие значения:

- 1 — лоции;
- 2 — огни и знаки (огни);
- 3 — радиотехнические средства навигационного оборудования и расписания радиопередач;
- 4 — руководства и правила плавания;
- 5 — резерв;
- 6 — гидрометеорологические пособия (атласы, гидрометеорологические карты и т. п.);
- 7 — каталоги;
- 8 — таблицы для определения места с помощью радионавигационных систем;
- 9 — справочные издания.

Вторая цифра обозначает океан и имеет следующие значения:

- 1 — Северный Ледовитый океан;
- 2 — Атлантический океан;

3 – Индийский океан;

4 – Тихий океан.

В тех случаях, когда руководства или пособия для плавания относятся к двум или более океанам, второй цифрой адмиралтейского номера является 0 (ноль). Для справочных изданий (их первая цифра 9) вторая цифра не означает океана и может быть любой.

Третья и четвертая цифры обозначают порядковый номер этого вида руководства для плавания в этом океане.

Например, адмиралтейский номер 1221 означает, что руководство для плавания является лоцией, относящейся к Атлантическому океану и имеющей порядковый номер 21.

Адмиралтейский номер руководства (пособия) для плавания печатается на обложке, титульном листе и на корешке.

Дополнениям и приложениям к руководствам для плавания присваиваются те же номера, что и основным руководствам.

Глава 10

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О ЛОЦИИ ВНУТРЕННИХ ВОДНЫХ ПУТЕЙ

Внутренние водные пути (ВВП) – это водные пространства, используемые для судоходства и сплава леса. Они подразделяются на *естественные* (свободные), т. е. внутренние моря, реки и озера, используемые для судоходства в естественном состоянии, и *искусственные* (зарегулированные), т. е. судоходные каналы, водохранилища и шлюзованные реки, режим стока и уровней которых значительно изменен возведенными на них гидротехническими сооружениями. Выделяются международные магистральные водные пути, обслуживающие внешнеторговые перевозки нескольких государств (Дунай, Одер, Рейн, Амур, Парагвай, Нигер), магистральные, обслуживающие перевозки между крупными районами внутри страны (Волга, Янцзы, Миссисипи), и местные, обеспечивающие внутрирайонные связи.

Изучением навигационных опасностей, средств навигационного оборудования внутренних водных путей, составлением пособий, содержащих сведения, необходимые для выбора безопасных и наивыгоднейших курсов, методики использования этих пособий и др. занимается *лоция внутренних водных путей*.

Лоция внутренних водных путей подразделяется на общую и специальную.

Общая лоция дает необходимые сведения о внутренних водных путях и является общим руководством для плавания по любому

участку водного пути. Она содержит основные сведения по гидрологии внутренних водных путей, ориентировке, выбору курса судна, картографии, а также сведения об условиях движения судов по рекам, озерам, водохранилищам и вблизи морских побережий.

Специальная лоция служит руководством для плавания по определенному участку водного пути. В ней содержатся подробные сведения о русле, берегах с прилегающей территорией, препятствиях, различных приметах и ориентирах, навигационной обстановке, направлениях и границах судового хода.

Дадим пояснения основным терминам и определениям, относящимся к внутренним водным путям.

Судовой ход или *фарватер* – 1) водное пространство на ВВП, предназначенное для движения судов и обозначаемое на местности и (или) на карте; 2) безопасный в навигационном отношении проход по водному пространству, обозначенный средствами навигационного оборудования.

Ось судового хода – условная линия, проходящая в средней части судового хода или обозначенная навигационными знаками.

Кромка судового хода – условная линия, ограничивающая судовый ход по ширине.

Различают *основной* и *дополнительный* судовые ходы: основной – судовый ход, являющийся главным по отношению к другим судовым ходам в данном районе; дополнительный – судовый ход, отходящий от основного и предназначенный для подхода к берегу, рейдам, причалам, затонам и т. д.

В состав элементов, характеризующих размеры судового хода, входят следующие: глубина, ширина и радиус закругления, возвышение над фактическим уровнем воды нижней кромки ферм мостов и ширина судоходных пролетов мостов, а также высота от уровня воды до проводов воздушных линий связи и электропередачи.

Глубина судового хода – это расстояние по вертикали от дна до поверхности воды. Она должна быть такой, чтобы при проходе всех судов, допущенных к плаванию по данному водному пути, выдерживались установленные запасы воды под их днищем. Необходимый запас воды под днищем судна зависит от глубины судового хода, характера грунта дна, рода перевозимого груза.

Ширина судового хода – кратчайшее расстояние по горизонтали между кромками судового хода. Она определяется наибольшей шириной судовых составов или плотов, видом движения (одно- или двухпутное), запасом между границей судового хода и бортом судна и расстоянием между расходящимися судами.

Радиус закругления судового хода — значение радиуса кривизны судового хода по его оси. Он должен быть достаточно большим, чтобы при повороте судно не выходило за кромки судового хода. В соответствии с существующими правилами длина одиночных судов при следовании в обоих направлениях должна быть в 3 раза меньше нормирующих радиусов закруглений.

Надводная высота судового хода — наименьшее расстояние по вертикали от поверхности воды до нижней кромки надводного перехода (моста, ЛЭП и т. д.)

По степени достигнутого улучшения судоходных условий водные пути могут быть с гарантированными габаритными размерами судового хода и без них.

Гарантированные габариты судового хода — это установленные наименьшие габариты судового хода при проектном уровне воды. Они должны обеспечиваться в течение всей навигации и приниматься за основу расчета при организации путевых работ.

Гарантированные габариты судового хода устанавливают для определенного низкого уровня, называемого проектным. Его определяют на основании многолетних наблюдений.

На водных путях имеются участки с наименьшими габаритными размерами: некоторые перекаты, пороги, изгибы русла. Такие участки, ограничивающие размеры и осадку судовых составов, называются *лимитирующими участками*.

Перекат — характерная для равнинных рек форма донного рельефа, сформированная отложением наносов, обычно в виде широкой гряды, пересекающей русло под углом к общему направлению течения, вызывающая отклонение его от одного берега к другому.

Перевал — перекат, не представляющий затруднений для судоходства.

Плес — глубоководный участок реки, находящийся обычно между перекатами.

Бьеф — часть водотока, примыкающая к водонапорному сооружению.

В течение большей части навигации уровень воды в реке выше проектного. Это позволяет обеспечить для судоходства на тот или иной период навигации большую глубину, чем гарантированная, и тем самым улучшить использование флота. Поэтому, кроме гарантированной глубины устанавливают так называемую *дифференцированную глубину судового хода*, величина которой дается в зависимости от высоты уровня воды на опорном гидрологическом посту.

Глава 11

НАВИГАЦИОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ВНУТРЕННИХ ВОДНЫХ ПУТЕЙ

11.1 Назначение и виды навигационного оборудования

Под навигационным оборудованием понимается система навигационных знаков, предназначенная для обеспечения на внутренних водных путях безопасного плавания судов и плотовых составов.

С помощью навигационных знаков обозначают:

- положение судового хода, его оси и кромок;
- места свальных течений и участки пути, на которых судоводители должны принимать меры предосторожности (узкости, крутые повороты, перекаты и т. п.);
- пересечения судового хода подводными и надводными сооружениями;
- пролеты мостов, предназначенные для движения судов и проводки плотов;
- границы рейдов, подходы к портам, пристаням и судопропускным сооружениям;
- местоположение подводных препятствий.

Кроме того, с помощью навигационных знаков регулируют движение на засемафоренных участках пути.

Навигационные знаки подразделяются на береговые и плавающие. Для ориентирования и опознания их в темное время суток большинство из них оборудуется светосигнальным устройством, создающим навигационный огонь соответствующего цвета и характера горения.

Береговые навигационные знаки должны действовать со дня начала движения и до дня прекращения движения судов. Они подразделяются на две группы: знаки обозначения положения судового хода и информационные.

В состав береговых навигационных знаков обозначения судового хода входят створные, перевальные, ходовые, весенние знаки, а также знаки для указания оси и кромок судового хода судоходных пролетов мостов и знак «Ориентир».

Береговые информационные знаки подразделяются на запрещающие, предупреждающие, предписывающие и указательные. Основное их назначение — запрещение или предписание опреде-

ленных маневров и действий судоводителей, предупреждение о состоянии (особенностях) участка судоходного пути и передача определенной навигационной информации.

Плавучие навигационные знаки выставляются на водных путях не позднее, чем на третий день после очищения водного пути ото льда и должны действовать до появления “сала” и шуги. В их состав входят кромочный, поворотный, свальный, разделительный, осевой, поворотно-осевой знаки, а также знак опасности (дублирующий).

Плавучие навигационные знаки служат для обозначения кромок судового хода, крутого поворота судового хода на участках реки с ограниченным обзором, свального течения, разделения судового хода, оси судового хода и его поворота на водохранилищах, ограждения отдельных навигационных опасностей.

Навигационные огни — устройства специальной конструкции, устанавливаемые на навигационных знаках или автономно, в виде светофоров на различных гидротехнических сооружениях, паромных переправах и т. п.

Навигационные огни предназначены для ориентирования при управлении судном в темное время суток; регулирования движения судов при проходе через гидротехнические сооружения и участки пути с односторонним движением; указания оси и высоты судоходного пролета неразводных мостов; указания разводного пролета наплавных мостов; опознания того или иного навигационного знака по цвету и характеру огня.

Навигационные огни имеют соответствующие отличительные признаки: цвет, характер (режим) горения, взаимное расположение на навигационном знаке. В составе их применяются огни красного, зеленого, белого и желтого цветов.

11.2 Береговые навигационные знаки обозначения положения судового хода

Створные знаки. По своему устройству и принципу действия створы подразделяются на осевые, щелевые и кромочные.

Осевой навигационный створ — это система из двух или трех береговых навигационных знаков или навигационных огней, расположенных на продолжении оси судового хода (рис. 11.1, см. цветную вклейку). Знаки окрашиваются на темном фоне в белый цвет с черной створной полосой посередине щита; на светлом фоне — в красный цвет с черной или белой створной полосой посередине (черная полоса применяется только на больших знаках).

Для темного времени суток осевые створы на левом берегу оборудуются зелеными, белыми или желтыми сигнальными огнями, на правом берегу — красными, белыми или желтыми. При этом сигнальный огонь заднего знака должен быть проблесковым, а передний огонь — постоянным.

При движении по осевой полосе оси симметрии (створные полосы) переднего и заднего знаков должны быть совмещены, а огни — находиться на одной вертикали.

Щелевой навигационный створ — это система из трех береговых навигационных знаков или навигационных огней для обозначения положения судового хода и его кромок (рис. 11.2, см. цветную вклейку). Знаки окрашиваются на темном фоне в белый цвет с черной створной вертикальной полосой посередине щита; на светлом фоне — в красный или черный цвет с черной или белой створной вертикальной полосой посередине.

На левом берегу щелевые створы оборудуются сигнальными огнями зеленого, белого или желтого цвета (все три огня). На правом берегу огни могут быть белыми или желтыми, как и на левом берегу, или красными. При этом передние огни — постоянные, а задние — проблесковые.

При движении по судовому ходу (створной зоне) задний знак или огонь на нем должен находиться между передними знаками или огнями.

Кромочный навигационный створ — это система из двух береговых навигационных знаков или навигационных огней, служащих для обозначения положения судового хода и его кромок (рис. 11.3, см. цветную вклейку).

Для указания одной кромки судового хода кромочный створ состоит из двух знаков — переднего и заднего, а для указания обеих кромок — из двух передних и двух задних знаков.

Сигнальные огни кромочного створа левой кромки судового хода зеленого цвета, а правой кромки — красного цвета. Передние огни (постоянные) устанавливаются на вершине внутренней вертикальной грани знака, а задние огни (двухпроблесковые) — на вершине вертикальной грани знака.

При движении по судовому ходу (створной зоне) между вертикальными гранями щитов переднего и заднего знаков должен быть виден просвет, а условная линия, соединяющая огни этих знаков, должна быть наклонена в сторону судового хода.

Перевалынные знаки. Это береговые навигационные знаки, служащие для обозначения направления судового хода (рис. 11.4, см. цветную вклейку).

При светлом фоне местности щиты перевальных знаков окрашиваются в красный цвет, а при темном — в белый. Огонь — зеленый, белый или желтый на левом берегу, красный, белый или желтый на правом берегу. Характер огней: красный и зеленый огни — постоянные, белый и желтый — проблесковые.

Судно необходимо направлять в сторону знака.

Ходовые знаки. Это береговые навигационные знаки, предназначенные для обозначения судового хода, проходящего у ходового (приглубого) берега (рис. 11.5, см. цветную вклейку).

Щит ходового знака в виде ромба или вытянутого ромба с отсеченными острыми углами окрашивается в белый цвет на левом берегу, в красный — на правом. Огни ходовых знаков: на левом берегу зеленый однопроблесковый, на правом — красный однопроблесковый.

Судно должно двигаться вдоль берега, на котором устанавливается знак.

Знаки весенние и “Ориентир”. *Весенний знак* — это береговой навигационный знак для обозначения затопленных берегов в период половодья. Сигнальная фигура знака правого берега имеет форму круга красного цвета, а левого — форму трапеции белого цвета (рис. 11.6, см. цветную вклейку).

Сигнальные огни на знаках правого берега — красные постоянные, на знаках левого берега — зеленые постоянные.

В период половодья необходимо строго придерживаться судового хода, обозначенного весенними знаками.

Знак “Ориентир” — береговой навигационный знак для обозначения характерных мест судоводного пути. Сигнальные щиты прямоугольной или трапециевидальной формы окрашиваются чередующимися горизонтальными полосами: на правом берегу — красного и белого цвета, на левом — черного и белого (рис. 11.7, см. цветную вклейку).

Для темного времени суток знаки правого и левого берегов оборудованы двухпроблесковыми огнями красного, белого или желтого и зеленого, белого или желтого цвета соответственно.

Знак помогает судоводителю в ориентировке и в определении своего местонахождения.

Знаки и огни на мостах. Знаки и огни *указателя оси судового хода* пролетов мостов устанавливаются на фермах неразводного моста по оси судового хода и обозначают судоводный пролет: для судов и составов, следующих снизу, знак представляет собой квадратный щит; для судов и составов, следующих сверху, — щит в форме ромба; для плотовых составов — круглый щит; для маломерных судов — треугольный щит вершиной вниз (рис. 11.8, см. цветную вклейку). Знак окрашивается на темном фоне в белый цвет, на светлом — в красный.

Судоводный пролет для судов ночью обозначают двумя створными красными постоянными огнями, а для плотовых составов — двумя створными зелеными огнями.

Указатели высоты подмостового габарита и кромки судового хода устанавливаются на опорах или пролетном строении моста со стороны судового хода. Они представляют собой квадратные щиты зеленого цвета (для светлого фона) или белого цвета (для темного фона). Четыре вертикальных щита (ночью — зеленых постоянных огней) обозначают габаритную высоту свыше 16 м, три — свыше 13, два — свыше 10, один — до 10 м (см. рис. 11.8).

Проход судов и составов через наплавные мосты регулируют *семафоры*, которые устанавливают на берегу при подходе к мосту (выше и ниже его по течению) или на самом мосту.

Сигнальные фигуры, представляющие собой цилиндр и конус, вывешиваются на ноке рея одна над другой. Цилиндр окрашивается в черный цвет, а конус — в красный. Взаимное расположение сигнальных фигур имеет следующие значения: цилиндр внизу, а конус вверху — разрешен проход судам, идущим вверх (рис. 11.9, а, см. цветную вклейку); два конуса вершинами вверх один над другим — проход запрещен и вниз и вверх (рис. 11.9, б, см. цветную вклейку); цилиндр вверху, а конус внизу — разрешен проход судам, идущим вниз (рис. 11.9, в, см. цветную вклейку). В ночное время вместо сигнальных фигур на мачте поднимаются два вертикально расположенных огня. Зеленый огонь по своему значению заменяет цилиндр, а красный — конус.

В темное время суток правая (по течению) сторона судоводного пролета наплавного моста обозначается постоянными красными огнями, а левая — постоянными зелеными огнями.

Знаки “Путевой огонь” и опознавательные. *Знаки “Путевой огонь”* служат для обозначения в ночное время берегов судоводного канала. Они ставятся попарно один против другого: на левом берегу цвет сигнальных огней зеленый постоянный или проблесковый, на правом — красный постоянный или проблесковый.

Опознавательные знаки служат для обозначения входа в канал, порт, аванпорт со стороны озера или водохранилища, а также входа в подходной канал шлюза. Они могут быть в виде башен различной архитектуры и устанавливаются на оголовках дамб, молов, волноломов и возвышенных берегах каналов. Окрашивают их в цвет, обеспечивающий необходимый контраст с окружающим фоном местности.

На опознавательных знаках левого берега устанавливаются зеленые постоянные или проблесковые огни, а на знаках правого берега — красные постоянные или проблесковые.

11.3 Береговые информационные знаки

Информационные знаки подразделяются на три группы: запрещающие, предупреждающие и предписывающие, указательные.

В зависимости от основного назначения знаки каждой группы имеют определенный силуэт сигнального щита.

Запрещающие знаки. В группу запрещающих знаков входят пять знаков, имеющих круглый силуэт сигнального щита, а также семафор и светофор. В ночное время запрещающие информационные знаки (кроме знака “Якоря не бросать”) имеют желтый затмевающийся сигнальный огонь. На знаках “Якоря не бросать” устанавливаются два желтых постоянных вертикально расположенных огня. Знаки запрещают определенные маневры судов и действия судоводителей.

“Якоря не бросать!” (рис. 11.10, а, см. цветную вклейку) — знак применяется для обозначения зоны подводного перехода (кабель, трубопровод и т. п.), где запрещено отдавать якоря, опускать цепи—волокуши, лоты.

“Расхождение и обгон составов запрещены!” (рис. 11.10, б, см. цветную вклейку) — знак служит для обозначения участка судового хода, где запрещены обгон и расхождение составов и крупногабаритных судов длиной более 120 м. Устанавливается в начале и в конце ограждаемого участка.

При подходе к знаку необходимо выйти на радиосвязь и ожидать прохода крупногабаритного судна или состава по ограждаемому участку.

“Расхождение и обгон запрещены!” (рис. 11.10, в, см. цветную вклейку) — знак предназначен для обозначения участка судового хода, где запрещены обгон и расхождение судов.

При подходе к знаку нужно выйти на радиосвязь и выяснить возможность захода на участок.

“Не создавать волнения!” (рис. 11.10, г, см. цветную вклейку) — знак применяется для обозначения участков водного пути, где запрещено создавать волнение.

При подходе к знаку при необходимости следует уменьшить ход.

“Движение мелких плавсредств запрещено!” (рис. 11.10, д, см. цветную вклейку) — знак обозначает участок, где на судовом ходу запрещено движение маломерных судов (на рейдах, в подходных каналах, у причалов и др.).

В зоне действия знака категорически запрещается движение мелких плавсредств.

Светофор (рис. 11.10, е, см. цветную вклейку) — служит для регулирования движения судов в районе шлюзов, заградительных

ворот, паромных канатных переправ. Постоянный красный огонь светофора означает, что ход закрыт, зеленый огонь — ход открыт.

Семафор (рис. 11.10, ж, см. цветную вклейку) — применяется для обозначения участков с односторонним (поочередным) движением судов, а также на наплавных мостах для регулирования движения через их разведенные части.

Предупреждающие и предписывающие знаки. В эту группу входят четыре знака, имеющих квадратный силуэт сигнального щита. В ночное время знаки этой группы освещаются желтым однопроблесковым сигнальным огнем. Знак “Соблюдать надводный габарит!” обозначается двумя желтыми постоянными огнями, расположенными горизонтально.

Знаки предупреждают о состоянии (особенностях) участка судоходного пути и предписывают определенные маневры и действия судоводителей.

“Внимание!” (рис. 11.11, а, см. цветную вклейку) — знак применяется для обозначения участков судоходного пути, где необходимо соблюдать особую осторожность. Знаки устанавливаются в начале и конце ограждаемого участка.

При подходе к знаку, если это предусмотрено местными правилами плавания, следует подать звуковой сигнал или выйти на радиосвязь.

“Пересечение судового хода” (рис. 11.11, б, см. цветную вклейку) — знак служит для обозначения мест пересечения судового хода судовыми и паромными переправами.

“Скорость ограничена!” (рис. 11.11, в, см. цветную вклейку) — знак применяется для обозначения участка судоходного пути, где скорость движения водоизмещающих судов ограничена (на каналах, в аванпортах, акваториях рейдов и др.). Цифры показывают максимально допустимую скорость хода (в километрах в час).

“Соблюдать надводный габарит!” (рис. 11.11, г, см. цветную вклейку) — знак применяется для обозначения надводных и мостовых переходов. Цифра показывает высоту надводного перехода или высоту подмостового габарита судоходного пролета моста от расчетного судоходного уровня воды в метрах.

Указательные знаки. Знаки предназначены для передачи определенной информации.

Место оборота судна (рис. 11.12, а, см. цветную вклейку) — знак обозначает участок водного пути, где можно наиболее безопасно осуществлять оборот судна. Сигнальный огонь — желтый постоянный.

Пост судоходной инспекции (рис. 11.12, б, см. цветную вклейку) — знак применяется для обозначения мест базирования подразделений судоходных инспекций. Сигнальный огонь — желтый постоянный.

Указатель расстояний (рис. 11.12, в, см. цветную вклейку) — число на знаке показывает расстояние в километрах по отсчету, принятому на речной карте. Сигнальный огонь не предусмотрен.

Указатель местности (рис. 11.12, г, см. цветную вклейку) — знак обозначает место впадения притока, населенных пунктов, границ бассейновых управлений пути и судоходных каналов и их подразделений. Сигнальный огонь не предусмотрен.

Стоповый знак (рис. 11.12, д, см. цветную вклейку) — знак служит для обозначения полезной длины камеры шлюза и границы зоны швартовки (остановки) судов в подходных каналах к шлюзам. Сигнальный огонь стопового знака — красный постоянный в виде вертикальной полосы, установленной на парапете камеры шлюза или причальных сооружениях шлюза.

Указатель рейда (рейдовый знак) (рис. 11.12, е, см. цветную вклейку) — знак применяется для обозначения границы рейда. При наличии нескольких рейдов допускается их нумерация. Порядковый номер рейда ставится на переднем знаке. Допускается установка дополнительных щитов, где стрелка указывает направление рейда, а цифры — длину рейда (в метрах). Огни постоянные: на правом берегу красные, на левом — зеленые.

11.4 Плавающие навигационные знаки

Плавающие навигационные знаки при латеральной системе расстановки и огни на них регламентируются государственными стандартами.

Кромочные знаки служат для обозначения кромок судового хода.

Кромочный знак у левого берега (рис. 11.13, а, б, см. цветную вклейку) обозначает левую кромку. Окрашивается в белый или черный цвет. Сигнальный огонь — белый, зеленый или желтый постоянный или проблесковый.

При движении судна вниз по течению знак оставляют слева, при движении вверх — справа.

Кромочный знак у правого берега (рис. 11.13, в, см. цветную вклейку) обозначает правую кромку. Окрашивается в красный цвет, топовая фигура на вехе черная. Сигнальный огонь — красный постоянный или проблесковый.

При движении судна вниз знак оставляют справа, при движении вверх — слева.

Поворотные знаки служат для обозначения поворотов прямолинейных участков судового хода, имеющего значительную протя-

женность, а также крутого поворота судового хода на участках водного пути с ограниченным обзором или скальным дном.

Поворотный знак левой кромки служит для обозначения поворота судового хода влево. Окрашивается в белый цвет с черной горизонтальной полосой посередине (рис. 11.14, а, см. цветную вклейку) или в черный цвет с белой горизонтальной полосой посередине (рис. 11.14, б, см. цветную вклейку). Сигнальный огонь — зеленый, белый или желтый частопроблесковый или проблесковый.

Поворотный знак правой кромки обозначает поворот судового хода вправо. Окрашивается в красный цвет с черной (рис. 11.14, в, см. цветную вклейку) или белой (рис. 11.14, г, см. цветную вклейку) горизонтальной полосой посередине. Сигнальный огонь — красный частопроблесковый или проблесковый.

Знаки опасности служат для обозначения особо опасных мест и подводных препятствий у кромок судового хода. Выставляется непосредственно у ограждаемой опасности с речной стороны.

Знак опасности левой кромки (рис. 11.15, а, см. цветную вклейку) обозначает особо опасные места у левой кромки судового хода. Окрашивается в белый цвет с одной черной горизонтальной полосой посередине и тремя-четырьмя черными вертикальными полосами. Сигнальный огонь — зеленый двухпроблесковый или проблесковый.

В качестве *знака опасности правой кромки* (рис. 11.15, б, см. цветную вклейку) применяется буй прямоугольной формы красного цвета с черными или белыми вертикальными и горизонтальными полосами, образующими крест. В темное время суток знак освещается красным двухпроблесковым или проблесковым огнем.

Свальные знаки служат для обозначения мест, где направление течения не совпадает с направлением судового хода. Они устанавливаются на кромках судового хода, противоположным свалу.

Свальный знак левой кромки (рис. 11.16, а, см. цветную вклейку) представляет собой буй или бакен треугольного силуэта. Верхняя часть знака окрашивается в белый цвет, нижняя — в черный. Сигнальный огонь — зеленый группочастопроблесковый или проблесковый.

При приближении к знаку необходимо учитывать свальное течение, направленное в сторону правой кромки.

Свальный знак правой кромки (рис. 11.16, б, см. цветную вклейку) представляет собой буй или бакен прямоугольного силуэта, верхняя половина которого окрашена в красный цвет, а нижняя — в черный или белый. Сигнальный огонь — красный группочастопроблесковый или проблесковый.

При приближении к знаку необходимо учитывать свальное течение, направленное в сторону левой кромки.

Разделительные знаки (рис. 11.17, см. цветную вклейку) служат для обозначения мест разделения (разветвления) судового хода. Знаки представляют собой буи треугольного силуэта, окрашенные тремя черными или белыми и тремя красными чередующимися вертикальными полосами, равными между собой.

На разделительном знаке устанавливаются два сигнальных огня, один над другим. Цвет сигнальных огней разделительного знака (при одном знаке) — белый с красным, зеленый с красным или желтый с красным проблесковые (рис. 11.17, а, см. цветную вклейку). На парном разделительном знаке — белый и красный, зеленый и красный или желтый и красный постоянные огни (рис. 11.17, б, см. цветную вклейку).

При разделении судового хода нужно выбирать тот ход, который указан на карте или лоции и который соответствует направлению движения.

Осевые плавучие знаки (рис. 11.18, а, см. цветную вклейку) обозначают ось судового хода, разделяя его на две ходовые полосы: для судов, идущих сверху, и для судов, идущих снизу. Окрашиваются горизонтальными чередующимися полосами белого и черного цвета (пять полос) равными по ширине. Сигнальный огонь — белый или желтый двухпроблесковый.

Осевой знак всегда остается слева независимо от направления движения.

Поворотно-осевые знаки (рис. 11.18, б, см. цветную вклейку) используют для обозначения поворота судового хода. Окрашиваются горизонтальными чередующимися полосами красного и черного или красного и белого цвета, равными по ширине. Сигнальный огонь — белый или желтый группочаstopроблесковый. Осевые и поворотно-осевые вехи имеют топовые фигуры черного цвета.

Глава 12

НАВИГАЦИОННЫЕ ПОСОБИЯ ВНУТРЕННИХ ВОДНЫХ ПУТЕЙ

12.1 Карты и атласы

Для плавания по внутренним водным путям издаются *карты внутренних водных путей* — изображения участков внутреннего водного пути и прилегающей полосы берега, составленные на основе гидрографических работ. Для второстепенных водных путей, где судоходство осуществляется нерегулярно, составляются

схемы судового хода. Карты внутренних водных путей называют также *навигационными картами*.

При плавании по крупным озерам и устьям рек, впадающим в моря, используются *морские навигационные карты*.

Для карт внутренних водных путей чаще всего используются масштабы 1:10 000 и 1:25 000, т. е. карты фактически являются планами. На таких картах изображение ограниченной поверхности земного шара на плоскости происходит практически без искажений и масштаб будет постоянным в любой точке карты и по любому направлению.

По своему содержанию навигационные карты представляют собой схематизированный вид водного пути. Они составляются на основе топографических карт, аэрофотосъемки, изысканий, промеров и т. д. На картах приводятся сведения об урезах воды, соответствующих проектному уровню; наносится ось судового хода или фарватера с разбивкой на километры; сооружения и постройки; навигационные препятствия, знаки навигационного оборудования; направления магнитного меридиана; расположение и направление неправильных течений; описание судового хода с рекомендациями для плавания и т. д. Карты могут иметь различную степень подробности изображения участков, разные краски для показа глубин, различные условные обозначения и т. д.

На некоторых картах могут приводиться дополнительные сведения о гидрологических особенностях, условиях навигации, а также планы трудных перекатов, рисунки и фотографии приметных ориентиров.

Карты, сброшюрованные в альбомы, как правило, содержат следующую информацию: наименование участка реки, для которого составлена карта; масштаб, издатель и год издания; предисловие или введение, в которых содержатся сведения о материалах, использованных при составлении карты; сведения об уровнях, глубинах, масштабах и др.; условные обозначения знаков и их словесное описание; схемы расположения листов карты; сами листы карты.

Атласы Единой глубоководной системы европейской части РСФСР включают в себя следующее: лист для учета корректуры, где указывают основания для корректуры, дату корректуры, подпись исполнителя; предисловие, в котором приводятся сведения об участках, входящих в данный том, масштабах, проекциях составления карт, использованных источниках и др.; необходимые пояснения и сокращения, принятые в текстах и на листах Атласа; навигационно-гидрографический очерк; схематический про-

дольный профиль участка, охватываемого Атласом; условные обозначения; схему расположения листов Атласа; лоцийные сведения и др.

Навигационно-гидрографический очерк содержит: общие сведения, особенности плавания по затруднительным для судоходства местам, габариты пути, навигационное оборудование, перечисление портов и основных рейдов, сведения о диспетчерской службе и обслуживании флота, навигационную информацию, перечисление шлюзов и правила шлюзования, особенности использования УКВ радиосвязи, описание участков судоходного пути.

Для обеспечения безопасного плавания большое значение имеет умелое использование навигационных карт и пособий. Уметь пользоваться картой — это значит уметь ориентироваться с помощью карты, сопоставляя ее с натурой, а для этого необходимо предварительное изучение участка пути с целью усвоения всех его особенностей.

Судоводитель должен прежде всего ознакомиться с заголовком карты, введением, примечаниями, с масштабом, магнитным склонением, годом издания карты и датой последней корректуры, характером рельефа дна, ограждением опасностей.

При изучении участка пути вначале бегло знакомятся со всем участком, а затем приступают к его более подробному изучению. При этом запоминают расположение всех населенных пунктов, искусственных сооружений и другие необходимые сведения. Судовой ход изучают с детальным запоминанием его положения между берегами, навигационным оборудованием, искусственными и естественными приметными объектами и т. д. Одновременно изучается характеристика перекатов, направления течения, прорабатываются рекомендации по судовождению.

12.2 Руководства и справочные пособия для плавания

Для дополнения навигационных карт текстовым материалом служат *руководства для плавания*. К ним относятся лоции, описания участков, радиолокационные схемы, рекомендации по выбору безопасного курса судна, описания портов-убежищ.

Лоции содержат физико-географическое описание бассейна, гидрографические сведения, данные о климате, гидрологическом режиме, характеристики отдельных участков водного пути, справочные данные, рекомендации судоводителю по выбору курса и т. д.

Отдельными брошюрами издаются *Описания основных убежищ на водохранилищах*, в которых указываются расположения убежищ и защищенность судов в них от ветров определенных направлений, характеристики подходов к убежищу и его акватории.

К *Рекомендациям судоводителям* можно отнести руководства, в которых содержатся рекомендации по использованию технических средств судовождения, рекомендации по проводке судов и др.

Официальным документом, выпускающимся для целей обеспечения безопасности плавания по озерам, являются *Извещения судоводителям*. Они издаются по мере накопления сведений и касаются, прежде всего, навигационных способов проводки судов.

Изображение местности на экране РЛС значительно отличается от изображения местности на карте. В связи с этим создаются *радиолокационные пособия*, которые изображают местность так, как она видится на экране РЛС. Совместное использование навигационных карт и радиолокационных пособий позволяют намного повысить эффективность применения судовых радиолокационных станций.

В последние годы описания участков судоходного пути и рекомендации по выбору курса помещают на свободных участках навигационных карт, что дает возможность обходиться без отдельных изданий лоций и других руководств для плавания.

Для получения необходимых данных о районе плавания и производства расчетов, связанных с судоходством, служат *справочные пособия*. К ним относятся: *Схемы внутренних водных путей сообщения РСФСР, Маршрутники, Атласы, карты и картограммы изолиний ветрового волнения, Графики колебаний уровней воды в нижних бьефах ГЭС, Введения к навигационным картам, Правила и уставные документы*. Учет всех данных, приведенных в справочных пособиях, при планировании и подготовке судна к рейсу позволяет повысить безопасность плавания.

Глава 13 НАВИГАЦИОННАЯ ИНФОРМАЦИЯ

13.1 Необходимость получения в море печатной и оперативной информации

Морские карты и руководства для плавания в результате изменения навигационной обстановки после их издания сравни-

тельно быстро устаревают и без соответствующих исправлений не могут удовлетворять своему назначению.

Поэтому поддержание морских карт и руководств для плавания на уровне современности относится к числу мероприятий, способствующих навигационной безопасности плавания и успешному решению задач кораблевождения.

Выход в море с неоткорректированными руководствами для плавания, картами и пособиями запрещен.

Кроме того, при нахождении судна в море безаварийное плавание будет обеспечено только при условии знания всех изменений в навигационной и метеорологической обстановке.

Систематическое внесение исправлений на морские карты и в руководства для плавания по извещениям мореплавателям, дополнениям к руководствам, а также по навигационной информации, передаваемой по радио, в целях приведения содержания карт и руководств на уровень современности называется *корректурой*.

Поддержание морских карт и руководств для плавания на уровне современности — основная обязанность судоводителей. Капитан судна организует корректуру морских карт и руководств для плавания на судне и несет ответственность за своевременность, полноту и правильность корректуры судового комплекта карт и книг.

Корректра морских карт и руководств для плавания на судах выполняется, как правило, немедленно с поступлением корректурных документов. Для корректуры используются корректурные документы, поступившие в письменном виде, а также и оперативная информация, принимаемая по радио.

13.2 Навигационная информация, распространяемая в виде изданий

Навигационная информация, получаемая в порту, распространяется в виде:

- извещений мореплавателям Главного управления навигации и океанографии Министерства обороны (ИМ ГУНиО МО) и приложений к ним;
- сводных корректур к руководствам для плавания;
- дополнений к руководствам для плавания;
- вклеек на отдельные участки морских карт;
- еженедельных бюллетеней навигационных предупреждений.

Назначение извещений мореплавателям состоит в том, чтобы своевременно доводить до мореплавателей сведения о происшед-

ших изменениях в навигационной обстановке и режиме плавания на морях и океанах мира, а также объявлять в них об издании, переиздании и снятии со снабжения морских карт и руководств для плавания и их корректуре.

В ИМ ГУНиО МО помещаются следующие сведения:

- разрешенная к опубликованию в открытой печати информация по зоне открытого моря и прибрежной зоне иностранных государств, предназначенная для корректуры морских карт и руководств для плавания общего пользования и с грифом “Для служебного пользования”;
- разрешенная к опубликованию в открытой печати информация по прибрежной зоне РФ в объеме, необходимом для поддержания на уровне современности морских карт и руководств для плавания, предназначенных для обеспечения захода иностранных судов в порты РФ, открытые для иностранных судов;
- информация о выходе в свет и изъятии из использования карт и книг, разрешенных к продаже за границу.

Каждый выпуск ИМ ГУНиО МО, за исключением выпуска № 1, состоит из пяти отделов:

- Общая информация по вопросам мореплавания;
- Корректра карт;
- Корректра руководств и пособий для плавания;
- Корректра каталога карт и книг;
- Навигационные предупреждения.

Выпуски ИМ ГУНиО МО имеют порядковую нумерацию, которая начинается с 1 января каждого года. Выпуск, как правило, включает до 200 самостоятельных номеров извещений мореплавателям, имеющих непрерывную нумерацию в течение года.

Звездочка у номеров ИМ ГУНиО МО означает, что извещение составлено на основании источников РФ. Выпуск № 1 ИМ ГУНиО МО содержит выдержки из обязательных постановлений, правил, инструкций и другие сведения для безопасности мореплавания. Он отменяет одноименный выпуск предыдущего года.

Приложения к ИМ ГУНиО МО издаются для мореплавателей РФ с грифом “Для служебного пользования” к каждому четвертому выпуску ИМ ГУНиО.

В приложениях к ИМ ГУНиО МО помещаются:

- запрещенная к опубликованию в открытой печати информация по зоне открытого моря и прибрежной зоне иностранных государств, предназначенная для корректуры морских карт и руко-

водств для плавания общего пользования, и с грифом “Для служебного пользования”;

- информация о выходе в свет и изъятии из использования морских карт и руководств для плавания общего пользования и с грифом “Для служебного пользования”.

Извещения мореплавателям подразделяются на постоянные, временные и предварительные, в зависимости от срока действия навигационной информации, содержащейся в них.

Постоянные извещения мореплавателям содержат сведения о навигационной обстановке, не подвергающейся частым изменениям.

Временные извещения мореплавателям содержат сведения о непродолжительных изменениях в навигационной обстановке, например о краткосрочных изменениях или нарушениях в действии СНО, временном введении особого режима плавания и т. п.

У номеров таких ИМ в скобках стоит буква В, например № 100 (В).

Временные ИМ, в тексте которых указан срок действия, автоматически утрачивают силу по истечении указанного срока.

Временные ИМ, действовавшие менее года и не утратившие своего значения, повторяются в начале следующего календарного года, а временные ИМ, действующие более года, также повторяются в начале следующего календарного года и переводятся в разряд постоянных.

Предварительные извещения мореплавателям содержат сведения о наиболее важных предполагаемых или планируемых в ближайшее время изменениях в навигационной обстановке. В них также публикуется информация, которая в скором времени будет уточняться, например предварительные сообщения о начале строительства маяка, мола и другие важные в навигационном отношении информационные сведения. У номеров таких ИМ в скобках стоит буква П, например № 210(П).

Если постоянное, временное или предварительное ИМ дополняется, изменяется или отменяется другим ИМ, то это указывается в скобках: (Доп. ИМ 2325/99), (Изм. ИМ 575/99), (Отм. п.12 ИМ 2 (В)/99). Если временным или предварительным ИМ вносится корректура в сведения, объявленные в постоянном извещении, то в этом временном или предварительном ИМ дается ссылка на постоянное извещение: (См. ИМ 350/99). С целью облегчения подбора ИМ для корректуры морских карт и руководств для плавания, а также упрощения контроля за выполненной корректурой Гидрографической службой ВМФ издаются нумерники ИМ. Еженедель-

ные бюллетени навигационных предупреждений издаются к каждому очередному выпуску ИМ ГУНиО МО.

Нумерники ИМ ГУНиО МО к картам и руководствам издаются квартальные (за I, II и III кварталы) и годовой. Квартальные нумерники помещаются в еженедельных выпусках ИМ, а годовой — в виде специального выпуска ИМ.

В конце годового нумерника ИМ ГУНиО МО помещается перечень изданий ГУНиО МО, объявленных в ИМ за год, а также перечень действующих сводных корректур к руководствам для плавания.

Приложения к нумерникам ИМ ГУНиО МО издаются с грифом “Для служебного пользования” и строятся аналогично нумерникам извещений мореплавателям.

Сводная корректура к руководствам для плавания издается с целью сокращения ручной правки в процессе приведения руководств на уровень современности по извещениям мореплавателям.

Сводная корректура содержит всю информацию, объявленную в ИМ ГУНиО МО для данного руководства после его издания или издания последнего дополнения к нему. Каждая последующая сводная корректура включает в себя все не утратившие силу данные предыдущей сводной корректуры.

Информация в сводной корректуре объявляется в таком виде, в каком она была опубликована в извещении мореплавателям.

Текст сводных корректур печатается на одной стороне листа. В конце сводной корректуры помещается список упраздненных и новых географических названий, номенклатурных терминов для корректуры алфавитных указателей руководств для плавания.

Дополнения к руководствам для плавания содержат сведения об изменениях в навигационной обстановке, появившиеся после издания соответствующего руководства.

Дополнения издаются периодически по мере накопления корректурного материала и, как правило, только для лоций. К одной лоции может быть издано несколько дополнений, которым присваиваются свои порядковые номера.

В каждое последующее дополнение, начиная с дополнения № 2, включаются все не утратившие силу сведения предыдущего дополнения.

Сведения, которые в предыдущем дополнении не публиковались, выделяются в тексте квадратными скобками. Новые сведения, заменяющие утратившие силу данные предыдущего дополнения или извещения мореплавателям совместно с указанием об исключении из лоции утративших силу данных, также выделяют-

ся в тексте квадратными скобками. Для корректуры морских карт ГУНиО МО издаются вклейки на отдельные участки карт, которые подверглись большим изменениям и не могут быть исправлены путем ручной корректуры по извещениям мореплавателей. О выходе в свет вклеек объявляется в ИМ ГУНиО МО с указанием границ, охватываемых этими вклейками.

13.3 Оперативная навигационная и гидрометеорологическая информация

Общие сведения. Наиболее важные и срочные сообщения об изменениях навигационной обстановки и режима плавания в океанах и морях передаются на корабли и суда по радио в рамках Всемирной службы навигационных предупреждений (ВСНП) в виде:

- предупреждений НАВАРЕА;
- прибрежных предупреждений (ПРИП);
- местных предупреждений.

Предупреждения НАВАРЕА передаются радиостанциями районных координаторов ВСНП в интересах обеспечения безопасности международного судоходства для кораблей и судов, находящихся в дальнем плавании. Передачи ведутся на английском языке.

Общие требования к порядку передачи предупреждений НАВАРЕА приведены в пособии "Всемирная служба навигационных предупреждений" (ГУНиО МО, № 9026).

В службе действуют следующие определения.

Навигационное предупреждение — радиосообщение, содержащее срочную информацию, относящуюся к безопасности мореплавания. Виды информации, подходящие для передачи в качестве навигационных предупреждений, приведены ниже.

Информация о безопасности мореплавания (ИБМ) — навигационные и метеорологические предупреждения, метеорологические прогнозы и другие срочные сообщения, имеющие отношение к безопасности мореплавания.

НАВАРЕА — морской географический район (рис. 13.1), установленный в целях координации передач по радио навигационных предупреждений. Термин НАВАРЕА, за которым следует римская цифра, может использоваться для краткого обозначения района.

Подрайон — часть района НАВАРЕА, в которой ряд стран установили координированную систему для передачи прибрежных предупреждений.

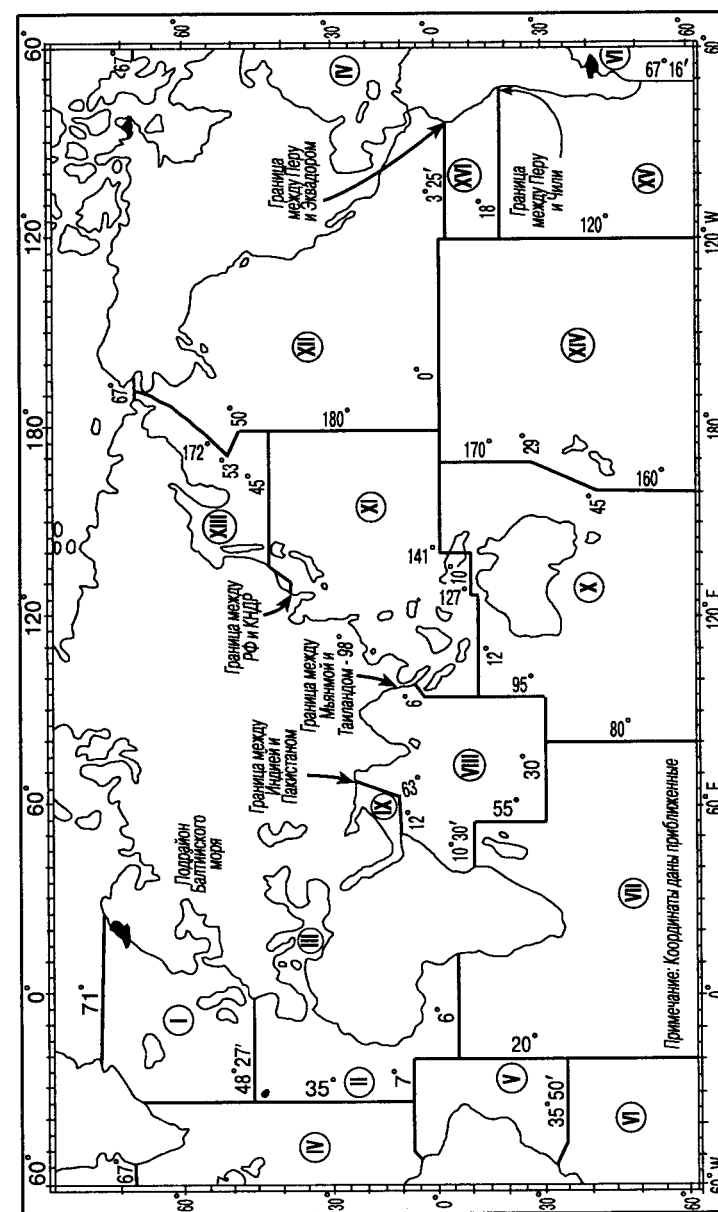


Рис. 13.1. Районы НАВАРЕА

Регион — часть района или подрайона НАВАРЕА, установленная для координации передач прибрежных предупреждений службой НАВТЕКС или Международной службой сети безопасности.

Координатор НАВАРЕА — орган, ответственный за координацию, сбор информации, составление и объявление навигационных предупреждений дальнего радиуса действия и бюллетеней предупреждений НАВАРЕА на весь район НАВАРЕА. РФ является координатором района XIII.

Предупреждение НАВАРЕА — навигационное предупреждение, объявленное координатором НАВАРЕА.

Бюллетень предупреждений НАВАРЕА — перечень порядковых номеров действующих предупреждений НАВАРЕА, составленный из предупреждений, переданных по радио координатором НАВАРЕА в течение, по крайней мере, последних шести недель.

Прибрежное предупреждение — навигационное предупреждение, содержащее относящуюся к региону информацию и объявленное национальным координатором. Прибрежные предупреждения в национальной системе могут также передаваться иными средствами, не предусмотренными ВСНП.

Местное предупреждение — навигационное предупреждение, относящееся к внутренним водам, часто ограниченными пределами юрисдикции властей гаваней или портов.

Системы передач, используемые в ВСНП. Международная конвенция по охране человеческой жизни на море 1974 г. (СОЛАС-74) установила радиосистемы для международного использования при передачах информации о безопасности мореплавания. Рассмотрим составные элементы этих радиосистем.

Международная автоматизированная служба передачи на суда навигационных и метеорологических предупреждений и срочной информации в режиме прямого буквопечатания (НАВТЕКС). Это система радиопередач на одной частоте в установленное расписанием время с автоматическим приемом и устройством, производящим отбор принимаемых, и исключение принятых ранее сообщений. Международная служба НАВТЕКС осуществляет координированную передачу и автоматический прием на частоте 518 кГц. Служба НАВТЕКС обеспечивает мореплавателей навигационными и метеорологическими предупреждениями и срочной информацией при помощи автоматического вывода их на печать со специализированного приемника. Такой приемник пригоден для использования на судах любых размеров и типов. НАВТЕКС — неотъемлемая часть Глобальной морской системы связи при бедствии и для обеспечения безопасности (ГМССББ) и является составной частью

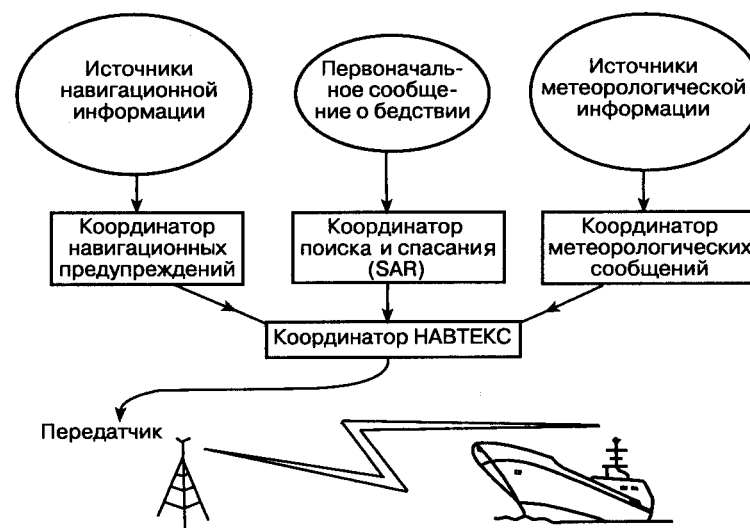


Рис. 13.2. Организационная схема службы НАВТЕКС

ВСНП. Использование НАВТЕКС регламентируется Руководством по службе НАВТЕКС (ГУНиО МО, № 9023).

Международная служба сети безопасности (расширенный групповой вызов) — специализированная спутниковая система радиопередач с автоматическим приемом и оборудованием, производящим отбор принимаемых и исключение принятых ранее сообщений. Использование службы регламентируется Руководством по Международной службе сети безопасности (ГУНиО МО, № 9026Б).

Радиотелеграфная система (КВ МОРЗЕ) — традиционный радиотелеграф, обслуживаемый оператором. Планируется к замене автоматическими системами, упомянутыми выше.

В ВСНП приняты меры для своевременного информирования мореплавателей обо всех изменениях в расписании передач. Благодаря функции избирательного исключения сообщений каждый мореплаватель имеет возможность принимать ту информацию о безопасности, которая представляет для него интерес.

Сеть безопасности (Safety NET) является международной автоматической службой спутниковой связи с прямым буквопечатанием для передачи на суда навигационных и метеорологических предупреждений, метеорологических прогнозов, других срочных сообщений, связанных с безопасностью мореплавания и информации о безопасности мореплавания (ИБМ). Она была создана как



Рис. 13.3. Организационная схема сети безопасности

служба безопасности на основе системы расширенного группового вызова (РГВ) Международной организацией морской спутниковой связи ИНМАРСАТ для обеспечения судов, находящихся в море и прибрежных водах, недорогими, простыми, автоматизированными средствами приема ИБМ. Передаваемая информация предназначена всем судам, но благодаря избирательному отбору сообщений, каждое судно имеет возможность принимать ту информацию, которая представляет для него интерес.

Сеть безопасности (рис.13.3) является составной частью Глобальной морской системы связи при бедствии и для обеспечения безопасности (ГМССББ), разработанной Международной морской организацией (ИМО) в соответствии с требованиями Международной конвенции по охране человеческой жизни на море 1974 г. (СОЛАС) с поправками 1988 г.

Информация службы сети безопасности предназначена всем судам, находящимся за пределами дальности действия службы НАВТЕКС, а также всем администрациям, ответственным за обеспечение безопасности мореплавания, и мореплавателям, которым необходима эффективная служба ИБМ в водах, не обслуживаемых службой НАВТЕКС.

Прием определенных типов сообщений, таких как сообщения о бедствии в направлении "берег—судно", метеорологических и навигационных предупреждений, является обязательным и не может быть исключен из приема. Этим сообщениям присваиваются кодовые номера службы (С): 00, 04, 14, 24, 31, 34, 4.1.

При условии охвата всего Мирового океана единственным каналом одного спутника требуется некоторая форма исключения из приема и отбора для печати различных сообщений. Вызов района принимается всеми судами в зоне действия спутника, однако сообщения распечатываются только теми приемниками, которые распознают в сообщении постоянный район или географическое местоположение. Формат сообщения включает преамбулу, которая позволяет микропроцессору в судовом приемнике выводить на печать только те сообщения ИБМ, которые относятся к настоящему местоположению судна, предполагаемому пути его следования или постоянным районам, введенным в память оператором.

Информация, передаваемая в различных видах навигационных предупреждений

А. Предупреждения НАВАРЕА

Перечень информации, передаваемой в НАВАРЕА включает в себя следующие сведения:

- 1) повреждение огней, туманных сигналов и буев, обеспечивающих плавание по основным судоходным путям;
- 2) наличие затонувших судов, представляющих опасность для плавания на основных судоходных путях или вблизи них, и, если имеется, их ограждение;
- 3) установка важных новых или значительные изменения имеющихся средств навигационного оборудования, если такая установка или изменения могут дезориентировать мореплавателей;
- 4) наличие громоздких буксирных караванов в районах интенсивного судоходства;
- 5) дрейфующие мины;
- 6) районы, в которых проводятся поисково-спасательные работы и мероприятия по ликвидации загрязнения (для обхода этих районов);

7) оповещение (по просьбе Морского спасательно-координационного центра) о терпящих бедствие морских и воздушных судах, находящихся в открытом море или над ним, не вышедших на связь в течение длительного времени или пропавших без вести;

8) наличие вновь обнаруженных скал, мелей, рифов, затонувших судов, которые могут представлять опасность для судоходства, а также их ограждение. Проведение работ по прокладке кабелей или трубопроводов, буксировка громоздких подводных объектов в целях разведки и разработки ресурсов, использование подводных аппаратов, управляемых людьми или работающих автоматически, или другие подводные работы, представляющие потенциальную опасность на судоходных путях или вблизи них;

9) установка сооружений на судоходных путях или вблизи них;

10) значительные нарушения работы радионавигационных систем;

11) информация, касающаяся особых действий, которые могут повлиять на безопасность мореплавания в некоторых случаях в обширных районах, например, военно-морские учения, ракетные стрельбы, запуск космических объектов, ядерные испытания и т. п. Такие предупреждения должны объявляться не позднее, чем за пять дней.

Б. Прибрежные предупреждения (ПРИП)

В прибрежных предупреждениях объявляется информация, которая необходима для безопасного плавания в пределах какого-либо региона. Прибрежные предупреждения обычно должны содержать информацию, достаточную для обеспечения безопасности плавания мористее подходного буя или лоцманской станции, и не должны ограничиваться информацией по основным судоходным путям. Там, где регион обслуживается службой НАВТЕКС, она должна обеспечить навигационными предупреждениями весь одобренный ИМО район обслуживания передатчика НАВТЕКС. Там, где регион не обслуживается службой НАВТЕКС, желательно включать все прибрежные предупреждения в пределах 250 миль от берега в передачи Международной службы сети безопасности. Прибрежные предупреждения должны содержать, как минимум, информацию, определенную перечнем для предупреждений НАВАРЕА.

В. Местные предупреждения

Местные предупреждения дополняют прибрежные предупреждения подробной информацией в пределах внутренних вод, включая границы гаваней или портов, которая обычно не требуется судам, совершающим переходы в открытом море.

Сведения о порядке передачи навигационных предупреждений по радио, как на отечественные, так и на зарубежные воды публикуются в Расписаниях передач навигационных предупреждений и гидрометеорологических сообщений радиостанциями на соответствующие районы.

Система навигационных предупреждений Российской Федерации предусматривает:

- 1) передачу по радио предупреждений НАВАРЕА XIII;
- 2) передачу по радио ПРИП на установленные регионы Российской Федерации;
- 3) сообщения судов.

Капитаны судов, обнаружившие или встретившие опасности для мореплавания, определенные Руководством по ВСНП, обязаны немедленно сообщить об этом ВСЕМ СУДАМ В МОРЕ по процедурам, изложенным в Регламенте радиосвязи, и компетентным властям через ближайшую береговую радиостанцию.

Береговая радиостанция Российской Федерации, принявшая такое сообщение, должна немедленно передать его указанным адресатам по соответствующим каналам связи.

В общем случае сообщения об обнаружении опасностей для мореплавания, адресованные ВСЕМ СУДАМ В МОРЕ, передаются на английском языке с использованием Стандартных фраз ИМО для общения на море, однако российскими судами, находящимися в пределах регионов Российской Федерации по передаче ПРИП, они должны передаваться и на русском языке.

Глава 14

КОРРЕКТУРА МОРСКИХ НАВИГАЦИОННЫХ КАРТ И ПОСОБИЙ

14.1 Основные принципы корректуры навигационных карт и пособий

Многие элементы навигационной обстановки и местности, изображенные на морских навигационных картах, подвержены непрерывным изменениям. Некоторые из них, например основные формы рельефа суши и дна моря, изменяются сравнительно медленно. Ряд элементов, такие, как навигационное ограждение, фарватеры, подводные и надводные опасности (затонувшие суда, буровые платформы), подвергается настолько быстрым изменениям, что исправление карт оказывается необходимым не только при их подготовке к использованию, но уже в процессе их составления.

От четкой организации системы информации судоводителей об изменениях навигационной обстановки и от поддержания карт на уровне современности в значительной мере зависит безопасность мореплавания. Несоответствие содержания карт реальной обстановке не только затрудняет решение навигационных задач, но может привести к грубым просчетам и ошибкам, а иногда и к авариям судов.

Систематическое исправление и дополнение сведений, содержащихся на морских навигационных картах, т. е. приведение их в соответствие с реальной обстановкой с целью постоянного поддержания на уровне современности, называется корректурой. Корректурой состоит из широкого комплекса специальных работ, которые начинаются с регистрации изменений, происшедших на местности, и заканчиваются нанесением информации об этих изменениях на карты.

Сбор данных об изменениях элементов содержания карт и руководств для плавания ведется постоянно. Источниками такой информации являются специальные работы гидрографических подразделений, официальные сообщения ведомств, донесения капитанов судов и лоцманов. Полученная таким образом информация проверяется, обобщается и принимается к учету.

Сведения срочного характера доводятся до мореплавателей немедленно.

Корректурой карт и руководств для плавания ведется непрерывно на всех этапах их составления, издания, хранения и использования.

14.2 Организация корректуры карт на судах

Морские навигационные карты должны выдаваться на суда откорректированными по корректурным документам на день выдачи. В период между выходом из печати и выдачей на суда карты корректируются в береговых корректорских подразделениях ГУНиО МО или электрорадионавигационных камер (ЭРНК) судовладельцев. Корректорские подразделения выполняют две основные функции:

- ведение корректурной коллекции морских карт;
- перенос корректуры с корректурной коллекции на карты, выдаваемые в пользование потребителям.

В корректурные коллекции включаются: навигационные и радионавигационные карты; каталоги карт и книг.

Экземпляры карт, находящиеся в корректурных коллекциях, называются корректурными экземплярами и они непрерывно поддерживаются на уровне современности.

Карты и руководства для плавания, выдаваемые потребителям, приводятся на уровень современности путем переноса на них корректуры с соответствующих карт и руководств корректурной коллекции. Перенос корректуры выполняется в соответствии с планом, доставляемым на основе заявок потребителей, а также при наличии свободного времени. Перенос корректуры должен быть проконтролирован квалифицированным специалистом, о чем делается запись на каждом экземпляре карты и руководства для плавания.

Корректорские отделения ЭРНК судоходных компаний осуществляют снабжение судов картами по их заявкам, поданным в письменном виде или переданным с моря по радио. Дальнейшая текущая их корректурой продолжается на судне. Обязанности по учету судовой коллекции карт и корректурных документов, а также своевременной корректуре карт по ИМ, НАВИМ, НАВИП и другой информации, переданной по радио, возлагаются на третьего помощника капитана. Капитан судна систематически осуществляет контроль за получением навигационной информации и своевременной корректурой карт.

Для облегчения и упорядочения корректуры судовая коллекция карт делится на группы.

Первая группа включает комплект карт, необходимых для обеспечения плавания судна на закрепленной для него судоходной линии или перехода между определенными портами в соответствии с очередным рейсовым заданием. К первой группе относятся также каталоги карт и книг.

Ко второй группе относятся карты, которые могут быть использованы в предстоящем плавании в случаях отклонения судна от намеченного пути, непредвиденного захода в порт-убежище и т. д.

Третья группа включает все остальные карты судовой коллекции.

Карты первой группы корректируются немедленно с получением ИМ и других корректурных документов. Корректурой их должна быть закончена до выхода судна в рейс. При краткосрочной стоянке в отечественном порту, за время которой невозможно выполнить всю корректурой, разрешается, по усмотрению капитана, производить корректурой по этапам перехода. В этом случае до выхода судна из порта должны быть приведены на уровень современности карты первой группы, обеспечивающие плавание судна до первого порта захода. Корректурой остальных карт и руководств для плавания первой группы выполняется на переходе и во время стоянок в промежуточных портах.

Корректурой карт и руководств для плавания второй группы производится после завершения корректуры первой группы. Ком-

плекты третьей группы на судне в рейсе, как правило, не корректируются, однако корректурный материал для них систематизируется в последовательности его поступления, хранится на судне и используется по необходимости при изменении рейсового задания. При стоянке судна в отечественном порту с получением рейсового задания, выполнение которого связано с необходимостью использования карт и руководств для плавания третьей группы, последние могут быть откорректированы в ЭРНК.

Корректурные документы в портах могут быть получены в инспекции портнадзора и в ЭРНК. Извещения мореплавателям выдают в инспекции портнадзора. Нумерники, сводные корректуры и дополнения к руководствам для плавания выдаются в ЭРНК. Здесь же можно получить ИМ в случае отсутствия их в портнадзоре. По данным, опубликованным в ИМ, должен быть немедленно откорректирован Каталог карт и книг и составлена заявка в ЭРНК на новые карты и руководства для плавания. Эти пособия должны быть получены до выхода судна в рейс. Необходимо также изъять из состава судовой коллекции карты и руководства для плавания, непригодные для навигационных целей.

С выходом из отечественного порта на судне должен быть организован систематический прием судовой радиостанцией навигационной информации, передаваемой по радио. Принимаются все номера НАВИМ, НАВИП, НАВАРЕА по районам следования судна. Если в районе плавания эти предупреждения не прослушиваются, должна приниматься другая навигационная информация, передаваемая на этот район иностранными радиостанциями. По мере приближения к побережью какого-либо государства необходимо принимать местные передачи.

Тексты НАВИМ, НАВИП и НАВАРЕА записываются в специальный журнал. В этом же журнале делаются пометки об использовании сообщений для корректуры и об отмене сообщений. Вместо ведения журнала разрешается подшивать бланки с принятыми сообщениями в папки для НАВИМ, НАВИП и НАВАРЕА. Отметки об использовании информации для корректуры и отмене сообщений делаются в этом случае непосредственно на самих бланках. Капитан судна просматривает все принятые по радио сообщения и передает их третьему помощнику для учета и выполнения корректуры. По радионавигационным сообщениям немедленно производится корректура карт первой группы.

На судне должны храниться подшивки ИМ в полном объеме за текущий и два прошлых года.

14.3 Корректур карт на судах

На судах корректура карт производится по постоянным, временным и предварительным ИМ, а также НАВИП и НАВАРЕА, публикуемым в отделе V еженедельных выпусков ИМ. По каждому ИМ или навигационному предупреждению карты корректируются в порядке, в котором они приведены в перечне в конце ИМ, НАВИП или НАВАРЕА. Первой корректируется карта самого крупного масштаба, по которой приводятся координаты в сообщении. На карты, изданные в системе координат, отличной от системы координат крупномасштабной карты, корректура наносится по пеленгам и расстояниям, указываемым в ИМ. На карты, не вошедшие в перечень в конце ИМ, НАВИП или НАВАРЕА, корректура не наносится.

Объявляемые в ИМ предупреждения или примечания, имеющие навигационное значение, помещаются на карте текстуально и располагаются, по возможности, под ее заголовком. Опасные из-за возможного наличия мин районы, фарватеры в них и ограждение наносятся условными обозначениями, принятыми для изображения минной обстановки. Примечания или предупреждения, относящиеся к минной обстановке, а также условные обозначения таких районов наносятся на свободных местах карты (по возможности на суше или вблизи заголовка) красной тушью (шариковой или гелевой ручкой).

Радионавигационные карты, номера которых соответствуют номерам навигационных карт и отличаются от них лишь литерами, корректируются только по тем ИМ, в которых сообщается об изменении режима работы радионавигационных систем и их параметров. Если в ИМ объявлено об изменении частотных параметров радионавигационных систем, то на радионавигационной карте должно быть помещено предупреждение, которое располагается под заголовком карты.

Вклейки к картам аккуратно вырезаются и после тщательного совмещения контрольных линий, контуров и точек наклеиваются на соответствующие места карт. Дата, которой соответствует вклейка (она, как правило, указывается под нижней рамкой вклейки), вырезается и наклеивается рядом с вклейкой на свободном месте карты.

Постоянная корректура выполняется красной тушью, корректура временного и предварительного характера, а также по НАВИП и НАВАРЕА — простым карандашом.

Из карт, подобранных на предстоящий рейс, в первую очередь корректируются карты наиболее крупного масштаба. Корректуру

карт начинают с последнего номера ИМ и продолжают в последовательности убывания номеров ИМ. Если ИМ частично изменяет или отменяет предыдущие, их следует использовать совместно. При таком порядке корректуры исключаются возможные ошибки и отпадает лишняя работа по нанесению изменений, указанных в полностью отмененных ИМ. Для удобства и ускорения корректуры карт, особенно при наличии большого количества выпусков ИМ, следует пользоваться полугодовыми (годовыми) нумерниками ИМ ГУНиО МО, а также перечнем карт, подлежащих корректуре по данному выпуску ИМ, являющимся фактически нумерником ИМ за неделю. По мере производства корректуры в выпусках ИМ обводят кружками номера карт и ИМ, по которым выполнена корректура.

С окончанием корректуры по ИМ в нижнем левом углу карты под рамкой записываются номера ИМ, по которым произведены исправления на карте. Дату последнего просмотренного выпуска и подпись ставят в табличке, помещаемой на свободном месте карты.

Важнейшей особенностью поддержания карт на уровне современности на судне в рейсе является корректура их по сообщениям об изменениях навигационной обстановки, передаваемым по радио: НАВИМ, НАВИП, НАВАРЕА. Корректура карт по этим сообщениям выполняется простым карандашом. Около выполненной корректуры указывается номер и вид радионавигационного сообщения. При замене изъятной карты на новую, необходимо перенести на нее с заменяемой карты всю корректуру, выполненную карандашом по действующим радионавигационным сообщениям, так как в береговых корректорских подразделениях карты по ним не корректируются.

В тех случаях, когда радионавигационная карта используется как путевая, на нее переносится вся корректура с навигационной карты, имеющей такой же номер, и в дальнейшем она поддерживается на уровне современности по всем ИМ, предназначенным для данной навигационной карты.

Корректура карт по иностранным источникам. При отсутствии на район плавания отечественных навигационных карт нужных масштабов судовая коллекция может быть дополнена иностранными картами. Иностранные навигационные карты могут также приобретаться при длительном пребывании судна в зарубежных водах или при направлении судна в новый район плавания, не обеспеченный картами основной судовой коллекции.

Иностранными навигационными картами разрешается пользоваться при условии систематической корректуры их по корректурным документам страны, издавшей эти карты.

При отсутствии отечественных ИМ корректура российских карт на зарубежные воды может выполняться по иностранным корректурным документам. Вблизи побережья иностранных государств и на подходах к иностранным портам большое значение для обеспечения безопасного плавания судна имеет навигационная информация, передаваемая радиостанциями этих государств. Иностранная радионавигационная информация должна использоваться также во всех случаях, когда не прослушиваются отечественные радиостанции, передающие НАВИП и НАВАРЕА (по району XIII).

При корректуре российских карт по иностранным корректурным документам и иностранных — по российским, необходимо обращать внимание на то, что карты могут быть изданы в разных системах координат. В этих случаях нанесение объектов на карты по географическим координатам допустимо лишь тогда, когда сдвиг сетки координат не выражается в масштабе карты или когда известны поправки к координатам. В остальных случаях объекты следует наносить по объявленным пеленгам и расстояниям от приметных точек местности.

14.4 Корректура руководств и пособий на судах

Корректура производится по постоянным извещениям в виде вклеек в 3-м отделе выпуска. Корректура руководств для плавания производится немедленно с получением на судно извещений мореплавателям.

При поступлении на судно дополнений к руководствам или сводных корректур надлежит произвести их сличение с руководствами и при обнаружении расхождений или пропусков в исправлениях дополнить корректуру, которая окажется необходимой.

Если дополнения к руководствам и сводные корректуры получены вместе с руководством, то необходимо всю корректуру из них перенести в это руководство. Параллельное использование руководства для плавания и дополнения к нему или сводной корректуры не разрешается.

Корректура руководств для плавания выполняется рукописно или с помощью вклеек. В каждом отдельном случае применяется наиболее удобный способ корректуры.

При рукописной корректуре все исправления вписываются аккуратно и четко красной тушью (чернилами), а по временным и предварительным ИМ — простым карандашом. Названия, номера и год издания корректурных документов, по которым внесена кор-

ректуре, записываются на полях страниц против откорректированных строк текста.

Корректурa с помощью вклеек производится в тех случаях, когда текст, подлежащий внесению или исправлению, имеет большой объем. При использовании вклеек необходимо соблюдать следующие требования и последовательность в работе:

- текст, подлежащий исправлению, аккуратно вычеркнуть красной тушью (чернилами), а при корректуре по временным и предварительным ИМ — простым карандашом;
- из извещения мореплавателям, дополнения или сводной корректуры вырезать отдельные строки, абзацы или страницы текста;
- приклеить вырезки и вкладные листы нового текста точно в те места, где вычеркнут текст. Приклеивать нужно за край к внутреннему полю страницы книги так, чтобы можно было прочесть вычеркнутый текст;
- изъять предыдущую вклейку, если ее текст отменен или заменен содержанием новой вклейки;
- записать на вклейке или около нее на полях книги ссылку на использованный номер извещения мореплавателям, например, ИМ ГУНиО МО № 500/99. Сделать отметку в листе учета корректуры, помещенном в начале книги, о произведенной корректуре.

При заполнении листа учета корректуры необходимо:

- записи делать красными чернилами аккуратно и четко;
- при внесении в текст ошибочной записи в конце ее ставится условный знак сноски, а сама запись перечеркивается синими чернилами так, чтобы ее легко можно было прочесть;
- внизу страницы за знаком сноски красными чернилами написать “Записано ошибочно” и поставить подпись и дату.

Если в книге полностью использован лист учета корректуры или он отсутствует, вклеить чистый лист бумаги, разграфленный по форме листа учета корректуры.

Кроме корректуры основного текста руководств для плавания, вносится корректурa в алфавитные указатели этих руководств. Сюда включаются объявленные в ИМ все новые и измененные названия и номенклатурные термины. Упраздненные названия вычеркиваются аккуратно красными чернилами. Для удобства корректуры алфавитных указателей руководств для плавания в конце дополнений и сводных корректур помещаются списки упраздненных, измененных и новых географических названий и номенклатурных терминов.

Если в текст руководства было внесено много новых географических названий, то во избежание перегрузки алфавитного указателя рекомендуется составить дополнительный алфавитный указатель на отдельных листах бумаги и вклеить его в конце книги.

При корректуре каталогов карт и книг исправления вносятся как в текст каталога, так и в сборные листы, на которых показываются изменения в нарезке действующих или новых карт.

Номера и нарезку изъятых карт следует аккуратно вычеркнуть из сборного листа каталога. Нарезка новых карт или изменение нарезки действующих карт на сборных листах наносится любым цветом, отличным от цвета типографской печати. Для предохранения сборных листов от излишней нагрузки корректуру на них разрешается наносить на кальке, подклеенной к сборному листу.

Каталоги карт и книг на всех судах корректируются немедленно с получением извещений мореплавателям.

14.5 Обязанности штурманского состава судов по сбору и передаче навигационной информации

Одним из источников поступления информации об изменениях навигационной обстановки, служащей основанием для составления навигационных предупреждений и извещений мореплавателям, а также для корректуры карт и руководств для плавания, являются сообщения и навигационные донесения капитанов и штурманского состава судов. Систематический сбор таких сведений — важнейшая обязанность судоводителей.

Примерный перечень сведений, необходимых для корректуры морских карт и руководств для плавания, прилагается к каждому десятому выпуску ИМ ГУНиО МО, в котором помещается также отрывной бланк навигационного донесения.

Навигационная информация по своему характеру подразделяется на внеочередную и очередную.

К внеочередной навигационной информации относятся сведения о наиболее важных изменениях навигационной обстановки, представляющих непосредственную опасность для мореплавания:

- о плавающих минах, брошенных судах, сорванных штормом буях, айсбергах и других дрейфующих объектах;
- об обнаруженных навигационных опасностях (банках, скалах, рифах, камнях, отмелях, вулканических образованиях, затонувших судах и других препятствиях для плавания), не нанесенных

на действующие навигационные карты, а также об обмелении каналов и фарватеров;

- о разрушениях или неисправностях средств навигационного оборудования, включая изменения режима работы маяков, огней, радиотехнических средств, нарушения штатных средств и т. п.;
- о неогражденных опасных для плавания объектах (буровых вышках, платформах и т. п.), находящихся вблизи путей оживленного судоходства;
- о встрече с тропическим штормом, попадании в условия, вызывающие сильное обледенение судна, а также о встрече с другими аномальными природными явлениями, представляющими опасность для мореплавания, о которых не было получено заблаговременно предупреждение;
- все другие важные сведения об изменениях навигационной обстановки, которые могут создать непосредственную угрозу безопасности плавания.

Внеочередная информация должна быть немедленно передана судовой радиостанцией всем поблизости находящимся судам. Кроме того, капитаны судов обязаны передать сообщение об обнаружении опасности для мореплавания на ближайшую береговую радиостанцию, передающую навигационные предупреждения мореплывателям, или иную береговую радиостанцию, с которой может быть установлена связь, для немедленной передачи этими радиостанциями оповещения об опасности к сведению всех мореплывателей.

К очередной навигационной информации относятся сведения, существенно уточняющие морские навигационные карты и руководства для плавания, но не представляющие непосредственной опасности для мореплавания, в том числе:

- об уточнении глубин, показанных на морских навигационных картах, особенно в слабо изученных районах, а также на участках, где глубины имеют знаки недоверности: “Положение сомнительно” (ПС), “Существование сомнительно” (СС), “По донесению”;
- о приметных объектах, данных радиолокационного опознавания местности, радиолокационных ориентирах и др.;
- о вводе в действие новых средств навигационного оборудования и режиме их работы, об изменениях ограждения в портах и гаванях;
- об изменениях в режиме плавания, новых рекомендованных курсах, указаниях и наставлениях для плавания и постановки на якорь;
- о лоцманской службе и портовых правилах, о важных объявлениях и предупреждениях, касающихся вопросов мореплавания;

- об уточнении гидрометеорологических условий плавания: течений, приливов, преобладающих ветров, туманов, ледовых условий;
- об обнаруженных расхождениях карт и руководств для плавания с местностью, не представляющих непосредственной опасности для мореплавания.

Очередная навигационная информация передается капитанами судов через береговую радиостанцию в адрес гидрографической службы или направляется по почте с приходом в российский порт.

Сведения, включаемые в сообщения и навигационные донесения, должны быть возможно более подробными и точными. В случае, когда нет уверенности в достоверности сообщаемых сведений или если эти сведения получены от лоцманов и других лиц, это должно быть оговорено в донесении. Во всех случаях указывается источник получения навигационной информации (личные наблюдения, сообщения официальных лиц, полученные документы).

Во время плавания судоводители должны постоянно отмечать обнаруженные несоответствия действующих карт и руководств для плавания с местностью. Эти сведения лучше всего показывать непосредственно на картах самого крупного масштаба (или снятых с них кальках) красной тушью (шариковой ручкой). Особое внимание следует уделять практическим указаниям, представляющим большую ценность для судоводителей, впервые посещающих данный район. Кроме личных наблюдений, ценные сведения об условиях плавания доставляют беседы с лоцманами, капитанами и штурманами других судов, с местными жителями, особенно с рыбаками, плавающими в этом районе. Новая информация о портах, гаванях, каналах должна быть, по возможности, подтверждена официальными документами администрации порта.

На картах отмечаются объекты, приметные с моря, и которые могут облегчить определение места судна, фиксируются случаи значительных невязок при определении места по береговым ориентирам, отмечаются существенные расхождения измеренных глубин с указанными на карте и другие несоответствия, имеющие значение для безопасности мореплавания.

В районах, слабо изученных в навигационном отношении, на участках, где обнаружено несоответствие действительных глубин указанным на карте, а также там, где глубины имеют знаки недоверности, рекомендуется выполнить попутно маршрутный промер с непрерывной записью глубин на эхограмме. При промере положение судна должно определяться наиболее точным из доступных в данном районе методов. Счисление пути судна между наблюдениями должно вестись самым тщательным образом со строгим учетом дрейфа, сно-

са и циркуляции судна. Прокладка при маршрутном промере обычно ведется на крупномасштабных картах. Курсы, обсервации, пеленги прокладываются на картах (кальках) карандашом.

Определение местоположения объектов желательно производить наиболее точным навигационным способом и по возможности с контролем. Направления (курсы, пеленги) следует указывать истинные. При ссылках на карты следует указывать их номера и год печати. При выполнении промера к навигационному донесению прилагают:

- выписку из судового журнала за период промера. Выписка дается от обсервации, предшествующей промеру или выполненной в начале промера, до обсервации, произведенной по окончании промера. К выписке должны быть приложены таблицы соответствия скорости судна оборотам машин, поправок компасов и лагов;
- эхограмму с записью измеренных глубин. На эхограмме в процессе измерения глубин должно быть сделано не менее двух—четырёх оперативных отметок с записью соответствующих им моментов судового времени, указано время номинального числа вспышек контрольной лампочки эхолота, измеренное по секундомеру в начале и конце промера, а также записаны диапазоны работы самописца при включении эхолота и при переключении диапазонов. На свободном месте эхограммы должны быть указаны название судна, район промера, дата, марка эхолота и углубление вибраторов (или осадка судна).

Большой интерес представляют сведения, которые дополняют карты, лоции и другие руководства для плавания новыми данными о навигационных опасностях, режиме плавания и практическими рекомендациями. Существенную помощь мореплавателям могут оказать фотографии и зарисовки характерных участков побережья и отдельных объектов, а также фотографии и зарисовки радиолокационных изображений участков местности и ориентиров. Все сведения, предназначенные для исправления и дополнения карты, текста лоции и других руководств для плавания, записываются на бланках навигационных донесений с указанием названия, адмиралтейского номера и года издания карты или руководства, в которое должна быть внесена корректура, а также страниц и строк, подлежащих исправлению.

СЧИСЛЕНИЕ ПУТИ СУДНА

Глава 15

ГРАФИЧЕСКОЕ СЧИСЛЕНИЕ ПУТИ СУДНА

15.1 Назначение, сущность и разновидности счисления

Для обеспечения безопасности судовождения необходимо в любой момент времени знать точное место судна. Для этого ведется непрерывный учет движения судна по водной поверхности, т. е. ведется счисление пути судна.

Счислением пути судна называется непрерывный учет движения судна по водной поверхности с целью определения его точного места на любой момент времени.

Сущность счисления заключается в том, что от начального места с известными координатами на морской навигационной карте прокладываются все истинные курсы, которыми шло судно, по каждому истинному курсу откладывается пройденное судном расстояние, учитываются циркуляции при изменении судном курса, там, где необходимо, учитываются влияние ветра на перемещение судна и его снос течением.

Величины, используемые для целей счисления, называются *элементами счисления*. К элементам счисления относятся:

- истинный курс и относительная скорость судна;
- направление и скорость ветра;
- направление и скорость течения;
- время плавания.

Элементы счисления определяются с помощью штурманских приборов, таблиц и других пособий по судовождению. При этом не

требуется наличия береговых ориентиров или других средств, расположенных вне судна — счисление является автономным способом определения координат судна:

- с помощью гироскопического и магнитного компасов определяются направление движения судна, его истинный курс;
- с помощью лагов определяется пройденное судном расстояние. (В тех случаях, когда лаг не работает, пройденное судном расстояние определяется по скорости и времени плавания);
- по специальным таблицам производится учет влияния ветра;
- с помощью графических построений выполняется учет сноса судна течением.

Место судна, полученное по счислению, называется *счислимым местом*; координаты счислимого места обозначаются φ_c и λ_c .

Таким образом, под счислением пути судна следует понимать совокупность всех работ, выполняемых для получения места судна на заданный момент времени по показаниям компасов, лага и морских часов с учетом влияния ветра и течения.

Счисление пути судна ведется непрерывно от начала и до конца плавания. Оно должно быть простым для выполнения, наглядным и точным. Счисление пути судна может выполняться графическим или аналитическим способом.

При графическом способе счисления на карте прокладываются линии пути судна и пройденные по ним расстояния, графически учитываются циркуляции судна, производится учет влияния ветра и течения. При этом на карте графически изображается траектория движения судна. Положительными качествами графического счисления являются его наглядность, возможность своевременного ориентирования судна относительно опасностей и возможность выбора безопасного пути.

Аналитический способ счисления заключается в расчете координат места судна по специальным формулам на заданный момент времени с последующим нанесением этого места на карту. Недостатком способа является отсутствие наглядности, преимуществом — более высокая точность.

При графическом и аналитическом способах счисление может выполняться вручную и автоматически.

При счислении вручную весь объем графических построений выполняется судоводителем вручную с помощью прокладочного инструмента и с использованием морских навигационных пособий.

Автоматическое счисление ведется специальными техническими средствами, которые, работая по показаниям штурманских

приборов, непрерывно автоматически рассчитывают счислимые координаты судна и прокладывают линию пути судна на карте.

15.2 Ручное графическое счисление

Методика ручного графического счисления без учета влияния ветра и течения. При плавании без учета влияния ветра и течения направление перемещения судна совпадает с направлением истинного курса *ИК*, а величина этого перемещения равна расстоянию, пройденному судном. Пройденное судном расстояние рассчитывается по данным лага или по скорости и времени плавания.

Графические построения на карте выполняются тонко заточенным простым карандашом средней твердости. На карту наносятся линии истинных курсов в виде прямых линий и кривые циркуляций в виде дуг окружностей. Линии должны быть аккуратными, а их толщина соответствовать толщине линий меридианов и параллелей карты.

На линиях курсов отмечаются точки начала и конца поворотов, места изменения скорости, траверзов наиболее приметных ориентиров, включения и выключения лагов, места судна на 0, 4, 8, 12, 16 и 20 часов, а также в другие моменты, предусмотренные руководящими документами по штурманской службе на судах.

Счислимые места судна обозначаются короткой чертой длиной 1 — 2 мм, перпендикулярной линии истинного курса. Возле каждого места в виде дроби пишутся время и отсчет лага (рис. 15.1).

Время отмечается с точностью до 1 мин при скорости судна менее 12 узлов и до 0,5 мин при скорости судна от 12 до 24 узлов. При скорости судна более 24 узлов время фиксируется с точностью до 0,1 мин.

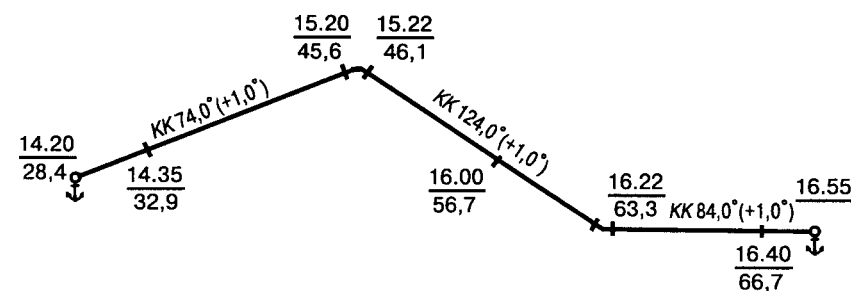


Рис. 15.1. Ручное графическое счисление

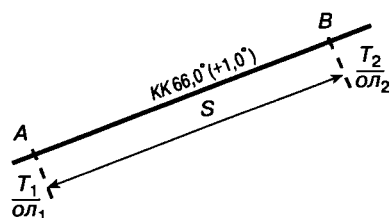


Рис. 15.2. Расчет счислимого места (задача 1)

Отсчеты лага записываются с точностью 0,1 мили. При отсутствии показаний лага возле счислимых мест записывается только время.

Вдоль линии каждого истинного курса в удобном для выполнения надписи месте записывается значение компасного курса, по которому ведется счисление, и, в круглых скобках, — поправка компаса. Места съемки и постановки судна на якорь обозначаются условными знаками в виде якоря.

При счислении пути судна без учета ветра и течения решаются две основные задачи.

Задача 1. Расчет счислимого места на заданный момент времени. Исходная точка A на момент T_1 с отсчетом лага $ол_1$ известна и нанесена на линию проложенного истинного курса (рис. 15.2).

Задача решается следующим образом:

- рассчитывается время плавания судна $t = T_2 - T_1$;
- по скорости V_0 и времени плавания t рассчитывается пройденное судном расстояние S_0 по формуле $S_0 = V_0 t$ (при заданном отсчете лага $ол_2$ пройденное судном расстояние рассчитывается по формуле $S_0 = (ол_2 - ол_1) k_{\text{л}}$;
- рассчитанное расстояние S_0 откладывается от точки A по линии истинного курса по направлению движения судна. Полученная точка является искомой точкой B .

Задача 2. Расчет времени T_2 и отсчет лага $ол_2$ прибытия судна в заданную точку B . Начальная точка A с моментом времени T_1 и отсчетом лага $ол_1$ известна (рис. 15.3).

На карте циркулем измеряют расстояние S_0 между точками A и B . По полученному расстоянию рассчитывают время t плавания от точки A до точки B и момент прихода судна в точку B :

$$t = S_0 / V_0; \quad T_2 = T_1 + t.$$

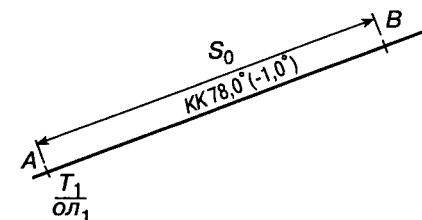


Рис. 15.3. Расчет времени и отсчета лага прибытия в заданную точку (задача 2)

По расстоянию S_0 и коэффициенту лага $k_{\text{л}}$ рассчитывают разность отсчетов лага $рол$ и отсчет лага $ол_2$ прихода судна в заданную точку B :

$$рол = S_0 / k_{\text{л}}; \quad ол_2 = ол_1 + рол.$$

По прибытии в точку B необходимо проконтролировать совпадение расчетных T_2 и $ол_2$. При несовпадении расчетных данных с фактическими производится проверка выполненных расчетов.

Как правило, на практике точка B задается не штрихом на линии истинного курса, а определенным положением судна относительно приметного ориентира, показанного на карте.

Точка B может задаваться истинным пеленгом на ориентир (рис. 15.4).

В этом случае для нахождения точки B необходимо от места ориентира на карте проложить линию истинного пеленга до пересечения с линией истинного курса. Точка пересечения линии истинного пеленга с линией истинного курса и является заданной точкой B .

Точка B может задаваться расстоянием до приметного ориентира (рис. 15.5).

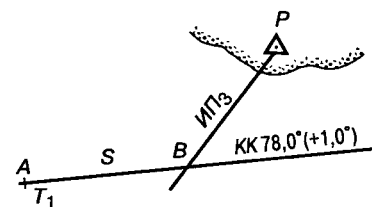


Рис. 15.4. Точка B задана истинным пеленгом на ориентир P

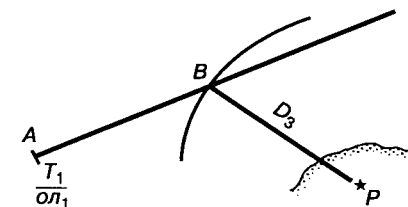


Рис. 15.5. Точка B задана расстоянием до ориентира P

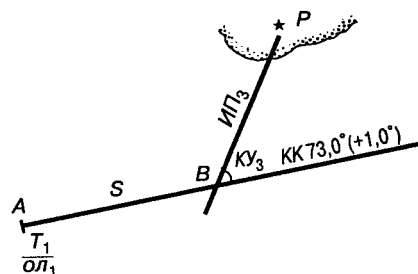


Рис. 15.6. Точка B задана курсовым углом на ориентир P

Для нахождения точки B циркулем, раствор которого соответствует заданному расстоянию, проводится дуга окружности до пересечения с линией истинного курса. Точка пересечения дуги окружности с линией истинного курса и является заданной точкой B .

Точка B может задаваться и курсовым углом на ориентир (рис. 15.6).

В этом случае для решения задачи удобнее перейти от курсового угла к пеленгу, соответствующему заданному курсовому углу, по формуле $ИП = ИК \pm КУ$ (правый борт — “+”, левый борт — “-”).

Наиболее часто точка B задается траверзом ориентира ($КУ = 90^\circ$), так как траверсы приметных ориентиров обычно назначаются как точки изменения курса или скорости судна или как точки выполнения других действий.

Циркуляция судна и ее учет при графическом счислении. При изменении курса под действием переложения руля или машин центр тяжести судна движется по криволинейной траектории. Криволинейная траектория, по которой движется центр тяжести судна под действием переложения руля или машин, называется *циркуляцией*.

Циркуляция имеет вид сложной кривой (рис. 15.7). При переключке руля в точке A судно некоторое время продолжает движение прежним курсом и лишь незначительно смещается в сторону, противоположную повороту.

Этот промежуток времени называется *мертвым промежутком*. В точке B судно начинает изменять свой курс. В начале изменения курса циркуляция имеет переменную кривизну и называется поэтому *неустановившейся циркуляцией*. Начиная с точки C кривая циркуляции превращается в окружность и называется *установившейся циркуляцией*.

Во время циркуляции носовая часть диаметральной плоскости судна направлена внутрь кривой циркуляции и составляет с кас-

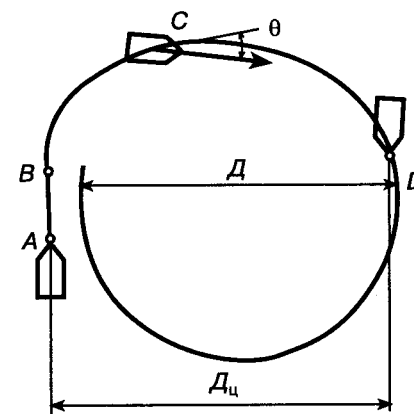


Рис. 15.7. Циркуляция судна

тельной к циркуляции угол $\Theta_{ц}$, который называется *углом дрейфа на циркуляции*.

В точке D судно изменит первоначальный курс на 180° . Расстояние между линией первоначального курса и линией курса судна после его изменения на первые 180° называется *тактическим диаметром циркуляции* $D_{ц}$.

Диаметр окружности, по которой движется центр тяжести судна в период установившейся циркуляции, называется *диаметром установившейся циркуляции* D .

Время, в течение которого судно изменяет свой курс на первые 180° , называется *полупериодом циркуляции* t_{180} .

Для учета циркуляции при графическом счислении пути судна используются тактический диаметр циркуляции $D_{ц}$ и полупериод циркуляции t_{180} . Тактический диаметр циркуляции зависит от длины судна, его ширины, площади руля и от величины угла переключки руля. От скорости судна тактический диаметр циркуляции зависит незначительно.

Полупериод циркуляции t_{180} зависит от угла переключки руля и от скорости судна.

Тактический диаметр циркуляции и полупериод циркуляции для различных скоростей и углов переключки руля определяются в период скоростных испытаний и сводятся в таблицу циркуляции.

При графическом учете циркуляции делаются два допущения:

1) сложная кривая циркуляции заменяется окружностью, радиус которой $R_{ц} = D_{ц}/2$;

2) курс судна в процессе поворота изменяется равномерно. При графическом способе учета кривая циркуляции наносится на кар-

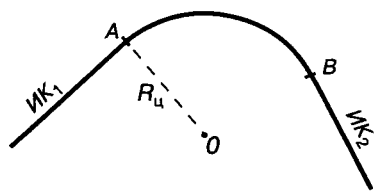


Рис. 15.8. Учет циркуляции (задача 1)

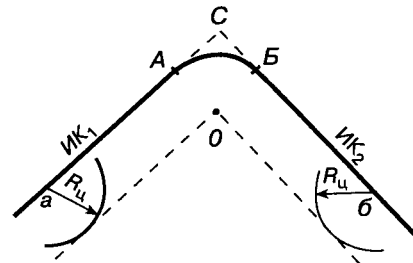


Рис. 15.9. Учет циркуляции (задача 2)

ту с помощью циркуля. Точки начала и конца поворота находят графическим способом. При этом возможно решение двух задач.

Задача 1. По известной точке начала поворота и заданному значению нового курса найти точку конца поворота.

На линии первоначального истинного курса $ИК_1$ (рис. 15.8) отмечается точка A начала поворота.

Из точки A восстанавливается перпендикуляр в сторону изменения курса. Откладывая по перпендикуляру радиус циркуляции $R_{ц}$, получают точку O — центр окружности циркуляции. Из точки O радиусом $R_{ц}$ от точки A проводится дуга окружности AB , которая представляет собой линию пути судна при циркуляции.

Касательно к этой дуге окружности проводится линия нового истинного курса $ИК_2$. Точка касания B будет точкой конца поворота, из которой и прокладывают линию нового истинного курса. Для оформления прокладки на карте в точках начала A и конца B поворота отмечают время и отсчет лага.

Задача 2. По известному начальному истинному курсу $ИК_1$ и заданной линии нового курса $ИК_2$ определить точки начала и конца поворота (рис. 15.9).

Для решения задачи линии истинных курсов $ИК_1$ и $ИК_2$ продолжают до пересечения их в точке C . Из произвольной точки a на линии $ИК_1$ радиусом, равным $R_{ц}$, проводится дуга окружности. Касательно к этой дуге окружности проводится линия, параллельная линии $ИК_1$. Аналогичное построение выполняется и на линии $ИК_2$.

Точка O пересечения касательных будет центром окружности циркуляции. Из точки O радиусом $R_{ц}$ проводится дуга окружности. Точки касания этой дуги с линиями $ИК_1$ и $ИК_2$ являются точками начала и конца поворота.

15.3 Графическое счисление с учетом дрейфа

Дрейф судна. Перемещающиеся при ветре массы воздуха оказывают давление на надводную часть корпуса судна. Под действием этого давления судно смещается с линии намеченного истинного курса, изменяется и скорость его движения.

Отклонение судна от намеченной линии истинного курса под влиянием ветра называется *дрейфом судна*.

Направление (курс) K_W и скорость кажущегося ветра W измеряются на ходу судна с помощью анемометра и компаса. При этом за курс ветра принимают то направление, откуда дует ветер.

Наблюдаемый (кажущийся) ветер $\vec{W}$ является геометрической суммой истинного ветра $\vec{U}$ и курсового ветра $\vec{V}$.

Курсовой ветер возникает от движения судна и направлен навстречу движению. Его скорость равна скорости судна (рис. 15.10).

Под действием кажущегося ветра $\vec{W}$ возникает аэродинамическая сила P , приложенная к центру парусности надводного борта судна. Направление этой силы отклоняется от направления кажущегося ветра в сторону траверза на угол γ (рис. 15.11).

Силу P можно разложить на две составляющие:

P_x — силу, направленную по диаметральной плоскости судна (по направлению линии истинного курса);

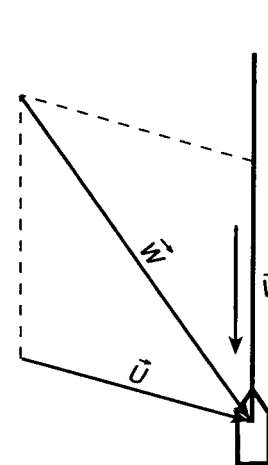


Рис. 15.10. Определение наблюдаемого ветра

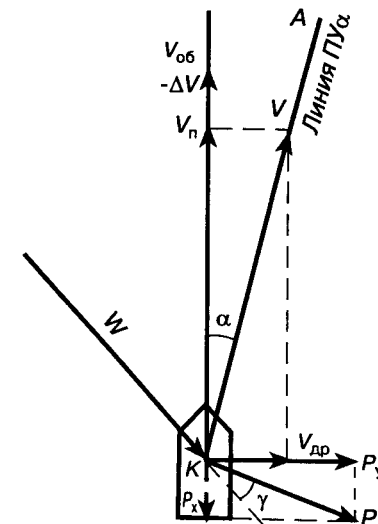


Рис. 15.11. Действие ветра на судно

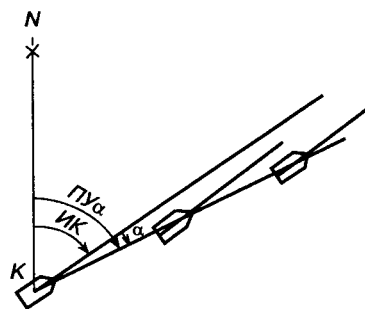


Рис. 15.12. Перемещение судна по линии пути при дрейфе

P_y — силу, направленную по перпендикуляру к диаметральной плоскости судна (перпендикулярно к линии ИК).

Сила P_x , действуя по направлению диаметральной плоскости судна, изменяет его скорость. В зависимости от направления силы P_x скорость судна может или уменьшиться, или увеличиться. Изменение скорости, вызванное силой P_x , учитывается лагом. Следовательно, учитывать изменение скорости от воздействия P_x нужно только в тех случаях, когда лаг не работает.

Таким образом, в результате воздействия силы P_x судно будет перемещаться по линии истинного курса не со скоростью, соответствующей заданной частоте вращения винтов, а со скоростью, которую покажет лаг: $V_{\text{л}} = V_{\text{об}} + \Delta V$.

Сила P_y , действующая по направлению, перпендикулярному линии ИК, вызовет смещение судна в этом направлении со скоростью дрейфа $V_{\text{др}}$.

Таким образом, судно участвует в двух движениях:

- движении по направлению истинного курса со скоростью $V_{\text{л}}$;
- движении по направлению, перпендикулярному линии истинного курса, со скоростью $V_{\text{др}}$.

В результате сложения этих двух движений судно будет перемещаться по линии КА. Линия фактического перемещения судна с учетом дрейфа называется *линией пути при дрейфе*.

Угол между линией истинного курса и линией пути при дрейфе называется *углом дрейфа* α (рис. 15.12).

Путевой угол судна — это угол $ПУ_{\alpha}$ между северной частью истинного меридиана и линией пути судна, измеряемый в полукруговой системе счета:

$$\begin{aligned} ПУ_{\alpha} &= ИК + \alpha; \\ ИК &= ПУ_{\alpha} - \alpha; \\ \alpha &= ПУ_{\alpha} - ИК. \end{aligned} \quad (15.1)$$

Формулы алгебраические, угол дрейфа в них учитывается со своим знаком. Если ветер дует в левый борт судна, то угол дрейфа α имеет знак “плюс” (+). Если ветер дует в правый борт судна, то угол α имеет знак “минус” (−).

Величина угла дрейфа зависит от скорости и курсового угла кажущегося ветра, скорости судна, его осадки и площади надводной части корпуса.

Понятие об основных способах определения угла дрейфа.

Измерение угла дрейфа с помощью двухкоординатного лага (лага-дрейфомера). При наличии на судне двухкоординатного индукционного лага (лага-дрейфомера), угол дрейфа α может быть измерен с его помощью.

С помощью индукционного лага-дрейфомера определяются продольная и поперечная составляющие скорости судна V_x и V_y . Угол дрейфа α и скорость судна по линии пути V рассчитываются по следующим формулам:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{V_y}{V_x}; \quad V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}.$$

Определение угла дрейфа по пеленгам и расстояниям до свободно плавающего предмета. Для применения этого способа необходимо иметь в видимости с судна свободно плавающий предмет с малым собственным дрейфом, до которого можно измерять расстояние.

Судно следует истинным курсом с расчетом пройти вблизи плавающего предмета. Измеряются пеленги на предмет и дистанции до него. В момент каждого измерения замечаются время T и отсчет лага $ол$ (рис. 15.13).

На чистом листе бумаги или на свободном месте карты от произвольной точки, которая принимается за место предмета, прокладываются линии рассчитанных ОИП. Вдоль каждой проложенной линии в выбранном масштабе откладываются измеренные расстояния. Полученные точки K_1 , K_2 и т. д. являются местами судна относительно плавающего предмета.

Проведя через полученные точки прямую линию, получают линию пути. Измерив ее направление относительно меридиана, получают $ПУ_{\alpha}$. Угол дрейфа

$$\alpha = ПУ_{\alpha} - ИК.$$

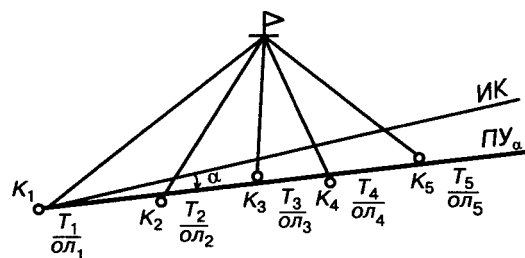


Рис. 15.13. Определение угла дрейфа по пеленгам и расстояниям

Скорость судна по линии пути

$$V = \frac{K_1 K_4}{T_4 - T_1}.$$

Изменение скорости в результате действия ветра рассчитывается по формуле

$$\Delta V = V_{об} - V.$$

Полученный угол дрейфа α свободен от влияния течения, так как течение одинаково влияет как на судно, так и на плавающий предмет. Для получения удовлетворительных результатов достаточно сделать пять — семь измерений.

Если в качестве предмета взять неподвижный ориентир, то полученный угол дрейфа будет искажен влиянием течения. Разность путевого угла и истинного курса в этом случае будет отражать совместное влияние ветра и течения.

Определение угла дрейфа по трем пеленгам на один ориентир. Для определения угла дрейфа этим способом измеряются три пеленга на один плавающий предмет. В момент измерения каждого пеленга замечается время. Рассчитываются промежутки времени между моментами измерения пеленгов по следующим формулам:

$$t_1 = T_2 - T_1; \quad t_2 = T_3 - T_4.$$

На чистом листе бумаги или на свободном месте карты из произвольной точки A прокладываются измеренные истинные пеленги (рис. 15.14).

Из произвольной точки a_1 на линии первого пеленга прокладывается линия истинного курса. По линии истинного курса от точки a_1 откладываются отрезки, пропорциональные промежуткам

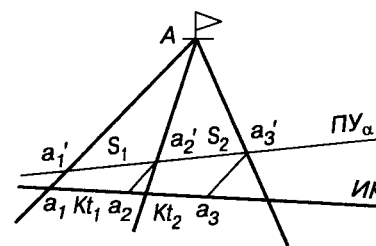


Рис. 15.14. Определение угла дрейфа по трем пеленгам (общий случай)

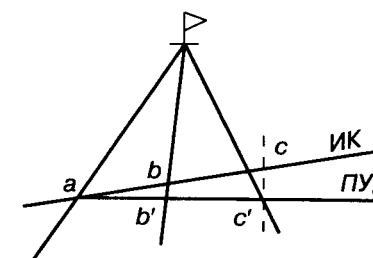


Рис. 15.15. Определение угла дрейфа по трем пеленгам (равные промежутки времени)

времени между моментами измерения пеленгов: $a_1 a_2 = kt_1$, $a_2 a_3 = kt_2$, где k — произвольный постоянный коэффициент. Через полученные точки a_2 и a_3 проводятся линии, параллельные первому пеленгу, до пересечения с линиями второго и третьего пеленгов в точках a'_2 и a'_3 . Соединив полученные точки a'_2 и a'_3 , получают линию, параллельную линии пути с учетом дрейфа.

Измерив направление этой линии, получают $ПУ_\alpha$. Угол дрейфа

$$\alpha = ПУ_\alpha - ИК.$$

Действительно, при движении судна постоянными курсом и скоростью отрезки пройденных судном расстояний S_1 и S_2 должны быть пропорциональны промежуткам времени t_1 и t_2 . Из рис. 15.14 видно, что прямые $a_1 a'_1$, $a_2 a'_2$ и $a_3 a'_3$ параллельны друг другу, следовательно,

$$S_1/kt_1 = S_2/kt_2 \text{ или } S_1/S_2 = kt_1/kt_2 = t_1/t_2.$$

Решение задачи упрощается, если пеленги измерять через равные промежутки времени (рис. 15.15).

В этом случае за равные промежутки времени судно проходит равные расстояния. Для решения задачи из произвольной точки a на линии первого пеленга проводится линия истинного курса. По линии истинного курса от точки b откладывается отрезок bc , равный отрезку ab . Через полученную точку c проводится линия, параллельная линии среднего пеленга, до пересечения с третьим пеленгом в точке c' .

Соединив точки a и c' , получают линию, параллельную линии пути. При таком построении $ab' = b'c'$, т. е. за равные промежутки

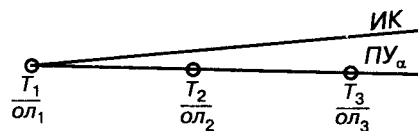


Рис. 15.16. Определение угла дрейфа по наблюдениям

времени судно проходит равные расстояния. Измерив направление полученной линии, получают путь судна с учетом дрейфа $ПУ_\alpha$. Угол дрейфа

$$\alpha = ПУ_\alpha - ИК.$$

Определение угла дрейфа по наблюдениям. Способ применяется при плавании в видимости берега, когда имеется возможность точно определить место судна по наблюдениям ориентиров и когда в районе плавания отсутствует течение.

Определение места судна по наблюдениям береговых ориентиров называется обсервацией.

При движении судна заданным истинным курсом по наблюдениям береговых ориентиров выполняется ряд обсерваций (рис. 15.16).

Соединив полученные точки прямой линией, получают линию пути. Измерив транспортиром ее направление, получают $ПУ_\alpha$. Угол дрейфа

$$\alpha = ПУ_\alpha - ИК.$$

Для определения изменения скорости ΔV рассчитывается скорость по линии пути (путевая скорость)

$$V = K_1 K_2 / (T_3 - T_1).$$

Если места судна при их определении окажутся не на одной прямой, то через них проводится осредненная прямая линия, которая и принимается за линию пути.

Недостатком способа является то, что при наличии в районе плавания течения угол дрейфа α будет искажен влиянием сноса судна течением.

Предвычисление угла дрейфа. На основании исследований действия ветра на судно получены формулы для расчета угла дрейфа. Наиболее простой и теоретически обоснованной является формула, предложенная отечественным ученым Н.Н. Матусевичем:

$$\alpha = k \left(\frac{W}{V} \right)^2 \sin q_W, \quad (15.2)$$

где α — угол дрейфа, град; W — скорость кажущегося (наблюденного) ветра, м/с; V — скорость судна, уз; q_W — курсовой угол кажущегося (наблюденного) ветра, град; k — коэффициент дрейфа.

При известном коэффициенте дрейфа k угол дрейфа может быть рассчитан для любых значений W , V и q_W . Значения этих величин легко определяются на судне. Коэффициент дрейфа может быть рассчитан на основе изучения аэродинамических и гидродинамических характеристик судна. Такой расчет производится при испытании моделей в процессе создания данного типа судна.

Коэффициент дрейфа k также может быть определен по результатам определения угла дрейфа α . В выражении (15.2) величина угла дрейфа определяется одним из рассмотренных способов, а величина $(W/V)^2 \sin q_W$ рассчитывается по значениям составляющих, измеренных на судне. В результате

$$k = \frac{\alpha}{\left(\frac{W}{V} \right)^2 \sin q_W}. \quad (15.3)$$

Единичное определение коэффициента дрейфа k является неточным. Для повышения точности k определяется из многократных наблюдений, по результатам которых рассчитывается его среднее значение.

Полученный коэффициент дрейфа используется в дальнейшем для расчета угла дрейфа α при плавании судна.

Для облегчения расчета угла дрейфа при счислении используются таблицы и графики углов дрейфа. Наибольшее распространение получила таблица дрейфа (табл. 15.1).

Учет дрейфа при счислении. Графическое счисление пути судна с учетом дрейфа на карте начинают с прокладки линии истинного курса из точки начала учета дрейфа в виде короткой стрелки. Далее одним из способов определяется угол дрейфа и рассчитывается путевой угол. Линия пути также прокладывается из точки начала учета дрейфа. Все пройденные судном расстояния откладываются по линии пути.

Вдоль линии пути со стороны, противоположной стрелке истинного курса, надписываются величины компасного курса ($КК$), поправки компаса и угла дрейфа (рис. 15.17).

Таблица 15.1. Таблица углов дрейфа, град(вариант)

q_w , град	W , м/с/ V , уз										
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
0–180	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10–170	0,0	0,0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
20–160	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,7	0,9	1,0	1,2	1,3	1,5
30–150	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1
40–140	0,3	0,5	0,9	1,3	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8
50–130	0,4	1,0	1,4	1,9	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,7
60–120	0,6	1,4	1,9	2,4	3,0	3,2	3,5	3,8	4,2	4,6	4,9
70–110	1,0	1,8	2,4	3,0	3,7	2,9	4,2	4,5	4,8	5,2	5,5
80–100	1,6	2,2	2,8	3,5	4,2	4,6	5,0	5,5	5,9	6,3	7,2
90	2,0	2,7	3,3	4,0	5,0	5,5	6,2	7,0	8,0	9,0	9,9

Моменты начала и окончания учета дрейфа документируются в судовом журнале с указанием направления и силы ветра.

При графическом счислении с учетом дрейфа решаются две типовые задачи.

Задача 1 (прямая). Расчет путевого угла по заданному истинному курсу, скорости судна, направлению и скорости кажущегося ветра.

По истинному курсу $ИК$ и направлению кажущегося ветра K_W рассчитывается курсовой угол кажущегося ветра q_W :

$$q_W = K_W - ИК. \quad (15.4)$$

По скорости кажущегося ветра W , м/с, и скорости судна V , уз, рассчитывается отношение W/V .

По значениям W/V и q_W из таблицы дрейфа выбирается величина угла дрейфа α . По наименованию курсового угла ветра q_W

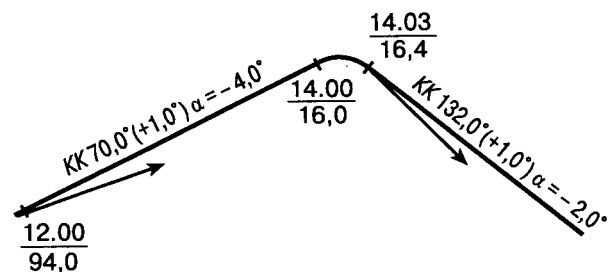


Рис. 15.17. Счисление с учетом дрейфа

определяется знак угла дрейфа. Далее рассчитывается путевой угол $ПУ_\alpha = ИК + \alpha$ и проводится линия пути.

Задача 2 (обратная). Расчет компасного курса для следования судна по заданной линии пути с определенной скоростью при данном направлении и скорости ветра.

Для решения задачи учета дрейфа необходимо знать курсовой угол кажущегося ветра. Поскольку истинный курс неизвестен (его еще предстоит определить), то и точное значение курсового угла кажущегося ветра рассчитать невозможно. Поэтому в таблицу дрейфа входят с его приближенным значением, которое рассчитывается по формуле $q_W \approx K_W - ПУ_\alpha$.

В соответствии со знаком q_W определяют знак угла дрейфа и рассчитывают истинный курс судна:

$$ИК = ПУ_\alpha - \alpha.$$

Далее рассчитывают компасный курс, который и задают рулевому:

$$КК = ИК - \Delta К.$$

Следует учитывать, что при больших углах дрейфа ($\alpha > 5^\circ$) пройденное расстояние будет корректнее откладывать по линии истинного курса с последующим переносом полученной точки на линию пути по перпендикуляру к линии истинного курса.

Если при решении задач графического счисления с учетом дрейфа точка на поверхности Земли задана истинным пеленгом (курсовым углом) на приметный ориентир, то необходимо от места ориентира проложить заданный (расчетный) истинный пеленг до пересечения его с линией пути. Точка пересечения и будет заданной точкой. При решении этой задачи важно помнить, что расстояние до ориентира в момент траверза не является кратчайшим расстоянием. Кратчайшим расстоянием до ориентира является расстояние по перпендикуляру от ориентира до линии пути.

Если точка задана расстоянием до приметного ориентира, то из места ориентира радиусом, равным заданному расстоянию, проводится дуга окружности до пересечения с линией пути. Точка пересечения является заданной точкой.

15.4 Графическое счисление с учетом течения

Классификация течений, источники сведений о течениях. Водные массы океанов и морей находятся в непрерывном движении. Горизонтальное перемещение водных масс называется течением. Течение характеризуется направлением (курсом) течения K_T и его скоростью V_T .

В зависимости от устойчивости направления и скорости течения делятся на постоянные, периодические и непериодические.

Постоянными называются течения, направление и скорость которых длительное время остаются постоянными.

Периодическими называются течения, направление и скорость которых изменяются с определенным периодом. К таковым относятся приливные течения.

Непериодическими называются течения, направление и скорость которых изменяются незакономерно. К непериодическим течениям можно отнести ветровые течения, вектор скорости которых зависит от направления и скорости ветра.

Данные об элементах течения (его направлении и скорости) выбирают из атласов течений, которые издаются для различных районов Мирового океана. Для отдельных районов со значительными приливными течениями издаются таблицы течений. Приблизительные сведения о течениях можно получить в лощиях морей.

Влияние течения на движущееся судно. При плавании в районе, в котором имеется течение, судно участвует в двух движениях:

- в движении относительно масс воды по направлению истинного курса со скоростью V_0 . Эту скорость будет показывать относительный лаг;
- в движении вместе с массами воды по направлению K_T и со скоростью течения V_T .

Результирующее движение является геометрической суммой этих двух движений. Для получения суммарного движения производится геометрическое сложение двух векторов $\vec{V}_0$ и $\vec{V}_T$. Для этого на карте прокладывается линия истинного курса $ИК$, на которой откладывается вектор скорости судна $\vec{V}_0$. Из конца этого вектора прокладывается линия по направлению течения K_T , по которой откладывается вектор скорости течения $\vec{V}_T$. Соединив начало вектора $\vec{V}_0$ с концом вектора $\vec{V}_T$, получают вектор суммарного перемещения судна с учетом течения (рис. 15.18).

Вектор суммарного перемещения судна с учетом течения называется *путевой скоростью* $\vec{V}$. Треугольник KAB , образованный

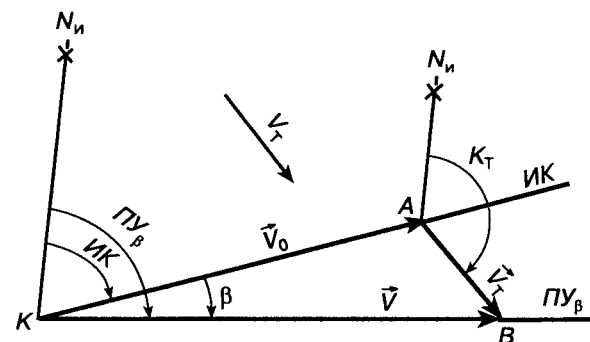


Рис. 15.18. Скоростной треугольник

векторами скоростей $\vec{V}_0$, $\vec{V}_T$ и $\vec{V}$, называется *скоростным треугольником*.

Линия KB , по которой фактически перемещается судно с учетом течения, называется *линией пути при течении*. Угол $\angle K$ между северной частью истинного меридиана и линией пути при течении называется *путевым углом при течении*.

Угол между линией истинного курса и линией пути при течении называется *углом сноса* β . Угол сноса измеряется в полукруговой системе счета и рассчитывается по формуле

$$\beta = \angle K - \angle A. \quad (15.5)$$

Формула (15.5) алгебраическая, в ней следует учитывать знак угла β , который имеет знак “плюс” (+), если течение направлено в левый борт судна и знак “минус” (−), если течение направлено в правый борт.

Учет постоянного течения при графическом счислении. При графическом счислении по относительному лагу решают две типовые задачи.

Задача 1 (прямая). Расчет пути и путевой скорости при учете течения.

По истинному курсу $ИК$, скорости судна V_0 и элементам течения K_T и V_T необходимо определить путь судна и путевую скорость V .

Из точки K , начала учета постоянного течения, прокладывается линия истинного курса $ИК$ (рис. 15.19).

На этой линии от точки K откладывается вектор скорости судна $\vec{V}_0$. Из конца вектора скорости судна (точка A) прокладывается ли-

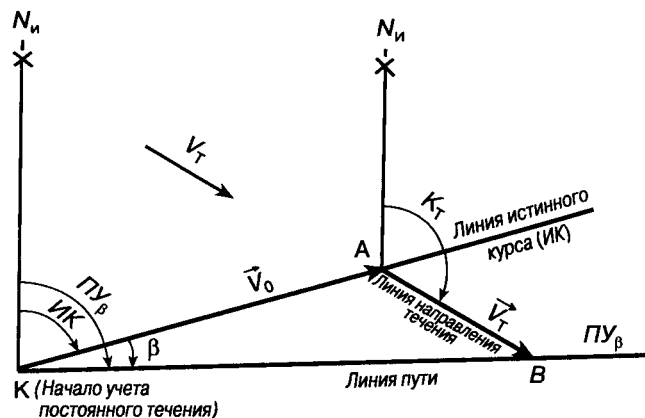


Рис. 15.19. Определение пути при течении

ния K_T направления течения, по которой откладывается вектор скорости течения $\vec{V}_T$. Соединив точку K с концом вектора скорости течения (точкой B), получают линию пути. Измерив направление линии пути KB транспортиром, получают путь судна с учетом течения $ПУ_{\beta}$. Величина отрезка KB является вектором путевой скорости $\vec{V}$. Угол сноса рассчитывается по формуле (15.5).

Задача 2 (обратная). Расчет компасного курса для следования по заданной линии пути при течении.

По заданному пути с учетом течения $ПУ_{\beta}$, известным скорости судна V_0 , элементам течения K_T , V_T и поправке компаса $\Delta ГК$ следует определить необходимый компасный курс.

Из точки K начала учета течения прокладывается заданная линия пути $ПУ_{\beta}$ (рис. 15.20). Из этой же точки прокладывается линия по направлению течения K_T , по которой откладывается величина скорости течения $\vec{V}_T$. Из конца вектора течения (точка A) радиусом, равным скорости судна V_0 , делается засечка на линии пути (точка B). Линия AB параллельна направлению истинного курса $ИК$. С помощью параллельной линейки по направлению линии AB из точки K проводится линия истинного курса. Направление $ИК$ этой линии измеряется с помощью транспортира. Угол β рассчитывается по формуле (15.5). Рассчитанное далее значение компасного курса $KK = ИК - \Delta ГК$ задается рулевому.

Как видно из построений при решении рассмотренных задач, далее графически решается выражение $\vec{V} = \vec{V}_0 + \vec{V}_T$.

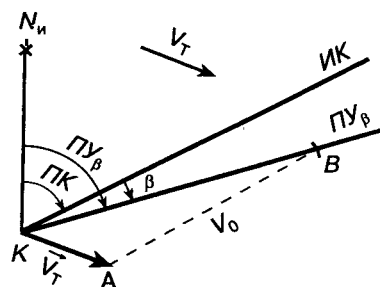


Рис. 15.20. Определение компасного курса

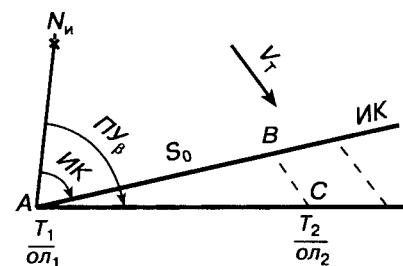


Рис. 15.21. Расчет координат текущего места судна

Относительный лаг измеряет пройденное судном расстояние по направлению истинного курса и течения не учитывает. Поэтому при ведении графического счисления с учетом течения, пройденное судном расстояние откладывается по линии истинного курса, а затем полученное место переносится на линию пути по направлению течения. При этом решаются следующие типовые задачи.

Задача 3. Расчет координат текущего места судна.

Исходная точка A на момент T_1 , отсчет лага $ол_1$, истинный курс $ИК$, скорость судна V_0 , элементы течения K_T и V_T известны.

При необходимости определить координаты судна следует заметить время T_2 по морским часам, а по репитеру лага заметить его отсчет $ол_2$.

Рассчитывается пройденное судном расстояние

$$S_0 = (ол_2 - ол_1) k_{\Delta}.$$

Для контроля рассчитывается расстояние и по времени плавания: $S_0 = V_0 (T_2 - T_1)$.

Расстояния, рассчитанные по лагу и по времени, должны сходиться. При получении расхождения в расстояниях следует проверить расчеты и исключить возможную ошибку.

Полученное расстояние S_0 откладывается по линии истинного курса (рис. 15.21). Из полученной вспомогательной точки B проводится линия, параллельная направлению течения, до пересечения с линией пути. Точка пересечения C и будет искомой точкой текущего места судна C . Возле нее записывают время T_2 и $ол_2$. При необходимости с карты могут быть измерены счислимые географические координаты ϕ_c и λ_c этой точки.

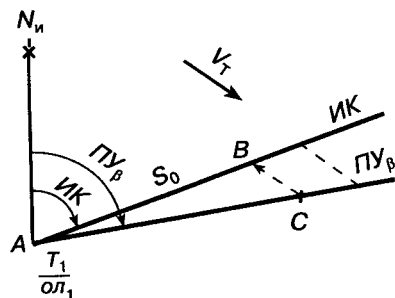


Рис. 15.22. Расчет момента прихода судна в заданную точку

Аналогичным образом решается задача предвычисления координат на любой заданный момент времени. Так как в этом случае отсчет лага неизвестен, пройденное расстояние рассчитывают по времени и назначенной скорости плавания:

$$S_0 = V_0 (T_2 - T_1).$$

Задача 4. Предвычисление отсчета лага и времени прибытия судна в заданную точку.

Исходное место A на момент времени T_1 и отсчет лага $ол_1$, истинный курс $ИК$ и скорость V_0 , а также элементы течения K_T и V_T известны.

Для решения из заданной точки C проводится линия, параллельная вектору течения, в противоположную сторону до пересечения с линией истинного курса в точке B (рис. 15.22).

Далее с помощью циркуля измеряется длина отрезка AB , которая соответствует относительному расстоянию S_0 . Именно это расстояние предстоит пройти судну, чтобы с учетом течения оказаться в заданной точке C . Далее рассчитываются время плавания t и момент T_2 :

$$t = S_0 / V_0; \quad T_2 = T_1 + t.$$

Рассчитываются разность отсчетов лага $рол$ и отсчет лага $ол_2$:

$$рол = S_0 / k_{л}; \quad ол_2 = ол_1 + рол.$$

При фактическом прибытии судна в точку C зафиксированные время и отсчет лага сличаются с расчетными.

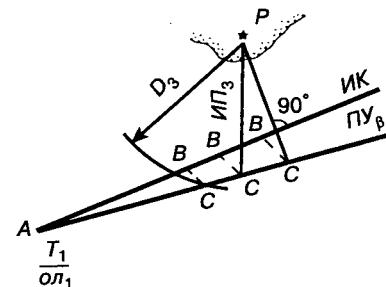


Рис. 15.23. Определение заданной точки дистанцией, пеленгом и траверзом

Решение рассмотренных задач имеет особенности, если точка C задается пеленгом на приметный ориентир или дистанцией до него.

Если точка C задана дистанцией до приметного ориентира, то от него как из центра окружности радиусом, равным заданной дистанции D_3 , проводят дугу окружности до пересечения с линией пути. Точка пересечения будет заданной точкой C (рис. 15.23).

Если точка C задана пеленгом на ориентир, то для ее нахождения нужно заданный пеленг $ИП_3$ проложить от центра ориентира до пересечения с линией пути (см. рис. 15.23).

Если точка C задана траверзом, то необходимо из центра ориентира опустить перпендикуляр на линию истинного курса и продолжить его до линии пути. Точка на линии пути будет заданной точкой C (см. рис. 15.23).

При счислении пути судна с учетом течения на карте обязательно прокладываются две линии: линия истинного курса и линия пути при течении (рис. 15.24).

По линии истинного курса откладываются пройденные судном расстояния S_0 , рассчитанные по лагу или по скорости и времени плавания. Полученные точки переносятся на линию пути по направлению течения.

Все надписи делаются вдоль линии пути: записывается компасный курс, поправка компаса и угол сноса β . У точек, означающих места судна, подписывается время и отсчет лага.

При каждом изменении курса или скорости заново выполняются графические построения для определения нового угла сноса β . Новый угол сноса β рассчитывается и при изменении элементов течения K_T или V_T . Моменты начала и конца учета течения фиксируются в судовом журнале с указанием учитываемых элементов течения и источника сведений о течении.

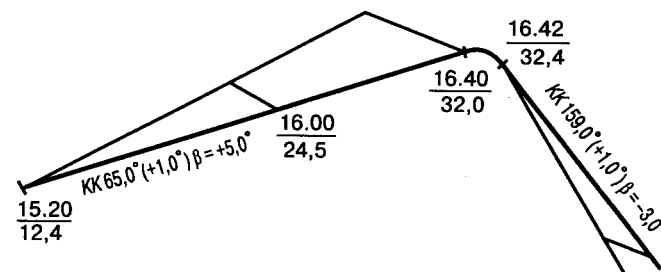


Рис. 15.24. Графическое счисление с учетом течения

15.5 Совместный учет дрейфа и течения

Как правило, в открытых районах морей и океанов на судно одновременно действуют и ветер и течение. Возникает задача совместного учета дрейфа и течения. В этом случае решение рассмотренных ранее прямой и обратной задач графического счисления имеет особенности.

Задача 1. Расчет пути судна при совместном учете дрейфа и течения.

По известным истинному курсу $ИК$, скорости судна V_0 , элементам кажущегося ветра K_W , W и элементам течения K_T и V_T требуется определить путь судна $ПУ$.

Предварительно по известным элементам движения судна и элементам ветра рассчитываются курсовой угол кажущегося ветра $KУ_W = K_W$ и отношение скоростей W/V_0 . По этим данным из таблицы углов дрейфа выбирается угол дрейфа α и определяется его знак.

Рассчитывается путь судна при дрейфе $ПУ_\alpha = ИК + \alpha$.

По рассчитанному направлению прокладывают линию пути при дрейфе и на ней строят скоростной треугольник.

Из точки начала совместного учета дрейфа и течения A по линии пути прокладывается вектор скорости судна AB , рассчитанный по показаниям лага $V_{Л}$ (рис. 15.25).

Из полученной точки B на линии $ПУ_\alpha$ прокладывается направление течения, по которому откладывается вектор скорости течения $\vec{V}_T$. Соединив начальную точку A с концом вектора течения — точкой C , получают линию пути при совместном учете дрейфа и течения, направление которой обозначают $ПУ_C$. Угол дрейфа α и угол сноса течением β суммируются:

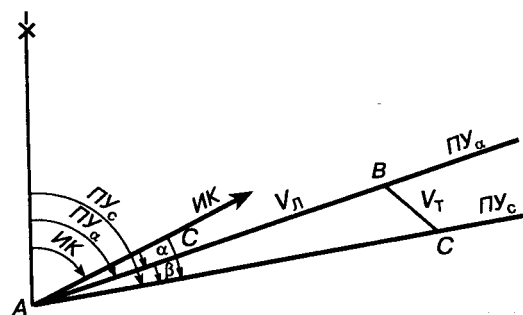


Рис. 15.25. Прямая задача совместного учета дрейфа и течения

$$\alpha + \beta = \epsilon,$$

где ϵ — суммарный угол сноса судна.

$$ПУ_C = ИК + \epsilon.$$

Таким образом, вначале учитывается дрейф, а затем — течение.

Задача 2. Расчет компасного курса для удержания судна на заданной линии пути при совместном учете дрейфа и течения.

Направление пути $ПУ_C$, элементы ветра K_W и W , течения K_T и V_T и скорость судна $V_{Л}$ заданы.

При этой задаче вначале учитывают течение, а уже затем — дрейф.

Из точки начала учета дрейфа и течения A прокладывается заданная линия пути (рис. 15.26).

Из этой же точки прокладывается вектор течения $\vec{V}_T$. Из конца вектора течения — точки B — радиусом, равным скорости судна $V_{Л}$, проводится дуга окружности до пересечения с линией пути в точке C . Линия BC параллельна линии пути при дрейфе и с помощью параллельной линейки она переносится в точку A .

По полученной линии пути при дрейфе и элементам движения судна и ветра определяется угол дрейфа α и рассчитываются истинный и компасный курсы по формулам:

$$ИК = ПУ_\alpha - \alpha; \quad КК = ИК - \Delta ГК.$$

При счислении с учетом дрейфа и течения на карте проводятся две линии: линия пути при дрейфе $ПУ_\alpha$ и линия пути с учетом дрейфа и течения $ПУ_C$. Вдоль линии пути делается надпись с указанием компасного курса, поправки компаса и суммарного угла сноса. Например, $КК 70,0^\circ (+1,0^\circ)\epsilon = +7,0^\circ$.

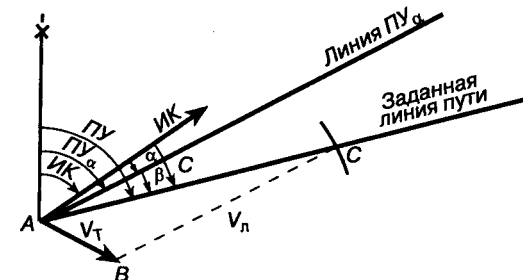


Рис. 15.26. Обратная задача совместного учета дрейфа и течения

Возле каждой точки на линии пути пишутся время и отсчет лага. Для определения счислимых мест судна на линии пути пройденное судном расстояние, рассчитанное по лагу, откладывается по линии $ПУ_{\alpha}$. Полученные точки по направлению течения переносятся на линию пути.

Если плавание судна совершается без лага, то для расчета пройденного расстояния учитывается изменение скорости от действия ветра.

15.6 Графическое счисление с учетом суммарного течения

При плавании в районе с различными видами течений учитывается суммарное течение V_T , составными частями которого являются приливное $V_{Тпр}$, ветровое $V_{ТВ}$ и постоянное $V_{Тп}$ течения. Вектор скорости суммарного течения складывается из геометрической суммы векторов этих течений.

Приливные течения изменяются в соответствии с цикличностью приливов. Период их изменения имеет суточный или полусуточный характер. Поэтому приливные течения называют периодическими течениями. Скорость приливных течений уменьшается по мере удаления от береговой черты. В открытом море эти течения приобретают вращательный характер и изменяются по эллиптическому закону. Элементы приливного течения непрерывно изменяются, поэтому их рассчитывают через каждый час.

Элементы приливного течения определяются по Атласу течений, с помощью таблиц течений и по данным, приведенным на некоторых путевых картах.

В Атласах течений приводятся схемы приливного течения для определенного района плавания. Каждая схема соответствует своему водному часу. Водное время — это время, отсчитываемое в ту и другую сторону от момента наступления полной воды в основном пункте, т. е. в пункте, относительно которого произведены расчеты в Атласе.

Водное время в часах $ВЧ$, соответствующее судовому времени T_C , рассчитывается как алгебраическая разность этого судового времени и судового времени наступления полной воды $T_{ПВ}$, т. е.

$$ВЧ = T_C - T_{ПВ}.$$

Если в полученной разности количество минут меньше 30, то эти минуты отбрасываются, если превышает 30, то абсолютное значение рассчитанного водного часа увеличивается на единицу.

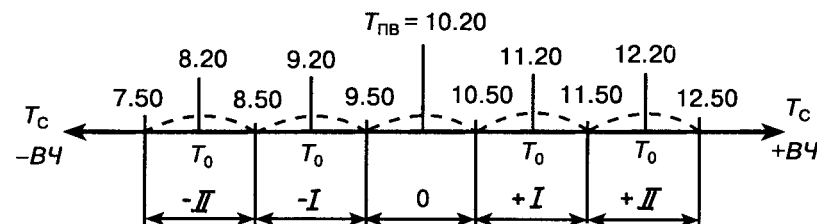


Рис. 15.27. Схема водного времени на $T_{ПВ} = 10$ ч 20 мин

Соответствие судового времени водным часам удобно изображать в виде схемы водного времени (рис. 15.27).

Определение направления и скорости приливного течения по Атласу течений производится в следующем порядке:

- по Морскому Астрономическому Ежегоднику (МАЕ) определяется фаза или возраст Луны на данные сутки и по ним делается вывод о скорости течения: при новолунии и полнолунии (сизигия) скорость течения максимальна, при фазах Луны, соответствующих первой и третьей четвертям (квадратура), скорость течения минимальна;
- по таблице приливов для данного района плавания определяются судовое время наступления полной воды $T_{ПВ}$, а также высоты полных и малых вод на данные сутки $h_{ПВ}$ и $h_{МВ}$, средняя сизигийная и средняя квадратурная величины приливов $\Delta h_{СЗ}$ и $\Delta h_{КВ}$; строится схема водного времени;
- по судовому времени начала учета течения с помощью схемы водного времени определяется водный час и судовое время его середины T_0 ;
- на момент времени T_0 с карты измеряются счислимы координаты судна и по ним наносится точка на ту схему Атласа течений, которая соответствует полученному водному часу;
- ближайшая к счислимому месту судна стрелка схемы течений укажет направление течения и его скорость в сизигию $V_{СЗ}$, и в квадратуру $V_{КВ}$;
- рассчитывается скорость приливного течения, соответствующая средней величине прилива на данные сутки:

$$V_{Тпр} = \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta h}{\Delta h_{СЗ}} V_{СЗ} + \frac{\Delta h}{\Delta h_{КВ}} V_{КВ} \right),$$

где Δh — средняя величина прилива на данные сутки, равная

Форма 15.1

Рабочая таблица течений

T_C	07.50 08.50	08.50 09.50	09.50 10.50	10.50 11.50	11.50 12.50
$BЧ$	$-II$	$-I$	0	$+I$	$+II$
$V_{T_{пр}}$					
$V_{T_{в}}$					
$V_{T_{п}}$					
V_T					

средней арифметической разности последовательных высот полных и малых вод.

Полученный вектор скорости течения учитывается только в пределах данного водного часа; затем с карты измеряются координаты счислимого места на судовое время, соответствующее середине следующего водного часа, и по ним наносится точка на следующую схему течений, обозначенную очередным водным часом, и после этого повторяются все действия, указанные в двух предыдущих пунктах.

В целях систематизации расчетов все полученные данные рекомендуется сводить в рабочую таблицу течений (форма 15.1).

Элементы приливного течения фиксируются каждый водный час в соответствующей строке этой таблицы.

Таблицы течений составляются для районов с сильными приливными течениями — для проливов и для прибрежных участков моря. В них приводятся элементы приливных течений на каждый четный час суток.

Расчет приливных течений с использованием таблицы течений производится следующим образом:

- по дате (число, месяц, год) из специальной таблицы “Астрономические данные N и C для входа в таблицу течений” выбираются вспомогательные величины N и C ;
- по N и времени T_C из таблицы выбираются направление приливного течения $K_{T_{пр}}$ и табличное значение скорости течения $V'_{T_{пр}}$;
- рассчитывается скорость действующего течения

$$V_{T_{пр}}' = C V'_{T_{пр}}.$$

С помощью таблицы течений можно решить задачу по выбору времени, соответствующего наиболее благоприятным условиям плавания — минимальной скорости течения.

Для некоторых точек, обозначенных на карте условными знаками A , B , C и т. д., элементы приливного течения указаны непосредственно на путевой карте (в виде таблицы). На карте в этом случае указывается прикладной час порта ($ПЧП$) — средний промежуток времени между моментом кульминации Луны и моментом наступления полной воды. Пользуясь этой величиной, можно приближенно вычислить время наступления полной воды (середину нулевого водного часа), не прибегая к таблице приливов:

$$T_{ПВ} = T_M + ПЧП \pm (N - \lambda)^{E/W},$$

где T_M — местное время кульминации Луны [определяется по морскому астрономическому ежегоднику (МАЕ)]; N — номер часового пояса; λ — долгота места судна.

Элементы течения для точек, расположенных между указанными на карте, вычисляются путем интерполяции.

Ветровое течение является следствием воздействия ветра на водную поверхность. Оно наблюдается при значительных ветрах, длительное время дующих в одном направлении. Время развития ветрового течения зависит от глубины моря и колеблется в пределах от 6 до 20 часов.

Направление ветрового течения не совпадает с направлением ветра. В Северном полушарии под влиянием силы Кориолиса оно отклоняется вправо от направления ветра, в Южном полушарии — влево. Время затухания ветрового течения примерно равно времени его развития.

Элементы ветрового течения изменяются с глубиной. На глубине свыше 100 м скорость ветрового течения практически равна нулю.

Ветровое течение определяется по Атласу течений или рассчитывается по формулам. В Атласе течений приводятся схемы ветрового течения для различных типов полей ветра (барических образований). Тип поля ветра сообщается в прогнозе погоды или определяется по синоптической карте. На схему ветрового течения, соответствующую данному типу поля ветра, наносится счисляемое место судна и по ближайшей стрелке, изображенной на схеме, определяются направление и скорость ветрового течения.

При отсутствии Атласа течений скорость поверхностного ветрового течения $V_{T_{в}}$ в узлах рассчитывается по формуле

$$V_{T_{в}} = 0,36 \sqrt{\frac{u}{\sin \varphi}},$$

где u — скорость истинного ветра, м/с; φ — широта места.

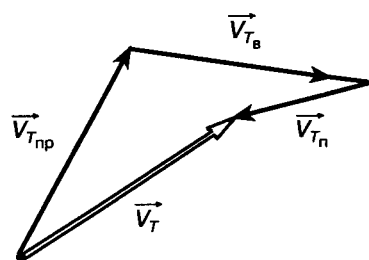


Рис. 15.28. Построение вектора суммарного течения

Угол отклонения поверхностного ветрового течения от направления ветра K_u в районах с глубинами, превышающими 50 м, составляет примерно 45° , т. е. направление поверхностного течения рассчитывается по формуле

$$K_{T_b} = K_u \pm 180^\circ \pm 45^\circ N/S.$$

В мелководных районах с глубинами менее 50 м угол отклонения принимается равным $20-25^\circ$.

Выбранный из Атласа или вычисленный вектор скорости ветрового течения записывается в соответствующую строку рабочей таблицы.

Постоянное (непериодическое) течение определяется по схеме постоянных течений, помещаемой в Атласы течений. Для этого по координатам судна на схему наносится точка, а ближайшая к этой точке стрелка укажет вероятнейшие направление и скорость постоянного течения. Более достоверные данные о постоянном течении в районе плавания могут быть получены по наблюдениям.

Элементы постоянного течения фиксируются в соответствующей строке рабочей таблицы.

После определения элементов приливного, ветрового и постоянного течений производится геометрическое сложение их векторов (рис. 15.28) для получения вектора скорости суммарного течения.

Этот вектор рассчитывается на средний момент каждого водного часа и записывается в нижнюю строку рабочей таблицы. При счислении пути судна суммарный вектор течения учитывается как обычное постоянное течение. В моменты времени, соответствующие началу каждого водного часа, начинают учитывать новые элементы суммарного течения.

15.7 Точность счисления пути судна

Счисление пути судна ведется по показаниям штурманских приборов — компаса и лага. Направление и скорость ветра измеряются на судне, а элементы течения выбираются из таблиц. Современные штурманские приборы обладают высокой точностью, их погрешности незначительны, однако они могут накапливаться за время плавания. Погрешность в угле дрейфа может стать значительной, если судно не имеет дрейфомера.

Наиболее значительными бывают погрешности в учете течения. Причина заключается в том, что сведения о течениях выбираются из атласов течений, которые дают лишь средние значения элементов течения, а не те значения, которые действуют в момент плавания судна. Все это приводит к тому, что в положении линии пути и в пройденном расстоянии имеются погрешности, которые с течением времени нарастают. В результате этого в счислимом месте судна накапливается погрешность счисления $M_{c(t)}$.

Экспериментальными исследованиями установлено, что при плавании менее двух часов погрешность счисления пути судна нарастает по линейному закону и определяется формулой

$$M_{c(t)} = 0,7 K_c t, \quad (15.6)$$

где K_c — коэффициент точности счисления; t — время плавания по счислению, ч.

При плавании более двух часов погрешность счислимых мест определяется формулой

$$M_c(t) = K_c \sqrt{t}. \quad (15.7)$$

Коэффициент точности счисления K_c зависит от района плавания, степени его изученности, типа судна и его технических средств судовождения.

Коэффициент точности счисления определяется двумя способами:

а) по погрешностям в элементах счисления

$$K_c = \sqrt{2 \left[\left(\frac{m_{\text{пв}}}{57,3} V \right)^2 + \left(\frac{m_v}{100} V \right)^2 + \left(\frac{m_{\text{кт}}}{57,3} V_T \right)^2 + m_{v_r}^2 \right]}, \quad (15.8)$$

где m — средняя квадратическая погрешность элементов счисления;

б) по совокупности невязок, полученных при плавании по заданному маршруту.

Для получения коэффициента K_c с достаточной точностью необходимо обработать не менее 50 невязок. Если в одном рейсе такого количества невязок не наберется, то обрабатываются невязки нескольких рейсов по одному и тому же маршруту в аналогичных гидрометеорологических условиях.

Коэффициент точности счисления по невязкам рассчитывается по следующим формулам:

$$K_{c_1} = \frac{1,6}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} \frac{C_i}{t_i}, \quad (15.9)$$

где n_1 — количество невязок с интервалом времени между ними менее двух часов;

$$K_{c_2} = \frac{1,13}{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} \frac{C_j}{\sqrt{t_j}}, \quad (15.10)$$

где n_2 — количество невязок с интервалом времени между ними более двух часов; C_i — модули невязок.

Если интервалы времени между невязками будут смешанными (более двух часов и менее двух часов), то средний коэффициент

$$K_c = \frac{K_{c_1} n_1 + K_{c_2} n_2}{n_1 + n_2}. \quad (15.11)$$

Способ расчета коэффициента точности счисления по невязкам следует считать более точным, чем способ расчета по погрешностям, так как он базируется на фактических данных, полученных при фактическом плавании судна в данном районе.

При плавании судна счисление его пути, как правило, продолжается от обсервации, которая имеет свою погрешность M_0 . В этом случае погрешность счислимого места на заданный момент времени определится по формуле

$$M_c = \sqrt{M_0^2 + M_{c(t)}^2}, \quad (15.12)$$

где M_0 — радиальная средняя квадратическая погрешность обсервации, от которой ведется счисление; $M_{c(t)}$ — радиальная средняя квадратическая погрешность счисления.

Глава 16

АНАЛИТИЧЕСКОЕ СЧИСЛЕНИЕ ПУТИ СУДНА

16.1 Аналитический способ расчета счисляемых координат

Аналитический способ счисления применяется в тех случаях, когда графическое счисление вести невозможно или когда оно сопровождается значительными графическими погрешностями.

Аналитическое счисление применяется:

- при океанских переходах, когда нет карт крупного масштаба и карт-сеток и, следовательно, графическое счисление сопровождается значительными погрешностями графических построений;
- когда графическое счисление невозможно вести из-за частых изменений курса судна;
- при определении места по высотам Солнца, когда между наблюдениями высот счисление должно быть максимально точным;
- во всех других случаях, когда необходимо повысить точность счисления пути судна за счет исключения погрешностей графических построений.

Формулы аналитического счисления являются основой алгоритмов автоматизированного счисления. По формулам аналитического счисления рассчитываются истинный курс и расстояние по локсодромии для перехода судна из исходной точки в заданную точку, координаты которой известны.

Сущность аналитического счисления заключается в расчете координат места судна на заданный момент времени по известным формулам:

$$\varphi_2 = \varphi_1 + PШ; \quad \lambda_2 = \lambda_1 + PД.$$

Так как начальные координаты φ_1 и λ_1 всегда известны, то задача аналитического счисления сводится к расчету $PШ$ и $PД$.

Для этого используются математические зависимости между изменениями координат $PШ$ и $PД$, истинным курсом $ИК$ и плаванием (пройденным расстоянием) судна S :

$$PШ = f_1(ИК, S); \quad PД = f_2(ИК, S). \quad (16.1)$$

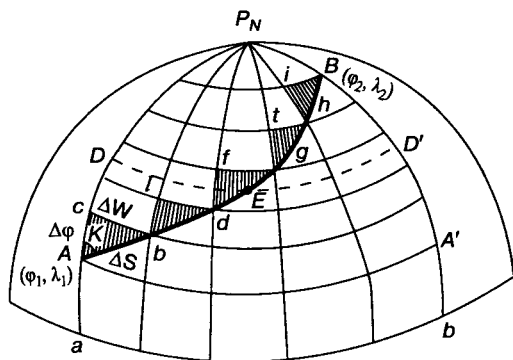


Рис. 16.1. К выводу формул аналитического счисления

Пусть судно из точки A с известными координатами φ_1 и λ_1 совершило плавание по локсодромии истинным курсом $IK = K$, прошло расстояние S и прибыло в точку B , координаты которой φ_2 и λ_2 необходимо определить (рис. 16.1).

Примем Землю за шар и разделим расстояние S на равные элементарные отрезки ΔS . Через полученные точки проведем меридианы и параллели. Получим равные элементарные прямоугольные треугольники. Гипотенузой каждого треугольника является отрезок ΔS , а катетами — отрезки меридианов и параллелей. Эти элементарные треугольники по малости сторон можно считать плоскими, и к ним можно применять законы плоской тригонометрии.

В элементарном треугольнике Abc катет Ac является отрезком меридиана, т. е. элементарной разностью широт $\Delta\varphi$, которая определяется выражением

$$\Delta\varphi = \Delta S \cos K. \quad (16.2)$$

В этом же треугольнике катет bc является отрезком параллели, т. е. элементарным удалением ΔW судна от меридиана точки A при переходе его из точки A в точку b :

$$\Delta W = \Delta S \sin K. \quad (16.3)$$

Из формулы (16.3) видно, что ΔW выражается в единицах расстояния и поэтому не является элементарной разностью долгот. ΔW — это элементарное удаление от меридиана по параллели и называется *элементарным отшествием*.

Переходя от элементарных величин к бесконечно малым величинам, получим:

$$d\varphi = dS \cos K;$$

$$dW = dS \sin K.$$

Проинтегрируем полученные выражения:

$$\int_{\varphi_1}^{\varphi_2} d\varphi = \int_0^S dS \cos K;$$

$$\int_0^W dW = \int_0^S dS \sin K.$$

Курс судна при плавании не изменялся ($K = \text{const}$), поэтому решение приводит к выражениям

$$\varphi_2 - \varphi_1 = S \cos K;$$

$$W = S \sin K$$

или

$$\begin{aligned} PШ &= S \cos K; \\ W &= S \sin K. \end{aligned} \quad (16.4)$$

Из формулы (16.4) видно, что разность широт $PШ$ получается в милях, так как в милях выражается пройденное судном расстояние. Так как 1 миля равна $1'$ дуги меридиана ($1'$ широты), то разность широт в милях будет равна разности широт в минутах.

Отшествие W часто обозначается буквами $ОТШ$, тогда

$$\begin{aligned} PШ &= S \cos K; \\ ОТШ &= S \sin K. \end{aligned} \quad (16.5)$$

Проведем среднюю параллель DD' (см. рис. 16.1), широта кото-

$$\text{рой } \varphi_{\text{ср}} = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}.$$

Средняя параллель (рис. 16.2) делит расстояние S на две равные части: $AE = BE$. Поэтому при переходе судна из точки A в точку E удаление судна от меридиана пункта отхода равно половине отшествия $W/2$.

Таким образом, основные формулы аналитического счисления для Земли, принятой за шар, следующие:

$$\left. \begin{aligned} RШ &= S \cos K; \\ ОТШ &= S \sin K; \\ РД &= ОТШ \sec \varphi_{по}; \\ РД &= ОТШ \frac{РМЧ}{РШ}. \end{aligned} \right\} \quad (16.12)$$

Для облегчения расчетов по формулам (16.12) в сборнике МТ-2000 предусмотрены табл. 2.19а и 2.20. Эти таблицы не дают знаков $РШ$, $ОТШ$ и $РД$ и судоводители должны определять их самостоятельно. Из формул (16.12) видно, что знаки $РШ$ и $ОТШ$ зависят от знаков $\cos K$ и $\sin K$ соответственно. Знак $РД$ совпадает со знаком $ОТШ$.

Для решения задачи на эллипсоиде необходимо учитывать сжатие Земли. Для этого к рассчитанным $РШ$ и $РД$ вводятся поправки:

$$\Delta\varphi_3 = 0,01fРШ; \quad \Delta\lambda_3 = 0,01gРД, \quad (16.13)$$

где f и g — коэффициенты, рассчитываемые по следующим формулам:

$$\begin{aligned} f &= -0,00180896 + 0,00669342(1 - 1,5\sin^2\varphi_{cp}); \\ g &= -0,00180896 - 0,0033908\sin^2\varphi_{cp} + 0,00001269(\Delta\varphi)^2(1 + 2\lg^2\varphi_{cp}). \end{aligned}$$

Таким образом,

$$\begin{aligned} РШ_3 &= РШ + \Delta\varphi_3; \\ РД_3 &= РД + \Delta\lambda_3. \end{aligned}$$

Для облегчения расчетов по формулам (16.13) в сборнике МТ-2000 помещена табл. 2.19б.

16.2 Учет дрейфа и течения при аналитическом счислении

При учете дрейфа судно перемещается по линии пути $ПУ_\alpha = ИК + \alpha$ со скоростью, которую показывает лаг, поэтому изменение его координат зависит от величины $ПУ_\alpha$ и пройденного расстояния S :

$$РШ = S \cos ПУ_\alpha;$$

$$ОТШ = S \sin ПУ_\alpha;$$

$$РД = ОТШ \sec \varphi_{cp} \quad \text{или} \quad РД = ОТШ \frac{РМЧ}{РШ}.$$

А далее — обычный расчет координат точки прихода:

$$\varphi_2 = \varphi_1 + РШ; \quad \lambda_2 = \lambda_1 + РД.$$

При плавании в районе, в котором действует течение, судно участвует в двух движениях: движении по линии истинного курса $ИК$ со скоростью V_0 и движении судна вместе с массами воды по направлению течения K_T со скоростью течения V_T .

При аналитическом счислении каждое движение учитывается отдельно. Вначале обрабатываются все курсы $ИК_1 \dots ИК_i$ и соответствующие им плавания $S_1 \dots S_i$, которыми следовало судно, при этом течение не учитывается. Затем, как отдельный курс $ИК_{i+1}$ учитывается влияние течения. При этом считают

$$ИК_{i+1} = K_T,$$

$$S_{i+1} = V_T t,$$

где t — время плавания на течении.

Далее рассчитываются приращения координат за счет влияния течения $РШ_T$ и $ОТШ_T$:

$$РШ_T = S_T \cos K_T;$$

$$ОТШ_T = S_T \sin K_T.$$

16.3 Аналитический расчет направления и длины локсодромии

В практике судовождения формулы аналитического счисления используют, когда необходимо по известным координатам двух пунктов $A(\varphi_1, \lambda_1)$ и $B(\varphi_2, \lambda_2)$ определить расстояние между ними $S_{лок}$ и локсодромическое направление K от одной точки на другую.

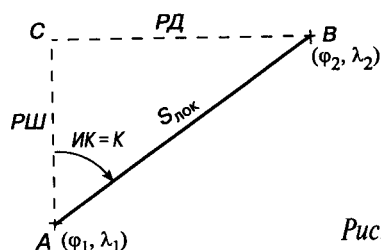


Рис. 16.3. Составное аналитическое счисление

Для решения такой задачи следует решить прямоугольный треугольник ABC (рис. 16.3).

С использованием формул аналитического счисления рассчитываются

$$РШ = \varphi_2 - \varphi_1, \quad РД = \lambda_2 - \lambda_1.$$

Далее рассчитывается разность меридиональных частей заданных точек:

$$РМЧ = МЧ_2 - МЧ_1,$$

где $МЧ_2$ и $МЧ_1$ — меридиональные части точек A и B , выбранные из табл. 2.28а МТ-2000.

Истинный курс (искомое направление локсодромии) можно рассчитать по формулам

$$\operatorname{tg} K = \frac{РД}{РМЧ} \quad \text{или} \quad \operatorname{tg} K = \frac{ОТШ}{РШ},$$

где K — истинный курс в четвертном счете.

Локсодромическое расстояние можно рассчитать по следующим формулам:

$$S_{\text{лок}} = РШ \sec K;$$

$$S_{\text{лок}} = ОТШ \operatorname{cosec} K;$$

$$S_{\text{лок}} = \sqrt{РШ^2 + ОТШ^2}.$$

ВИЗУАЛЬНЫЕ СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА СУДНА В МОРЕ

Глава 17

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

17.1 Основные понятия, связанные с определением места судна

Основным автономным методом получения текущих координат места судна является счисление его пути. Погрешности элементов счисления (курса и скорости судна, дрейфа, направления морского течения и его скорости) обуславливают погрешность счисления, которая накапливается с течением времени. Возникает необходимость периодической коррекции результатов счисления. Эта коррекция производится посредством определения места судна (ОМС) с использованием физических величин, не связанных с элементами счисления.

Рассмотрим общий подход к решению задачи определения места судна в море и основные положения общей теории навигации, относящейся к данной проблеме.

Основными понятиями общей теории навигации, связанными с ОМС, являются понятия:

- навигационного параметра,
- навигационного ориентира,
- навигационной функции,
- навигационной изолинии,
- линии положения,
- градиента навигационного параметра.

Навигационный параметр — это физическая величина, определяющая положение судна в пространстве. В общем случае он обо-

значается символом U . К навигационным параметрам относятся: направления, углы, расстояния, разности расстояний, скорости изменения расстояний и т. д.

Измерение навигационных параметров производится относительно материальных объектов или условных линий, положение и направление которых в пространстве известны.

Объекты с отличительными признаками и известным положением, наблюдаемые для ОМС, называются *морскими навигационными ориентирами*. Ориентиры, которые наблюдатель видит невооруженным глазом или с помощью оптических средств, называются визуально наблюдаемыми *наземными ориентирами*.

Измеренные значения навигационного параметра (навигационных параметров) позволяют, после их исправления поправками и соответствующей обработки, получить координаты места судна. Процесс измерения и обработки навигационных параметров, результатом которых является место судна, получаемое в виде координат или в виде точки на морской навигационной карте, называется *определением места судна или обсервацией*.

Отметим, что обсервацией часто называют и само место судна, полученное в результате измерения и обработки навигационных параметров.

Измеренный судовым навигационным прибором и исправленный всеми поправками навигационный параметр называется *обсервованным* и обозначается символом U_0 .

Математическое выражение, устанавливающее связь между навигационным параметром и координатами места судна, называется *навигационной функцией* $U = f(\varphi, \lambda)$.

Линия, каждая точка которой соответствует одному и тому же значению навигационного параметра, называется *навигационной изолинией*.

Таким образом, измерив навигационный параметр U , можно заключить, что судно в момент измерения находится на навигационной изолинии $U = U(\varphi, \lambda)$, соответствующей этому параметру.

Наиболее распространенным в судовождении навигационным параметрам соответствуют следующие навигационные изолинии:

- при измерении пеленга на ориентир — *изоазимута*, линия, в каждой точке которой угол A между истинным меридианом и направлением по кратчайшему расстоянию на ориентир есть величина постоянная;
- при измерении пеленга с ориентира на судно — *ортодромия*, линия, пересекающая меридиан ориентира под измеренным углом A_0 ;

- при измерении расстояния — *изостадия*, сферическая окружность, проведенная из точки, в которой расположен ориентир, радиусом, равным измеренному расстоянию D ;
- при измерении горизонтального угла или разности азимутов — *изогона*, кривая (при малых расстояниях до ориентиров — окружность), проходящая через ориентиры и вмещающая измеренный угол;
- при измерении высоты светила — *круг равных высот* (высотная изолиния), сферическая окружность, проведенная из географического места светила (полюса освещения) как из центра, радиусом, равным зенитному расстоянию светила;
- при измерении разности расстояний до ориентиров, расположенных в разных точках, — *сферическая гипербола*, в каждой точке которой разность расстояния ΔD до рассматриваемых ориентиров есть величина постоянная;
- при измерении глубин — *изобата*, линия, соединяющая точки с равными глубинами.

Существуют также навигационные изолинии, соответствующие постоянным значениям скорости сближения с искусственным спутником Земли (*изодола*), скорости изменения расстояния, пеленга и т. п.

Уравнения и форма навигационных изолиний, как правило, сложны. Это вызывает определенные затруднения с прокладкой изолиний на навигационных картах и приводит к необходимости замены изолинии отрезком прямой. Отрезок прямой, которым заменен ограниченный по длине отрезок изолинии, называется *линией положения*. Этой линией может быть отрезок касательной к изолинии или хорда, соединяющая две точки изолинии.

Каждой точке пространства соответствует определенное значение навигационного параметра U . Таким образом, можно говорить о поле навигационного параметра. Это поле является скалярным. Важная характеристика этого поля — *градиент навигационного параметра*. Он обозначается символами $grad U$ или $\bar{g}_U$ и характеризует направление и максимальную скорость изменения навигационного параметра.

Градиент навигационного параметра — вектор, направленный по нормали к навигационной изолинии и характеризующий скорость изменения навигационного параметра по этому направлению. По абсолютной величине он равен пределу отношения приращения навигационного параметра dU к соответствующему смещению изолинии dn :

$$\lim_{\Delta n} \frac{\Delta U}{\Delta n} = \frac{dU}{dn} = g_U, \quad (17.1)$$

при $n \rightarrow 0$,

где U — навигационная функция.

Из выражения (17.1) следует, что

$$dn = \frac{dU}{g_U}.$$

Перейдя к конечным приращениям, можно записать

$$\Delta n = \frac{\Delta U}{g_U}, \quad (17.2)$$

где $\Delta U = (U_2 - U_1)$ — разность значений параметра двух соседних изолиний (разность их оцифровок, $U_2 > U_1$); Δ — кратчайшее расстояние от заданной точки изолинии $U_1 = \text{const}$ до изолинии $U_2 = \text{const}$.

Из этого соотношения можно заключить, что градиент является коэффициентом пропорциональности между изменением навигационного параметра и смещением линии положения.

Если ΔU — случайная погрешность навигационного параметра, характеризующая средней квадратической погрешностью m_n , то средняя квадратическая погрешность положения навигационной изолинии или линии положения $m_{\text{лп}}$ определяется выражением

$$m_{\text{лп}} = \frac{m_n}{g_U}. \quad (17.3)$$

17.2 Сущность определения места судна по навигационным параметрам

Одному измеренному навигационному параметру соответствует одно уравнение навигационной изолинии $U = U(\varphi, \lambda)$. Две искомые координаты судна φ и λ по одному уравнению определить невозможно. Если же одновременно измерить навигационные параметры U_1 и U_2 относительно двух ориентиров, то соответствующие им функции составят систему из двух уравнений с двумя неизвестными φ и λ :

$$U_1 = U(\varphi, \lambda);$$

$$U_2 = U(\varphi, \lambda).$$

Совместное решение уравнений этой системы дает искомые координаты судна φ и λ .

Для обработки измеренных навигационных параметров с целью определения места применяются три метода: графический, аналитический и графоаналитический.

Графические методы, широко применяемые в практике судовождения, делятся на два вида: оперативную прокладку простейших изолиний и использование карт с сетками изолиний.

Оперативную прокладку простейших изолиний или их участков вблизи точки пересечения выполняют на карте во время определения места после измерения навигационных параметров.

Пусть на судне в момент времени T_0 измерен навигационный параметр U_{01} относительно какого-то навигационного ориентира. Этому параметру соответствует навигационная изолиния $U_{01} = \text{const}$, как геометрическое место точек возможного места судна (рис. 17.1).

Пусть одновременно измерен навигационный параметр U_{02} относительно второго навигационного ориентира. Измеренному значению навигационного параметра U_{02} соответствует вторая навигационная изолиния $U_{02} = \text{const}$. При графическом решении задачи точка C пересечения изолиний есть обсервованное место судна.

При использовании карт с сетками изолиний обсервованное место судна находится в точке пересечения изолиний, соответствующих обсервованным значениям навигационных параметров; в необходимых случаях выполняют графическую интерполяцию.

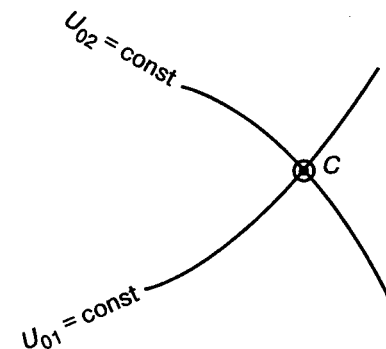


Рис. 17.1. Навигационные изолинии и обсервованное место судна

Координаты обсервованного места называются *обсервованными координатами* φ_0 и λ_0 .

Если навигационные параметры, по которым определяется место судна, измерялись одновременно при значительном промежутке времени между моментами измерений, то полученное место называется *счислимо-обсервованным*, а координаты, соответственно, *счислимо-обсервованными*.

Если для определения места судна использовались визуально наблюдаемые навигационные ориентиры, то такие способы называются *визуальными способами определения места*.

Аналитический метод определения места реализуется с помощью вычислительной техники. Обычно применяется наиболее простой вариант этого способа, связанный с вычислением поправок $\Delta\varphi$ и $\Delta\lambda$ координат относительно счислимго места.

Для упрощения математического обеспечения, уменьшения необходимой машинной памяти вместо аналитического решения уравнений навигационных изолиний чаще всего решается задача определения места судна путем совместной обработки уравнений линий положения $U = U(\Delta\varphi, \Delta\lambda)$.

Использование уравнений линий положения унифицирует алгоритм определения места судна и приводит к существенному упрощению решения задачи.

При **графоаналитическом методе** задача частично решается аналитически, а затем производятся графические построения на карте или листе бумаги. Он является основным при обработке наблюдений для определения места по высотам небесных светил. Этот же способ применяется при определении места по разнородным линиям положения с использованием вычислительной техники.

Обобщенный метод линий положения заключается в нахождении обсервованного места судна по линиям положения любых навигационных параметров, уравнения которых выражены в координатной системе с начальной точкой в счислимом месте судна или в любой произвольно выбранной точке, расположенной вблизи счислимго места.

Каждое обсервованное место обозначается на карте условным знаком. Вид знака зависит от способа определения места и от типа технических средств, с помощью которых измерялись навигационные параметры.

Как счисление пути судна, так и обсервация сопровождаются погрешностями, что обуславливает несовпадение обсервованного места со счислимым, отнесенным к моменту обсервации. Расхождение одномоментных координат счислимго и обсервованного

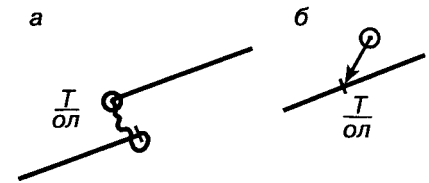


Рис. 17.2. Нанесение знака обсервации на карту

мест судна называется *невязкой места судна*. Она характеризуется направлением от счислимго места к обсервованному и расстоянием C между ними. При графическом счислении пути судна невязка изображается волнистой линией, затухающей от счислимго места к обсервованному. Время и отсчет лага подписываются у обсервованного места (рис. 17.2, а).

Обсервованное место судна, полученное с точностью, превышающей точность счислимго места в три и более раза, принимается за *исходную точку* для дальнейшего счисления. Этим условиям, как правило, соответствуют обсервации, полученные по видимым ориентирам при прибрежном плавании, а также обсервации, полученные с помощью высокоточных радионавигационных и спутниковых навигационных систем.

При записи обсервации в судовом журнале направление невязки указывается с точностью до 1° , а ее величина — с точностью до 0,1 мили. Например, $C = 145^\circ - 1,2$ мили.

Если обсервованное место не принимается в качестве исходного для дальнейшего счисления, то на карту наносится знак обсервации и отмечается счислимое место судна на момент обсервации, около которого подписывается время и отсчет лага. Стрелкой от обсервованного места к счислимому показывается одномоментность обоих мест (рис. 17.2, б). В судовом журнале сведения о невязке заключаются в скобки, например ($C = 215^\circ - 4,2$ мили).

17.3 Влияние и учет неодновременности измерения навигационных параметров

Неодновременность измерения навигационных параметров при движении судна приводит к погрешности в обсервованном месте. Найдем выражение для этой погрешности.

Пусть в момент времени T_1 , когда судно находилось в точке O_1 (рис. 17.3), измерен первый навигационный параметр U_{01} . Ему соответствует изолиния (линия положения) $I - I$. В момент времени

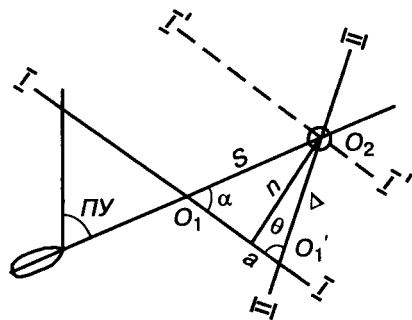


Рис. 17.3. Влияние неодновременности измерения навигационных параметров

T_2 , когда судно находилось в точке O_2 , измерен второй навигационный параметр U_{02} , которому соответствует изолиния (линия положения) $II - II$. В промежутке времени $t = T_2 - T_1$ судно следовало путем $ПУ$ с путевой скоростью V . За время t оно прошло расстояние по линии пути $S = Vt$.

Если не учесть этого перемещения, то место судна будет получено не в точке O_2 , а в точке O_1' . Отрезок $O_2O_1' = \Delta$ представляет собой погрешность обсервованного места судна, обусловленную неодновременностью измерения навигационных параметров.

Для оценки этой погрешности из точки O_2 опустим перпендикуляр O_2a на линию $I - I$. Длина этого перпендикуляра n может быть получена из треугольника O_1O_2a .

$$n = S \sin \alpha = Vt \sin \alpha,$$

где α — угол между линией пути судна и первой изолинией.

Значение погрешности обсервованного места определяется из треугольника $O_2O_1'a$:

$$\Delta = \frac{n}{\sin \Theta} = \frac{Vt \sin \alpha}{\sin \Theta}, \quad (17.4)$$

где Θ — угол между первой и второй изолиниями.

Из выражения (17.4) следует, что погрешность обсервованного места из-за неодновременности измерения навигационных параметров, обуславливается следующими факторами:

- путевой скоростью судна;
- промежутком времени между моментами измерения первого и второго навигационных параметров;

- взаимным положением (по углу) линии пути судна и первой навигационной изолинии;
- взаимным положением (по углу) первой и второй навигационных изолиний.

Погрешность Δ равна нулю, если угол $\alpha = 0$, т. е. первая навигационная изолиния совпадает с линией пути судна. Сразу снимаются все проблемы, связанные с неодновременностью измерения навигационных параметров. Для $\alpha \neq 0$ следует правило: первым измеряется навигационный параметр того ориентира, относительно которого навигационная изолиния (линия положения) составляет острый угол с линией пути судна.

Погрешность растёт с увеличением скорости хода судна V и временного промежутка t между моментами измерения навигационных параметров.

Для уменьшения влияния временного промежутка t на величину погрешности Δ существуют два метода: прямой, заключающийся в повышении мастерства судоводителя, и косвенный. Последний реализуется в двух вариантах:

- выборе порядка измерения навигационных параметров,
- двукратном измерении первого навигационного параметра по схеме $U_{01}' - U_{02} - U_{01}''$; в качестве обсервованного значения первого навигационного параметра принимается его среднее значение из результатов измерений:

$$U_{01} = 0,5(U_{01}' + U_{01}'').$$

В качестве момента времени обсервации T_0 и отсчета лага ol_0 принимается момент времени и отсчет лага измерения второго навигационного параметра.

Если место судна определяется по трем ориентирам, то принцип реализации косвенного метода остается тем же. Двукратное измерение навигационных параметров производится по схеме

$$U_{01}' - U_{02}' - U_{03} - U_{02}'' - U_{01}''.$$

Расчет средних значений первого и второго параметров производится по формулам

$$U_{01} = 0,5(U_{01}' + U_{01}'');$$

$$U_{02} = 0,5(U_{02}' + U_{02}'').$$

17.4 Оценка точности обсерваций по двум навигационным изолиниям (линиям положения)

Для оценки точности места судна (счислимого, обсервованного и пр.) применяются эллиптическая, радиальная и линейная погрешности.

Эллиптическая погрешность места $\mathcal{E}$ (эллипс погрешностей) — эллипс соответствующих размеров и ориентировки (с центром в оцениваемом месте), в пределах которого с заданной вероятностью находится фактическое место судна.

Данный способ оценки точности находит применение при строгом и детальном анализе безопасности судовождения в сложных навигационно-гидрографических условиях (плавание в узкостях, вблизи навигационных опасностей, по фарватерам, в системах установленных путей).

Средний квадратический эллипс погрешностей (СКЭ) — эллипс с полуосями a и b , равными средней квадратической погрешности места по данным направлениям T_a и $T_b = T_a \pm 90^\circ$, и вероятностью $P = 0,393$. При $a = b$ СКЭ превращается в круг погрешностей радиуса $r = a = b$ и вероятностью 0,393.

Эллипс погрешностей $\mathcal{E}_p$ заданной вероятности P имеет полуоси $a_p = ca$ и $b_p = cb$, где c — коэффициент, выбираемый из табл. 4.12 МТ-2000 по заданной вероятности P .

Предельный эллипс погрешностей $\mathcal{E}$ — эллипс, в пределах которого место судна находится с вероятностью $P \geq 0,95$. При полуосях $a_p = 2,45a$ и $b_p = 2,45b$ $P = 0,95$.

При разных значениях коэффициента c получаем семейство подобных эллипсов с общим центром. Чем больше значение c , тем больше вероятность того, что он покрывает истинное место. При нормальном распределении погрешностей вероятность нахождения истинного места судна в пределах эллипса заданных размеров определяется по формуле

$$P = 1 - e^{-\frac{c^2}{2}}, \quad (17.5)$$

где $c = \frac{a_p}{a} = \frac{b_p}{b}$ — коэффициент, равный отношению полуосей a_p и b_p заданного эллипса $\mathcal{E}_p$ к одноименным полуосям a и b среднего квадратического эллипса погрешностей СКЭ.

Значение вероятности P выбирается из табл. 4.12 МТ-2000 по коэффициенту c .

Результаты расчетов вероятности по формуле (17.5) приведены ниже:

c	1	$\sqrt{2}$	1,5	2,0	2,5	3,0
P	0,393	0,632	0,675	0,865	0,956	0,989

Средний квадратический эллипс погрешностей можно построить приближенным способом: от вероятнейшего места судна производится параллельное смещение линий положения в одну и другую стороны на величину $m_{\text{лп1}}$ и $m_{\text{лп2}}$ (рис. 17.4).

В образовавшийся параллелограмм вписывается эллипс таким образом, чтобы он касался сторон параллелограмма в точках их пересечения с линиями положения. Возникающие при этом погрешности глазомерных построений несущественны для оценивания точности определений места в процессе судовождения.

Концы средних квадратических погрешностей m_α , взятых по всем направлениям от 0 до 360° , образуют линию, называемую *поясой эллипса*.

Радиальная погрешность места — круг с центром в оцениваемом месте и радиусом R (равным квадратической сумме полуосей соответствующего эллипса погрешностей), в пределах которого с заданной вероятностью находится фактическое место судна.

Радиальная средняя квадратическая погрешность (РСКП, M_0) — круг с центром в обсервованной или счислимой точке с радиусом равным среднему квадратическому значению возможных погреш-

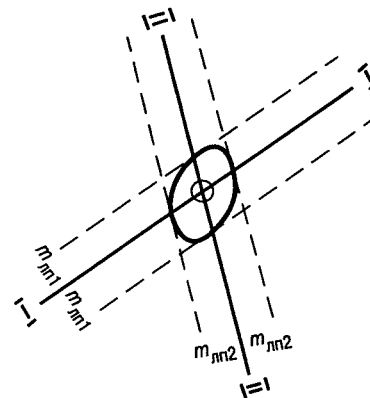


Рис. 17.4. Средний квадратический эллипс погрешностей

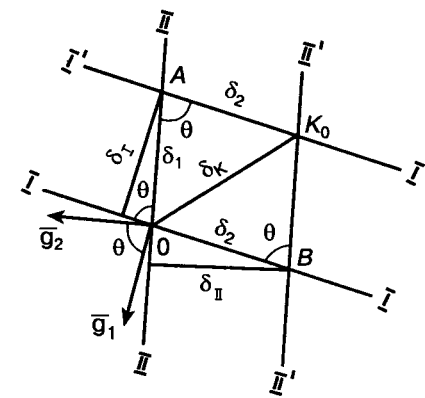


Рис. 17.5. К выводу средней квадратической погрешности места

ностей такой точки независимо от их направления, в пределах которого место судна находится с вероятностью от $P = 0,683$ (при $\frac{b}{a} = 0$) до $P = 0,632$ (при $\frac{b}{a} = 1$). Здесь a и b — полуоси среднего квадратического эллипса погрешностей.

Радиальная погрешность заданной вероятности P имеет радиус $R = k_p M$, где k_p — коэффициент, выбираемый из табл. 4.14 МТ-2000.

Радиальная предельная погрешность $M_{\text{опр}}$ — круг, в пределах которого место судна находится с вероятностью $P \geq 0,95$. Если вероятность не указана, то $M_{\text{опр}} = 0,95$.

Если δ_k — погрешность места какой-то одной из n обсерваций, выполненных в одинаковых условиях, то при неограниченном увеличении n средняя квадратическая погрешность M_0 места может быть представлена формулой

$$M_0 = \sqrt{\frac{\sum \delta_k^2}{n}}. \quad (17.6)$$

Найдем формулу для ее вычисления применительно к определению места судна по двум навигационным параметрам.

Пусть измерены два навигационных параметра U_{01} и U_{02} , градиенты которых соответственно $\bar{g}_1$ и $\bar{g}_2$ (рис. 17.5). Угол между этими градиентами обозначим символом Θ . При отсутствии погрешностей измеренных навигационных параметров истинное место судна находится в пересечении линий положения $I-I$ и $II-II$ (точка O). Пусть при выполнении обсерваций реализовались погрешности δU_{01} и δU_{02} , что вызвало смещение линий положения δI и δII . Смещенные линии положения $I-I$, $II-II$ дали обсервованную точку K_0 с погрешностью места $\delta_k = OK_0$. Из прямоугольных треугольников с гипотенузами $AO = \delta_1$, $OB = \delta_2$ имеем:

$$\delta_1 = \frac{\delta_I}{\sin \Theta};$$

$$\delta_2 = \frac{\delta_{II}}{\sin \Theta}.$$

Из треугольника AOK_0 (BOK_0) находим

$$\delta_k^2 = \delta_I^2 + \delta_{II}^2 - 2\delta_I\delta_{II}\cos\Theta \quad \text{или}$$

$$\delta_k^2 = \frac{1}{\sin^2 \Theta} (\delta_I^2 + \delta_{II}^2 - 2\delta_I\delta_{II}\cos\Theta). \quad (17.7)$$

При выполнении других обсерваций в тех же условиях реализуются иные значения погрешностей δ_I и δ_{II} линий положения и получаются иные погрешности места δ_k . Однако для каждой обсервации справедливо равенство (17.7). Рассматривая n таких обсерваций, найдем сумму соответствующих им равенств (17.7) и разделим ее на n :

$$\sum \frac{\delta_k^2}{n} = \frac{1}{\sin^2 \Theta} \left(\sum \frac{\delta_I^2}{n} + \sum \frac{\delta_{II}^2}{n} - 2 \sum \frac{\delta_I\delta_{II}}{n} \cos \Theta \right).$$

При неограниченном увеличении n слева в этом равенстве получаем по формуле (17.6) величину M_0^2 , а справа получаем

$$\sum \frac{\delta_I^2}{n} = m_{\text{лп1}}^2; \quad \sum \frac{\delta_{II}^2}{n} = m_{\text{лп2}}^2; \quad \sum \frac{\delta_I\delta_{II}}{n} = rm_{\text{лп1}}m_{\text{лп2}},$$

где $m_{\text{лп1}}$ и $m_{\text{лп2}}$ — средние квадратические значения полных погрешностей линий положения с коэффициентом корреляции r между ними.

С учетом этого, предыдущее равенство принимает следующий вид:

$$M_0 = \frac{1}{\sin \Theta} \sqrt{m_{\text{лп1}}^2 + m_{\text{лп2}}^2 - 2rm_{\text{лп1}}m_{\text{лп2}} \cos \Theta}. \quad (17.8)$$

При отсутствии корреляции между погрешностями линий положения, что, как правило, имеет место при комбинированных способах определения места, $r = 0$, а формула (17.8) приобретает вид

$$M_0 = \frac{1}{\sin \Theta} \sqrt{m_{\text{лп1}}^2 + m_{\text{лп2}}^2}. \quad (17.9)$$

Заменив $m_{\text{лп1}}$ и $m_{\text{лп2}}$ по формуле (17.3), получим

$$M_0 = \frac{1}{\sin \Theta} \sqrt{\left(\frac{m_{n1}}{g_1}\right)^2 + \left(\frac{m_{n2}}{g_2}\right)^2}.$$

Если известны элементы среднего квадратического эллипса погрешностей — большая полуось a и малая полуось b , то РСКП обсервованного места может быть рассчитана по формуле

$$M_0 = \sqrt{a^2 + b^2}. \quad (17.10)$$

Линейная (одномерная) погрешность места L — погрешность места по заданному направлению, равная радиус-вектору подеры соответствующего эллипса погрешностей.

При эллиптическом распределении мест линейная средняя квадратическая погрешность (ЛСКП, m_L) по направлению относительно большой полуоси a эллипса определяется по формуле

$$m_L = \sqrt{a^2 \cos^2 \Psi + b^2 \sin^2 \Psi}.$$

При круговом распределении мест линейная СКП по любому из направлений $m_L = a = b$. Для радиальной средней квадратической погрешности M_0 линейная СКП по всем направлениям принимается равной

$$m_L = \frac{M_0}{\sqrt{2}}.$$

ЛСКП соответствует вероятности $P = 0,683$.

Линейная погрешность заданной вероятности P — величина $L_p = z m_L$, где z — коэффициент функции Лапласа (табл. 4.7 МТ-2000).

17.5 Последовательность действий при обсервации

Определение места судна на морской навигационной карте производится в следующем порядке:

- на навигационную карту наносится счислимое место судна, выбираются навигационные ориентиры; предпочтение отдается близлежащим ориентирам, угол между направлениями на которые близок к прямому (во всяком случае не меньше 30°);

- производится опознание выбранных ориентиров по их характеристикам (режиму работы); при надежном счислении навигационные параметры, измеренные относительно ориентиров, не должны существенно отличаться от счислимых;
- производится измерение навигационных параметров с фиксированием момента времени и отсчета лага;
- измеренные навигационные параметры исправляются поправками;
- рассчитывается счислимое место судна, соответствующее моменту измерения последнего навигационного параметра;
- результаты навигационных измерений приводятся к одному моменту;
- проводятся навигационные изолинии (линии положения), соответствующие приведенным к одному моменту исправленным навигационным параметрам, и в точке их пересечения получают обсервованное место, которое обозначается соответствующим условным знаком, временем и отсчетом лага;
- определяется направление и величина невязки;
- рассчитывается СКП обсервованного места;
- производится запись обсервации в судовом журнале: время, отсчет лага, название ориентира, измеренные навигационные параметры, поправки, которыми они исправлялись;
- после записи последнего навигационного параметра фиксируется невязка места судна.

Глава 18

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА СУДНА ПО ПЕЛЕНГАМ И ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ УГЛАМ

Определение места судна по пеленгам относится к визуальным способам, наряду с определениями места по горизонтальным и вертикальным углам.

Еще в 60-е годы прошлого столетия такие определения составляли 90% всех определений на морских судах и судах смешанного (река-море) плавания. В 80-х, 90-х годах положение существенно изменилось: возросла доля радиолокационных обсерваций, определения расстояний по вертикальным углам практически вытеснены радиолокационными измерениями; определения места по горизонтальным углам применяются лишь в особых случаях. Тем не менее, простые, достаточно надежные и точные определения по

двум и трем пеленгам остаются основными при плавании в видимости берегов.

18.1 Определение места судна по пеленгам двух навигационных ориентиров

Сущность способа и его практическое выполнение. Способ определения места судна по двум пеленгам — один из наиболее распространенных при плавании в узкостях или вдоль берега, вблизи навигационных опасностей. Это объясняется тем, что часто в видимости судна большого количества ориентиров, нанесенных на карту, одновременно не бывает.

Определяемым навигационным параметром является истинный пеленг на навигационный ориентир. Навигационному параметру соответствует навигационная изолиния $ИП = const$, которая называется *изопеленгой* или *изоазимутой*. Изоазимута представляет собой линию, проходящую через навигационный ориентир и место судна. Градиент пеленга определяется выражением $g = 1/D$. Он направлен по нормали в сторону возрастания пеленга.

Обсервованную точку получают в пересечении двух линий положения, которыми являются линии истинных пеленгов. Кроме того, так как одновременно пеленговать два ориентира один наблюдатель не может, то для уменьшения или практически полного уничтожения ошибки из-за неодновременности пеленгования применяют специальные приемы.

В быстрой последовательности берут пеленги двух объектов (маяков, знаков, мысов и др.) с таким расчетом, чтобы угол между направлениями на них был по возможности близким к 90° но, во всяком случае, не меньше 30° и не больше 150° . Первым пеленгуют ориентир, расположенный ближе к диаметральной плоскости (ДП) судна, т. е. находящийся на более остром курсовом угле. Пеленг в этом случае меняется медленно. При ночном пеленговании порядок будет зависеть от характеристики огня. Первым пеленгуют огонь, у которого более редкие проблески, или тот, который пеленгуется с трудом из-за плохой видимости или удаленности. Если скорость судна более 10 узлов и расстояния до ориентиров незначительны (2–3 мили), измеренные пеленги необходимо приводить к одному моменту. Для этого берут компасный пеленг первого ориентира, затем второго, после чего вновь пеленгуют первый ориентир. Значения двух пеленгов первого ори-

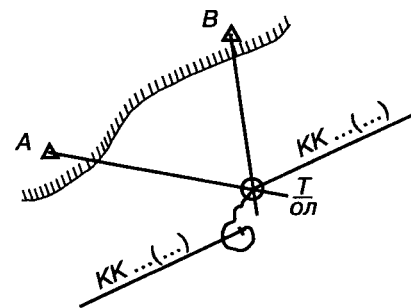


Рис. 18.1. Определение места судна по пеленгам двух навигационных ориентиров

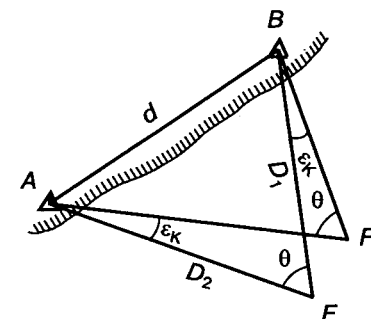


Рис. 18.2. Влияние систематической погрешности пеленга

ентира усредняют, приводя тем самым средний пеленг к моменту пеленгования второго ориентира:

$$ОКП = \frac{ОКП_1 + ОКП_1'}{2}.$$

Время и показания лага замечают при взятии второго пеленга.

Компасные пеленги исправляют поправкой компаса в истинные и прокладывают на карте (рис. 18.1).

Точность способа. Точность полученного обсервованного места, если исключено влияние ошибок от неодновременности взятия пеленгов, зависит от погрешности в принятой поправке компаса и случайных погрешностей при пеленговании.

Если при использовании пеленгов была допущена ошибка в принятом или неучтенном значении поправки компаса, то нанесенное на карту место судна (точка F) не будет совпадать с истинным (точка F_1) (рис. 18.2).

Средняя квадратическая погрешность этого места оценивается по формуле

$$FF_1 = \frac{\epsilon_k^0}{57,3^\circ \sin \Theta} \sqrt{D_1^2 + D_2^2 - 2D_1D_2 \cos \Theta} = \frac{\epsilon_k d}{57,3^\circ \sin \Theta}, \quad (18.1)$$

где ϵ_k — систематическая погрешность в поправке компаса, град; Θ — угол между направлениями градиентов первого и второго пеленгов, град; d — расстояние между ориентирами, мили.

Из формулы видно, что влияние погрешности в поправке компаса будет наименьшим, когда угол θ равен или близок к 90° . Если же угол между направлениями на ориентиры меньше 30° или больше 150° , то к полученному обсервованному месту следует относиться с осторожностью.

Пеленгованию, как любому измерению, сопутствуют случайные погрешности, к которым можно отнести погрешности из-за неточности наведения, колебаний в момент качки, отсутствия стабилизации в вертикальной плоскости и др. Это приводит к тому, что любому измеренному пеленгу соответствует погрешность m_n , град. Если такую погрешность подставить в формулу (17.9), то получим формулу для средней квадратической погрешности обсервации по двум пеленгам:

$$M_0 = \frac{m_n^0}{57,3^\circ \sin \Theta} \sqrt{D_1^2 + D_2^2}, \quad (18.2)$$

где D_1, D_2 — расстояния до ориентиров, морские мили; Θ — угол между направлениями градиентов первого и второго пеленгов, град.

Отсюда следует, что точность определения зависит от угла θ и расстояний до ориентиров.

При совместном учете систематических и случайных погрешностей средняя квадратическая погрешность места судна оценивается по формуле

$$M_0 = \frac{m_n^0}{57,3^\circ \sin \Theta} \sqrt{D_1^2 + D_2^2 - 2rD_1D_2 \cos \Theta}, \quad (18.3)$$

где m_n^0 — СКП пеленгов, град; r — коэффициент корреляции погрешностей первого и второго пеленгов:

- при благоприятных условиях измерения пеленгов и при ориентировочно известной поправке компаса в момент пеленгования $r = 1$;
- при неблагоприятных условиях пеленгования (качка, ограниченная видимость) и при надежно известной поправке компаса в момент пеленгования $r = 0$;
- во всех других случаях $r = 0,5$.

При незначительных случайных погрешностях наблюдения и уверенности в правильности учитываемой поправки компаса точность определения места судна по двум пеленгам вполне удовлетво-

рительная. Однако отсутствие третьей контрольной линии пеленгов не позволяет выявить грубые ошибки из-за неверного опознавания ориентиров, резкого изменения поправки компаса или промаха, допущенного при измерении, записи или прокладке пеленга. Именно поэтому обсервация по двум компасным пеленгам относится к разряду обсерваций с невысокой степенью надежности. Контроль отсутствия промахов осуществляется производством повторной обсервации, а надежность учитываемой поправки компаса определяется сравнением данной обсервации с местом судна, полученным по другим навигационным параметрам, не связанным с компасом. При одиночном определении по двум пеленгам грубая ошибка может быть выявлена при сопоставлении обсервованного и числимого (на тот же момент) места с учетом их точности.

18.2 Определение места судна по пеленгам трех навигационных ориентиров

Сущность способа и его практическое выполнение. Рассмотренный выше способ обладает существенным недостатком — отсутствием контрольной линии положения, что не дает возможности выявить возможный промах при измерении пеленгов. Для повышения надежности обсерваций и объективного суждения о поправке компаса производится пеленгование третьего ориентира.

При измерении пеленгов трех ориентиров судоводитель получает три линии положения, которые при отсутствии погрешностей в пеленгах пересекаются в одной точке. Эта точка и является обсервованным местом судна.

Перед измерением пеленгов выбирают на берегу три ориентира с расчетом, чтобы углы между их пеленгами были от 60° до 120° , и намечают порядок пеленгования. В общем случае первыми берут пеленги ориентиров, расположенных дальше от траверза, т. е. на более острых курсовых углах. Направления на них меняются медленнее и, следовательно, неодновременность пеленгования меньше будет сказываться на точности полученного места.

Ночью, чтобы сократить время между моментами пеленгования, этот порядок может быть изменен. Первыми пеленгуют маяки, на измерение пеленгов которых затрачивают больше времени. Например, если в видимости судоводителя имеются проблесковые и постоянные огни, то первыми, дождавшись проблеска, пеленгуют проблесковые огни, а затем — постоянные.

После опознания ориентиров, быстро и последовательно производится их пеленгование. При скорости судна более 10 узлов и незначительных расстояниях до ориентиров взятые пеленги приводят к одному моменту, измеряя их в таком порядке: три пеленга берут в обычной последовательности, а затем повторно измеряют пеленги второго и вслед за ним первого ориентира. Время и отсчет лага замечают при взятии третьего пеленга. Для исправления поправки компаса и прокладки на карте получают три отсчета компасных пеленгов:

$$ОКП_1 = \frac{ОКП'_1 + ОКП''_1}{2}; \quad ОКП_2 = \frac{ОКП'_2 + ОКП''_2}{2};$$

$ОКП_3$ остается без изменений.

Треугольник погрешностей. Приемы отыскания обсервованного места, оценка точности обсервации. Проложенные линии положения, как правило, не пересекаются в одной точке, а образуют треугольник, который получил название треугольника погрешностей (рис. 18.3). Возможные причины появления треугольника:

- 1) погрешности, обусловленные неодновременностью измерения пеленгов;
- 2) неточное нанесение ориентиров на карту или ошибки в опознании ориентиров;
- 3) случайные погрешности пеленгования и прокладки линий положения на навигационной карте;
- 4) ошибки в поправке компаса, принятой для исправления пеленгов.

Влияние первой причины может быть уменьшено применением изложенной выше методики пеленгования навигационных ориентиров.

Влияние второй причины может быть исключено путем использования только штатных средств навигационного оборудования и надежным опознанием этих средств.

Влияние третьей и четвертой причин может быть уменьшено применением специальных приемов или учета этого влияния.

Получение треугольника погрешностей при обсервации ставит перед судоводителем две задачи:

- найти вероятнейшее место судна, полученное в ходе обсервации;
- оценить точность этого места.

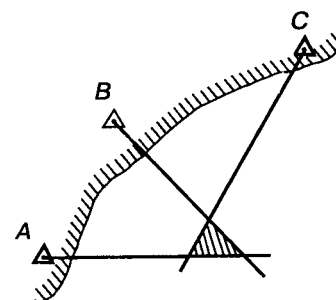


Рис. 18.3. Треугольник погрешностей

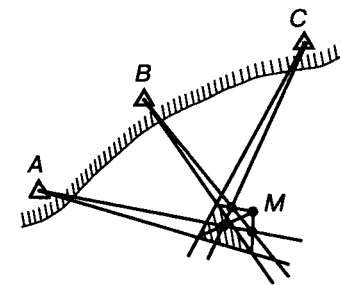


Рис. 18.4. "Разгон" треугольника погрешностей

Решение этих задач зависит от принятой гипотезы о характере причин, обусловивших возникновение треугольника погрешностей. Таких гипотез может быть несколько:

- треугольник появился вследствие промахов при снятии отсчета или при исправлении компасных пеленгов;
- треугольник обусловлен чисто случайными погрешностями, например, погрешностями пеленгования;
- треугольник обусловлен систематическими (постоянными или повторяющимися при измерении каждого пеленга) погрешностями;
- появление треугольника обусловлено совокупным влиянием систематических и случайных погрешностей.

Промахи в наблюдениях сразу же обнаруживаются из-за появления большого треугольника погрешностей. Чтобы убедиться, что причиной этого не является промах, измерения пеленгов повторяют, а расчеты проверяют.

Когда имеется уверенность в правильности опознания ориентиров и в отсутствии грубых погрешностей в пеленгах, а треугольник получается большим, то это свидетельствует о погрешности в принятой поправке компаса. Чтобы исключить такую погрешность, поступают следующим образом (рис. 18.4):

- все пеленги изменяют на 3–5° в ту или иную сторону, и после прокладки они образуют новый треугольник погрешностей;
- через сходственные вершины старого и нового треугольников погрешностей проводят линии, а точку их пересечения (M) принимают за обсервованное место судна, свободное от влияния систематической погрешности в поправке компаса ΔK ;

- точку M соединяют с ориентирами на карте и измеряют транспортиром полученные истинные пеленги. Сравнив их с компасными пеленгами тех же ориентиров, находят три значения поправки компаса $\Delta K = ОИП - ОКП$. Среднее арифметическое из полученных результатов принимают за действительную поправку на данном курсе.

Наиболее характерное расположение треугольников погрешностей, полученных первоначально и после прокладки измененных пеленгов, показано на рис. 18.5.

Случайные погрешности пеленгования и прокладки на карте измеренных пеленгов обычно невелики ($m_{\text{пел}} = 0,5 \div 0,7^\circ$). Поэтому треугольник погрешностей на путевой навигационной карте при расстояниях до ориентиров 10–12 миль получается незначительным. Его стороны, как правило, не превышают 5–7 мм.

Если треугольник близок к равностороннему, то obserвованное место принимается в его середине.

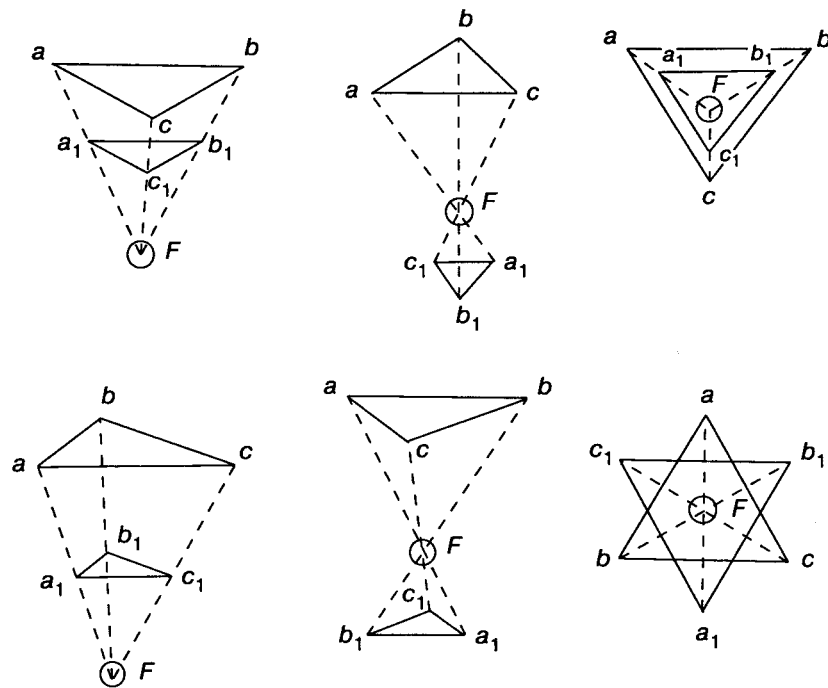


Рис. 18.5. Характерное расположение треугольников погрешностей

При равнобедренном и косоугольном треугольниках вероятнейшее место судна принимается ближе к меньшей стороне и углу, более близкому к прямому (на пересечении медиан).

Точность obserвованного места может быть оценена радиальной средней квадратической погрешностью M_0 , которая рассчитывается по формуле

$$M_0 = \frac{m_{\text{п}}^0}{57,3^\circ} \sqrt{\frac{D_1^2 D_2^2 + D_1^2 D_3^2 + D_2^2 D_3^2}{D_1^2 \sin^2 \alpha_1 + D_2^2 \sin^2 (\alpha_1 + \alpha_2) + D_3^2 \sin^2 \alpha_2}}, \quad (18.4)$$

где $\alpha_1 = КП_2 - КП_1$, $\alpha_2 = КП_3 - КП_2$, $\alpha_1 + \alpha_2 = КП_3 - КП_1$; D_1, D_2, D_3 — расстояния от obserвованного места до первого, второго и третьего ориентиров соответственно, мили.

Точность способа. Точность obserвованного места может оцениваться приближенной формулой

$$M_0 = \frac{m_{\text{лп(ср)}}}{\sin \Theta_{\text{ср}}}, \quad (18.5)$$

где $m_{\text{лп(ср)}}$ — среднее значение СКП линий положения;

$$m_{\text{лп(ср)}} = \frac{m_{\text{п}}^0}{3\rho^0} \sum_{i=1}^3 D_i; \quad (18.6)$$

$\Theta_{\text{ср}}$ — среднее квадратическое значение из острых углов треугольника погрешностей; ρ^0 — количество градусов в одном радиане.

Если все углы треугольника острые, то $\Theta_{\text{ср}} = 60^\circ$ и формула (18.6) приобретает вид

$$M_0 = 1,16 m_{\text{лп(ср)}} \approx 1,2 m_{\text{лп(ср)}}. \quad (18.7)$$

Если один внутренний угол треугольника тупой, то

$$\Theta_{\text{ср}} = \frac{2}{3} (\Theta_1 + \Theta_2), \quad (18.8)$$

где Θ_1, Θ_2 — острые углы треугольника.

При средних условиях точность определения места по трем пеленгам $M_0 = 1 \div 3$ кбт.

В заключение подчеркнем, что наиболее надежный контроль правильности опознания ориентиров и отсутствия грубых ошибок определений места достигается сопоставлением этих мест со счислением и наблюдениями по другим ориентирам и другими способами.

18.3 Определение места судна по двум горизонтальным углам

Сущность способа и его практическое выполнение. Рассматриваемый способ — один из самых старых визуальных способов определения места и обладает рядом важных достоинств:

- не требует для своей реализации наличия на судне курсоуказателя;
- является самым точным из визуальных способов определения места.

Его можно применять при сомнениях в поправке компаса и для повышения точности обсервации (например, при ведении дноуглубительных работ, бурении скважины, прокладки кабеля и др.).

К недостаткам способа относятся его трудоемкость, наличие случаев неопределенности и отсутствие контроля, вследствие чего возможны незамеченные промахи.

В рассматриваемом способе определения места судна в качестве навигационного параметра выступает горизонтальный угол между направлениями на два навигационных ориентира, измеренный секстаном. Этому навигационному параметру соответствует навигационная изолиния в виде окружности, проходящей через ориентиры и место судна. При измерении горизонтального угла между визуально наблюдаемыми ориентирами (расстояние до ориентиров не превышает 10–12 миль) эта окружность является плоской. Название навигационной изолинии — *изогона*. Градиент горизонтального угла g_α направлен к центру изогоны. Модуль градиента $[\bar{g}_\alpha] = g_\alpha$ определяется выражением

$$g_\alpha = \frac{b}{D_1 D_2}, \quad (18.9)$$

где b — расстояние между навигационными ориентирами (база); D_1, D_2 — расстояния до первого и второго ориентиров от места измерения соответственно (т. С).

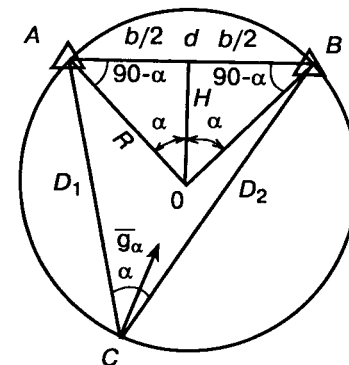


Рис. 18.6. Построение изогоны

Из рис. 18.6 следует, что центр изогоны (т. О) удален от центра базы на расстояние

$$H = \frac{b}{2} \operatorname{ctg} \alpha, \quad (18.10)$$

а радиус кривизны определяется выражением

$$R = \frac{b}{2} \operatorname{cosec} \alpha. \quad (18.11)$$

Построение изогоны может осуществляться двумя способами:

- нахождением центра изогоны и ее радиуса по формулам (18.10) и (18.11);
- нахождением центра изогоны путем графических построений: из точек А и В под углом $(90 - \alpha)^\circ$ к базовой линии проводятся два луча, а из середины базы (точка d) восстанавливается перпендикуляр к линии базы; все три линии при правильном построении пересекаются в одной точке — центре изогоны.

Точность способа. Точность изогоны оценивается средней квадратической погрешностью $m_{ил}$, рассчитываемой по формуле

$$m_{ил} = \frac{m_\alpha}{g_\alpha} = \frac{m_\alpha D_1 D_2}{b}, \quad (18.12)$$

где m_α — СКП измеренного (с учетом поправок) горизонтального угла, рад.

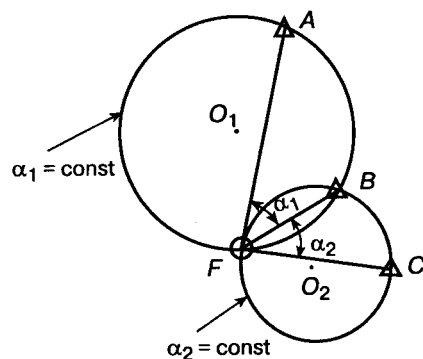


Рис. 18.7. Определение места судна по двум горизонтальным углам

В свою очередь

$$m_{\alpha}^2 = m_{\text{oc}}^2 + m_{\Delta\text{oc}}^2, \quad (18.13)$$

где m_{oc} — СКП отсчета секстана (при измерении угла секстаном); $m_{\Delta\text{oc}}$ — СКП учитываемой поправки секстана.

Если измерить горизонтальный угол между вторым (B) и третьим (C) ориентирами, то будет получена вторая навигационная изолиния $\alpha_2 = \text{const}$ (рис. 18.7). В пересечении первой и второй изолиний получим обсервованное место судна (т. F). Обе изолинии пересекаются в двух точках, однако неоднозначность не имеет места, так как в одной из этих точек находится средний ориентир.

Случай неопределенности имеет место тогда, когда все три ориентира и место судна оказываются на одной окружности (рис. 18.8). Признаком случая неопределенности является соблюдение равенства $\alpha_1 + \alpha_2 + \beta = 180^\circ$, где β — угол между базовыми линиями при среднем ориентире.

Неопределенность исключается при следующем взаимном расположении ориентиров:

- все три ориентира располагаются на одной прямой ($\beta = 180^\circ$);
- средний ориентир располагается ближе к счислимому месту судна, чем крайние ($\beta > 180^\circ$);
- счислимое место судна находится внутри треугольника, образованного ориентирами;
- счислимое место судна находится на равных расстояниях от всех трех ориентиров.

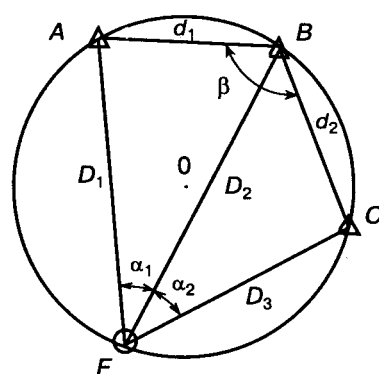


Рис. 18.8. Случай неопределенности

Горизонтальные углы между направлениями на навигационные ориентиры могут быть получены следующими приемами:

- непосредственным измерением углов навигационным или промерным секстаном;
- измерением визуальных пеленгов на ориентиры и их последующей обработкой.

При использовании секстана полученные в результате измерения углы (в градусах и угловых минутах) исправляют поправкой секстана Δ_{oc} , включающую в себя поправку индекса i и инструментальную поправку s . Таким образом, горизонтальный угол α рассчитывается по формуле

$$\alpha = OC + \Delta_{\text{oc}} = OC + (i + s),$$

где OC — отсчет секстана.

При использовании второго приема значения горизонтальных углов получаются как разности измеренных тем или иным способом пеленгов навигационных ориентиров (Π_1, Π_2, Π_3):

$$\alpha_1 = \Pi_2 - \Pi_1, \quad \alpha_2 = \Pi_3 - \Pi_2.$$

Такой прием рекомендуется к применению, когда все направления, измеренные с помощью компаса, содержат постоянную, но неизвестную погрешность.

В практике применения данного способа определения места судна обычно реализуются три способа получения места на морской навигационной карте:

- 1) построением навигационных изолиний;
- 2) с помощью протрактора;
- 3) с помощью кальки.

Первый способ наиболее точен, позволяет выявить случай неопределенности при одноразовом ОМС и не требует специальных навыков у судоводителей. Приемы нахождения центра изогонии и ее радиуса рассмотрены нами ранее. Способ находит широкое применение при построении сеток изолиний, соответствующих измеренным горизонтальным углам.

Второй способ находит применение, как правило, в однократной обсервации. При его реализации крайние подвижные линейки протрактора устанавливаются относительно средней неподвижной линейки под углами α_1 и α_2 . Затем грани линеек совмещаются с изображениями соответствующих ориентиров на карте. Цент-

ральная точка протрактора соответствует наблюдаемому месту судна.

Третий способ находит применение, когда на судне отсутствует протрактор. Из произвольной точки на кальке проводятся три луча, углы между которыми равны измеренным горизонтальным углам α_1 и α_2 . Накладывая кальку на карту, добиваются такого положения, при котором лучи проходят через изображения навигационных ориентиров. Место судна фиксируется уколom циркуля в точке, из которой проведены лучи.

При рассмотрении сущности способа определения места предполагалось, что оба угла α_1 и α_2 измеряются одновременно. На практике такое одновременное измерение может быть реализовано только при наличии двух наблюдателей. Если наблюдатель один, необходимо оба наблюдения привести к одному моменту. Для этого сначала измеряется один угол, например α'_1 , затем угол α_2 и опять угол α''_1 . В расчет принимается угол α_2 и среднее значение угла $\alpha_1 = (\alpha'_1 + \alpha''_1)$. Показания лага и время замечаются в момент измерения угла α_2 .

Применение этого метода имеет смысл только при большой скорости судна и ведении прокладки повышенной точности на карте крупного масштаба. Обычно уменьшения влияния неодновременности наблюдения добиваются соответствующим выбором порядка измерения углов:

- первым измеряется угол, для которого смещение навигационной изолинии за время между наблюдениями ориентиров будет минимальным;
- первым измеряется угол, требующий большего времени для измерения.

Время и отсчет лага относятся к моменту второго наблюдения.

Если планируется серия обсерваций по горизонтальным углам, то перед выходом судна в море на крупномасштабной карте вычерчивается сетка изолиний горизонтальных углов — семейство изогон (окружностей), соответствующих различным углам α . Центр окружности, вмещающей угол α_i , находится на перпендикуляре к середине базы b — отрезку между ориентирами — в удалении от нее

$$H = 0,5b_i \operatorname{ctg} \alpha_i.$$

Изогоны каждой пары ориентиров проводятся различным цветом. Каждая изогона оцифровывается соответствующим значением угла α_i .

Определение места судна в этом случае существенно ускоряется. Оно сводится к нахождению точки пересечения двух изогон, соответствующих наблюдаемым углам α_i .

Точность способа. Радиальная средняя квадратическая погрешность места судна может быть рассчитана по формуле

$$M_0 = \frac{1}{\sin \Theta} \sqrt{m_{\text{пл}1}^2 + m_{\text{пл}2}^2}.$$

В соответствии с известными формулами, имеем

$$m_{\text{пл}1} = \frac{m_{\alpha_1}}{g_{\alpha_1}} = \frac{m_{\alpha_1}}{\frac{d_1}{D_1 D_2}} = \frac{D_1 D_2}{d_1} m_{\alpha_1} = \frac{D_1 D_2}{3438 d_1} m_{\alpha_1};$$

$$m_{\text{пл}2} = \frac{m_{\alpha_2}}{g_{\alpha_2}} = \frac{m_{\alpha_2}}{\frac{d_2}{D_2 D_3}} = \frac{D_2 D_3}{d_2} m_{\alpha_2} = \frac{D_2 D_3}{3438 d_2} m_{\alpha_2}.$$

Тогда

$$M_0 = \frac{D_2}{\sin \Theta \cdot 3438} \sqrt{\left(\frac{D_1}{d_1}\right)^2 m_{\alpha_1}^2 + \left(\frac{D_3}{d_2}\right)^2 m_{\alpha_2}^2},$$

где Θ — угол пересечения линий положения.

В большинстве случаев $m_{\alpha_1} = m_{\alpha_2} = m_{\alpha}$, а $\Theta = 360^\circ - (\alpha_1 + \alpha_2 + b)$.

Тогда

$$M_0 = \frac{m_{\alpha} D_2}{3438 \sin(\alpha_1 + \alpha_2 + \beta)} \sqrt{\left(\frac{D_1}{d_1}\right)^2 + \left(\frac{D_3}{d_2}\right)^2}. \quad (18.14)$$

Из анализа формулы (18.14) следует, что для повышения точности места необходимо выбирать ориентиры, имеющие большие базовые расстояния d_1 и d_2 , как можно меньшие расстояния D_1 , D_2 и D_3 от судна, а также повышать точность измерения горизонтальных углов.

СКП обсервации по горизонтальным углам в средних условиях ($D = 8 \div 10$ миль, $b = 3 \div 5$ миль, $\Theta = 45^\circ$) оценивается величиной $M_0 = 0,1 \div 0,3$ кбт.

Глава 19

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА СУДНА ПО РАССТОЯНИЯМ

Сущность способа и его практическое выполнение. Способ определения места судна по расстояниям до визуально наблюдаемых ориентиров — один из наиболее старых способов. До интенсивного внедрения в практику решения навигационных задач судовождения радиолокационных станций само измерение расстояний производилось либо с использованием оптических средств (бинокль с нанесенной шкалой в делениях угломера, навигационный секстан), либо невооруженным глазом. При этом точность обсерваций не удовлетворяла требованиям безопасности плавания в прибрежных зонах вблизи навигационных опасностей.

В настоящее время способ находит относительно редкое применение, однако как резервный, при выходе из строя технических средств навигации, реализующих другие способы определения места, может обеспечить плавание судна с удовлетворительной точностью.

Измеренному до навигационного ориентира расстоянию соответствует навигационная изолиния в виде сферической (на шаре) или сфероидической (на эллипсоиде вращения) окружности. Центр этой окружности совпадает с местом ориентира. На карте в проекции Меркатора при относительно небольших расстояниях, характерных для визуальных способов определения места судна, эта изолиния изображается плоской окружностью с центром в точке, обозначающей ориентир. Модуль градиента расстояния g_d равен 1, а направление градиента τ_d совпадает с направлением линии обратного истинного пеленга ориентира, т. е. $\tau_d = \text{ОИП}$.

Если с судна измерить расстояния до двух ориентиров A и B , положение которых известно, а затем на карте из точек расположения этих ориентиров провести окружности радиусами, равными измеренным расстояниям, то одна из точек их пересечения (C) укажет место судна на момент измерения расстояний (рис. 19.1). Неоднозначность решения задачи разрешается привлечением дополнительной информации.

В случае, если наблюдатель один и невозможно измерить два расстояния одновременно или хотя бы достаточно быстро одно после другого, то, чтобы пренебречь ошибкой, происходящей от неодновременности измерения расстояний, можно измерить расстояние до одного ориентира, затем до второго и заметить время и

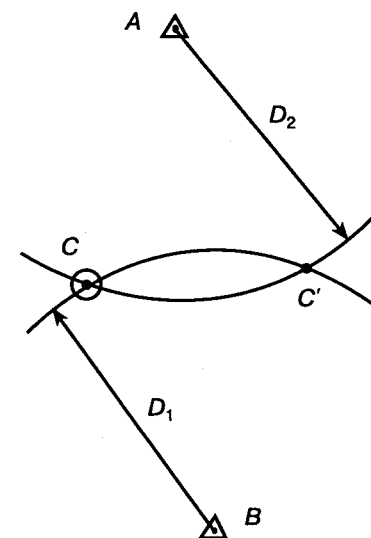


Рис. 19.1. Определение места судна по измеренным расстояниям до двух навигационных ориентиров

отсчет лага, а затем вторично измерить расстояние до первого ориентира.

Принимая, что за короткий промежуток времени расстояние меняется пропорционально времени, можно считать, что среднее из двух расстояний до второго ориентира будет относиться к моменту, в который измерено расстояние до второго ориентира.

В настоящее время существуют три способа определения расстояния в море:

- с помощью оптических дальномеров;
- по вертикальному углу ориентира;
- глазомерный.

На судах морского и смешанного река-море плавания дальномерный способ определения расстояния не нашел широкого применения вследствие отсутствия материальной базы. Расстояние, оцененное глазомерно, содержит значительные погрешности, что не позволяет его использовать в штурманском методе решения рассматриваемой задачи навигации. Поэтому, основным средством определения расстояния до навигационного ориентира стал навигационный секстан. Измеренный секстаном и исправленный соответствующими поправками вертикальный угол ориентира даст возможность определить расстояние до последнего, если известны его высота h и высота глаза наблюдателя e .

При определении расстояния до навигационного ориентира возможны два случая:

- основание ориентира находится за видимым горизонтом (измерение вертикального угла производится между видимым горизонтом и вершиной ориентира);
- основание ориентира расположено ближе видимого горизонта (вертикальный угол измеряется между направлением на вершину ориентира и урезом воды).

Рассмотрим первый случай, полагая Землю шаром радиуса $R = 6371116$ м. Пусть наблюдатель находится в точке C на высоте e над поверхностью Земли, высота ориентира над уровнем моря BM равна h , а вершина ориентира находится в точке M (рис. 19.2).

Измеряется вертикальный угол $\beta_{\text{изм}}$ между направлением на вершину ориентира и видимым горизонтом. Из-за земной рефракции этот угол будет равен углу между касательными CE и CL к световым лучам CM и CL' .

Обозначим угол между плоскостью истинного горизонта $H-H$ и касательной CL буквой d . Угол d называется наклоном видимого горизонта и, как правило, отрицателен. Из рис. 19.2 следует, что

$$\beta = \beta_{\text{изм}} - d. \quad (19.1)$$

Формула (19.1) алгебраическая, наклонение видимого горизонта d входит в нее со своим знаком. Рассматривая треугольник OCE , на основании теоремы синусов можно записать

$$\frac{\sin(180^\circ - D - 90^\circ - \beta)}{\sin(90^\circ + \beta)} = \frac{R + e}{R + h + ME} \quad \text{или}$$

$$\frac{\cos(D + \beta)}{\cos \beta} = \frac{R + e}{R + h + ME} = \left(1 + \frac{e}{R}\right) \left(\frac{1}{1 + \frac{h}{R} + \frac{ME}{R}} \right). \quad (19.2)$$

Правая часть равенства (19.2) допускает разложение второго множителя в биномиальный ряд. Ограничиваясь членами в первой степени, получим

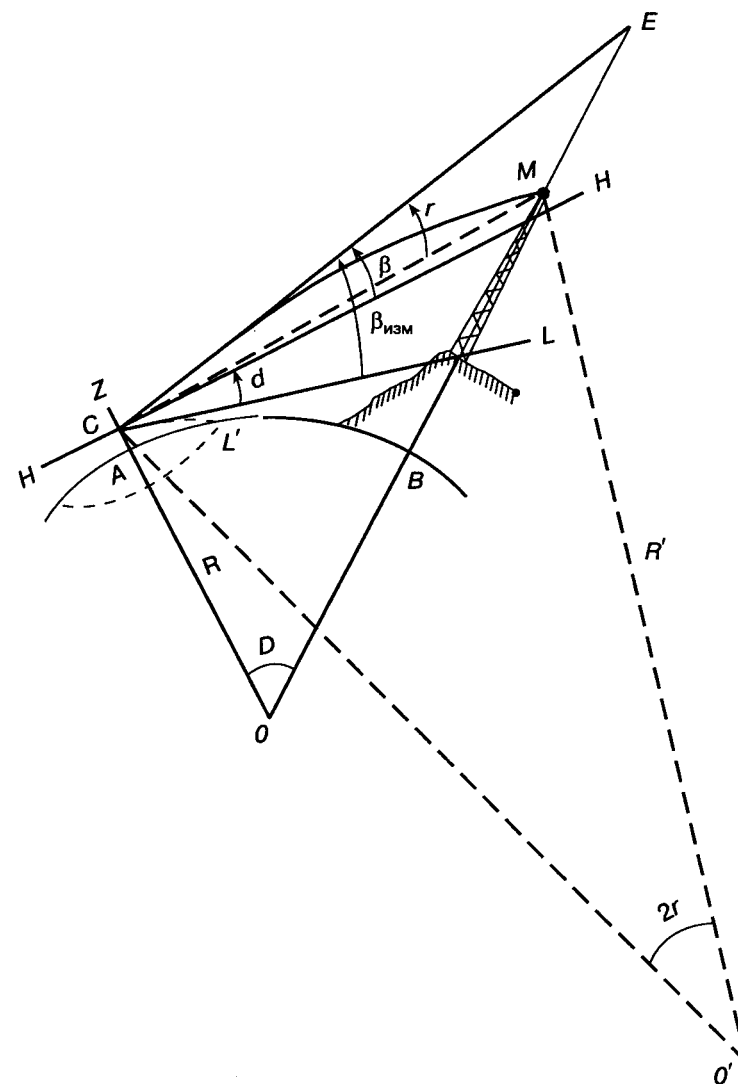


Рис. 19.2. Измерение вертикального угла относительно видимого горизонта

$$\frac{1}{1 + \frac{h}{R} + \frac{ME}{R}} = 1 - \frac{h}{R} - \frac{ME}{R}.$$

Тогда

$$\frac{\cos D \cos \beta - \sin D \sin \beta}{\cos \beta} = \left(1 + \frac{e}{R}\right) \left(1 - \frac{h}{R} - \frac{ME}{R}\right).$$

Раскрывая скобки правой части и отбрасывая члены из-за их малости, имеем

$$\cos D - \sin D \operatorname{tg} \beta = \frac{h-e}{R} - \frac{ME}{R}. \quad (19.3)$$

Из рассмотрения сектора $O'CM$ получим

$$CM = 2R' \sin\left(\frac{2r}{2}\right).$$

Заменяя CM на D и синус угла из-за малости угла самим углом, имеем

$$D = 2R'r.$$

В треугольнике CME угол при вершине M близок к 90° . Тогда

$$\operatorname{tg} r = \frac{ME}{CM}.$$

Откуда

$$ME = CM \operatorname{tg} r = D \operatorname{tg}\left(\frac{D}{2R'}\right) = \frac{D^2}{2R'} = \frac{D^2}{2R} \chi, \quad (19.4)$$

где R' — радиус кривизны земной рефракции; χ — коэффициент земной рефракции ($\chi = R/R'$).

Так как $\cos D = 1 - 2\sin^2 \frac{D}{2}$, а $\sin D = 2\sin \frac{D}{2} \cos \frac{D}{2}$, то в соответствии с выражениями (19.3) и (19.4) можно записать

$$1 - 2\sin^2 \frac{D}{2} - 2\sin \frac{D}{2} \cos \frac{D}{2} \operatorname{tg} \beta = 1 - \frac{h-e}{R} - \frac{\chi D^2}{2R^2}. \quad (19.5)$$

Так как углы D малы, можно положить

$$\sin \frac{D}{2} \approx \frac{D}{2}, \quad \cos \frac{D}{2} \approx 1.$$

Тогда выражение (19.5) представится в виде

$$D^2 \left(1 - \frac{\chi}{R^2}\right) + 2D \operatorname{tg} \beta - \frac{2(h-e)}{R} = 0$$

или

$$D^2 + \frac{2D \operatorname{tg} \beta}{\left(1 - \frac{\chi}{R^2}\right)} - \frac{2(h-e)}{R \left(1 - \frac{\chi}{R^2}\right)} = 0.$$

Приняв допущение, что $\operatorname{tg} \beta \approx \beta$ и выразив вертикальный угол β между плоскостью истинного горизонта и вершиной ориентира в угловых минутах, расстояние до ориентира D — в морских милях, высоту ориентира h над уровнем моря и высоту глаза наблюдателя e — в метрах, приняв, что $R = 3437,75$ морских миль, а $\chi = 0,16$, получим окончательную формулу для вычисления расстояния по измеренному вертикальному углу навигационного ориентира:

$$D = \sqrt{1,410(\beta')^2 + 4,409(h-e)} - 1,187\beta'. \quad (19.6)$$

По формуле (19.6) составлена табл. 2.7, помещенная в МТ-2000. Аргументами для входа в таблицу служат угол β от $3,0'$ до $7,0'$ и разность высот $(h-e)$ от 10 до 4000 м. Значения D даны с точностью до 0,1 мили.

Измеренный относительно плоскости истинного горизонта вертикальный угол β (19.1) должен быть исправлен поправкой за наклонение видимого горизонта. Наклонение видимого горизонта определяется выражением

$$d = \frac{D_e}{R} (1 - \chi). \quad (19.7)$$

Здесь d — в радианах, D_e и R имеют одну и ту же размерность.

Если выразить d в угловых минутах, то окончательно имеем

$$d' = \Delta\beta_d = 1,76\sqrt{e}, \quad (19.8)$$

где e — высота глаза наблюдателя, м.

По формуле (19.8) составлена табл. 3.21 МТ-2000.

Формула (19.8) справедлива для коэффициента рефракции $\chi = 0,16$, т. е. для стандартных условий, которые реализуются достаточно редко. Поэтому при возможности наклонение видимого горизонта предпочтительнее измерять с помощью наклономера.

Порядок вычисления расстояния.

Пример 1. Измерен вертикальный угол β между видимым горизонтом и вершиной горы: $OC = 2^\circ 08,6'$; $i + s = 1,5'$; $e = 15$ м; $h = 2435$ м. Определить расстояние D_y до горы.

Решение. 1) С карты снимаем счислимое расстояние до горы: $D_c = 31$ мили.

2) Из табл. 2.1 (МТ-2000) по $e = 15,0$ м выбираем дальность видимого горизонта $D_e = 8,1$ мили.

3) Так как $D_c > D_e$, то угол β измерялся над видимым горизонтом.

4) Из табл. 3.21 по $e = 15,0$ м выбираем поправку угла за наклонение видимого горизонта $\Delta\beta_d = \Delta h_d = -6,9'$.

5) Исправляем измеренный угол:

$$\beta = OC_\beta + (i + s) + \Delta\beta_d = 2^\circ 08,6' + 1,5' - 6,9' = 2^\circ 03,2'.$$

6) Рассчитываем разность высот $(h - e) = 2435 - 15 = 2420$ м.

7) Из табл. 2.7 по $(h - e) = 2420$ м и $\beta = 2^\circ 03,2'$ выбираем $D_y = 32,8$ мили.

Рассмотрим случай, когда основание ориентира расположено ближе видимого горизонта. Вертикальный угол измеряется между направлением на вершину ориентира и урезом воды. Будем полагать Земную поверхность в районе обсервации плоской, а коэффициент земной рефракции $\chi = 0$ (рис. 19.3).

Непосредственно из рисунка имеем

$$D = (h - e) \operatorname{ctg} (\beta_{\text{изм}} - d_{\text{л}})$$

или

$$D = (h - e) \frac{\operatorname{ctg} \beta_{\text{изм}} \operatorname{ctg} d_{\text{л}} + 1}{\operatorname{ctg} d_{\text{л}} - \operatorname{ctg} \beta_{\text{изм}}},$$

где $d_{\text{л}}$ — наклонение зрительного луча.

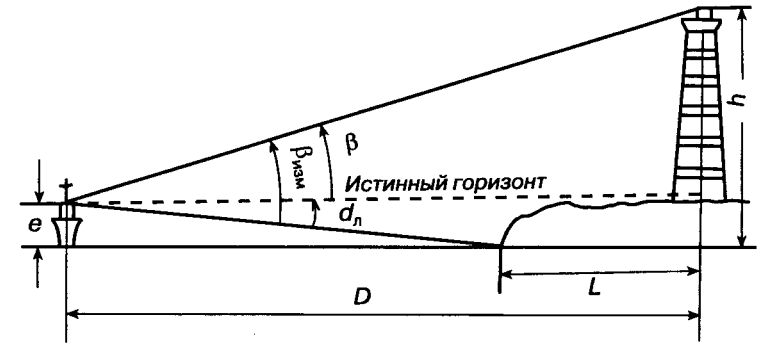


Рис. 19.3. Измерение вертикального угла относительно береговой черты

Подставив в последнюю формулу $\operatorname{ctg} d_{\text{л}} = \frac{D - L}{e}$, после несложных преобразований получим

$$D^2 - D(L + h \operatorname{ctg} \beta_{\text{изм}}) + (h - e)(L \operatorname{ctg} \beta_{\text{изм}} - e) = 0,$$

откуда

$$D = \frac{L + h \operatorname{ctg} \beta_{\text{изм}}}{2} + \sqrt{\left(\frac{L + h \operatorname{ctg} \beta_{\text{изм}}}{2}\right)^2 - (h - e)(L \operatorname{ctg} \beta_{\text{изм}} - e)}. \quad (19.9)$$

Расстояние D может быть получено по формуле (19.9) или с использованием табл. 2.7 (МТ-2000), однако в последнем случае измеренный вертикальный угол $\beta_{\text{изм}}$ следует исправлять не наклонением видимого горизонта d , а наклонением зрительного луча $d_{\text{л}}$. Эта физическая величина может быть выбрана из табл. 3.20 (МТ-2000).

Пример 2. Измерен вертикальный угол $\beta_{\text{изм}}$ между береговой линией и вершиной ориентира, $OC = 1^\circ 09,4'$. Определить расстояние до ориентира, если $(i + s) = +0,5'$; $e = 18$ м; $h = 100$ м. По карте измерены: расстояние от счислимого места судна до ориентира $D_c = 3,8$ мили, расстояние от ориентира до береговой линии $L = 1,2$ мили.

Решение. 1) Из табл. 2.1 по $e = 18$ м находим $D_e = 8,8$ мили. Так как $D_c < D_e$, то наблюдали всю высоту ориентира.

2) $\beta_{\text{изм}} = OC + (i + s) = 1^\circ 09,4' + 0,5' = 1^\circ 09,9' = 69,9'$.

3) Из табл. 3.20 по $e = 18$ м и $D_{\text{п}} = D_c - L = 26$ кбт, где $D_{\text{п}}$ — расстояние до береговой линии, выбираем $\Delta\beta_{\text{п}} = -13,9'$.

$$4) \beta = \beta_{\text{изм}} + \Delta\beta_{\text{п}} = 69,9' + (-13,9') = 56,0'.$$

5) Из табл. 2.7 по $b = 56,0'$ и $(h - e) = 82$ м получим $D_y' = 2,6$ мили.

6) Вычисляем поправку расстояния за удаление ориентира от береговой линии

$$\Delta D_L = \frac{e D_y' L}{h(D_C - L)} = \frac{18 \cdot 2,6 \cdot 1,2}{100 \cdot (2,6 - 1,2)} = +0,4 \text{ мили.}$$

7) Итак, в первом приближении искомое расстояние

$$D_y = D_y' + \Delta D_L = 2,6 + 0,4 = 3,0 \text{ мили.}$$

8) Уточняем расстояние до береговой линии

$$D_{\text{п}} = D_y - L = 3,0 - 1,2 = 1,8 \text{ мили,}$$

а по нему из табл. 3.20 — и поправку $\Delta\beta_{\text{п}} = -19,3'$. Для этих условий угол $\beta = 69,9' - 19,3' = 50,6'$.

9) Из табл. 2.7 по $\beta = 50,6'$ и $(h - e) = 82$ м получим уточнение $D_y' = 2,9$ мили, что приводит к $D_y = D_y' + \Delta D_L = 2,9 + 0,4 = 3,3$ мили. Дальнейшее уточнение дает следующие результаты:

$D_{\text{п}} = 3,3 - 1,2 = 2,1$ мили; $\Delta\beta_{\text{п}} = -16,8'$; $\beta = 69,9' - 16,8' = 53,1'$; $D_y' = 2,8$ мили, $D_y = 2,8 + 0,4 = 3,2$ мили. Окончательно принимаем $D_y = 3,2$ мили.

Следует учитывать, что в руководствах для плавания и на картах указывается высота ориентира относительно принятого нуля глубин. Поэтому в морях с приливами в высоту ориентира нужно вводить поправку δh за высоту мгновенного уровня. Неучет этой поправки вызовет методическую ошибку в рассчитанном расстоянии.

Точность способа. Точность определения места судна по двум расстояниям зависит от ряда факторов:

- точности измерения вертикального угла;
- точности учета высоты ориентира и глаза наблюдателя;
- отклонения значения коэффициента рефракции от принятого для расчетов значения $\chi = 0,16$;
- неодновременности измерения вертикальных углов;
- угла пересечения изолиний.

Для уменьшения ошибки от неодновременности измерения вертикальных углов первое наблюдение нужно делать до ориентира, расположенного ближе к траверзу (навигационный параметр

изменяется медленнее). Чтобы исключить указанную ошибку, производят осреднение первого наблюдения, повторяя его после второго.

Средняя квадратическая погрешность обсервованного места по двум расстояниям получается, если в формулу (17.8) подставить значения ошибок линий положения

$$M_0 = \frac{1}{\sin \Theta} \sqrt{m_{\text{лп1}}^2 + m_{\text{лп2}}^2 - 2rm_{\text{лп1}}m_{\text{лп2}} \cos \Theta} \quad (19.10)$$

При независимых погрешностях измерений двух навигационных параметров коэффициент корреляции равен нулю. В этом случае формула упрощается:

$$M_0 = \frac{1}{\sin \Theta} \sqrt{m_{\text{лп1}}^2 + m_{\text{лп2}}^2},$$

$$\text{где } m_{\text{лп1}} = \frac{D_1}{\beta_1} m_{\beta_1}, \quad m_{\text{лп2}} = \frac{D_2}{\beta_2} m_{\beta_2}.$$

При $m_{\beta_1} = m_{\beta_2} = m_{\beta}$ окончательно имеем

$$M_0 = \frac{m_{\beta}}{\sin \Theta} \sqrt{\left(\frac{D_1}{\beta_1}\right)^2 + \left(\frac{D_2}{\beta_2}\right)^2}.$$

Место получается тем точнее, чем ближе углы между изолиниями (дугами окружностей) к 90° .

Глава 20

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА СУДНА ПО РАЗНОВРЕМЕННЫМ ЛИНИЯМ ПОЛОЖЕНИЯ

Сущность способа. Все наблюдения, выполненные для определения места судна, являются, строго говоря, разновременными. Исключение составляют те относительно редкие случаи, когда измерения навигационных параметров производятся по общей команде несколькими наблюдателями.

При измерениях одним наблюдателем влияние неодновременности наблюдений обычно устраняют оптимальным выбором последовательности измерений, их быстротой, повторными измерениями навигационных параметров. Однако при больших промежутках времени между измерениями эти приемы оказываются мало эффективными или вообще непригодными. Появляется необходимость применения других методов обработки результатов навигационных измерений, т. е. разработки других способов определения места.

В практике судовождения часты случаи, когда необходимо уточнить координаты места судна, а в поле зрения имеется один навигационный ориентир, дающий возможность измерять только однородные навигационные параметры (например, пеленг или расстояние). Имеют место также случаи, когда в районе плавания судна имеются два или несколько ориентиров, однако зоны их действия не перекрываются и судоводитель производит навигационные измерения по мере появления их в поле зрения. В данных ситуациях находят применение специфические способы определения места судна.

Особенность разновременных наблюдений на ходу судна заключается в том, что измерения навигационных параметров производятся из разных мест. Возникает необходимость приведения результатов измерения к одному месту, или к одному зениту. После выполнения этой операции навигационные параметры и сведенные с ними навигационные изолинии (линии положения) называются приведенными. В пересечении приведенных изолиний или линий положения находится обсервованное место судна на момент обсервации T_0 , к которому приведены все измерения. В качестве T_0 принимают обычно момент последнего измерения.

Приведение к одному месту заключается в учете при обработке разновременных наблюдений перемещения судна за промежуток времени между моментом измерения i -го параметра T_i и моментом T_0 .

Перемещение судна за время $T_0 - T_i$ характеризуется вектором $\vec{S}_i$. Направление его относительно меридиана обозначим символом K (это может быть $ПУ_c$, $ПУ_a$, $ПУ_b$, $ИК$). Длина вектора $\vec{S}_i$: $S_i = (T_0 - T_i)V$, где V — путевая скорость.

Если в интервале времени $T_0 - T_i$ судно изменило курс, то вектор $\vec{S}_i$ определяется как сумма векторов его частных перемещений за это время.

Приведение навигационных параметров (изолиний, линий положения) может осуществляться двумя способами: графическим или аналитическим.

Рассмотрим подробнее графическое приведение к одному месту. Такое приведение состоит в том, что каждую точку приводимой i -ой навигационной изолинии смещают по направлению движения судна на величину S_i .

Если на навигационной карте изолиния изображается прямой (например, изолиния визуального пеленга), то из произвольной точки этой прямой проводится вектор абсолютного перемещения судна за промежуток времени между моментами навигационных измерений. Из конца этого вектора проводится прямая линия, параллельная исходной линии положения.

Если изолиния представляет собой окружность (изогона, изостадия), то смещению подлежит центр окружности. Из перемещенного центра проводится смещенная навигационная изолиния.

Если изолиния представлена сложной кривой (например, изобатой), то поступают следующим образом:

- на исходной изолинии намечают несколько характерных точек;
- каждую точку смещают на величину абсолютного перемещения судна;
- смещенные точки соединяют плавной кривой, получая приведенную навигационную изолинию.

Во всех случаях мы использовали для получения места вектор абсолютного перемещения судна $\vec{S}$ за время между измерениями навигационного параметра. Этот вектор определяется методом счисления. По этой причине место, полученное по разновременным линиям положения, называется счислимо-обсервованным.

Точность счислимо-обсервованного места. Общая формула для оценки точности счислимо-обсервованного места по двум линиям положения имеет вид

$$M_{co} = \frac{1}{\sin \Theta} \sqrt{m_{\text{лп1(пр)}}^2 + m_{\text{лп2}}^2}, \quad (20.1)$$

где $m_{\text{лп1(пр)}}$ — СКП первой приведенной линии положения; $m_{\text{лп2}}$ — СКП второй линии положения; $\Theta = \tau_2 - \tau_1$ — разность направлений градиентов второго и первого измеренных навигационных параметров.

В свою очередь

$$m_{\text{лп1(пр)}}^2 = m_{\text{лп1}}^2 + m_{\text{пр}}^2,$$

где $m_{лп1}$ — СКП первой линии положения; $m_{пр}$ — СКП приведения первой линии положения, или $m_{пр} = m_c(t)$ — СКП счисления пути судна за время $t = T_2 - T_1$ по направлению градиента g_{u1} , т. е. перпендикулярно первой линии положения.

Если считать распределение погрешностей счисления нормальным круговым, то

$$m_{пр} = m_c(t) = \frac{M_c(t)}{\sqrt{2}},$$

где $M_c(t)$ — СКП счисления в конечной точке.

Тогда

$$M_{co} = \frac{1}{\sin \Theta} \sqrt{m_{лп1}^2 + \frac{M_c^2(t)}{2} + m_{лп2}^2}. \quad (20.2)$$

В свою очередь

$$M_c(t) = \begin{cases} 0,7K_c t, & \text{при } t \leq 2 \text{ ч;} \\ K_c \sqrt{t}, & \text{при } t > 2 \text{ ч,} \end{cases} \quad (20.3)$$

где K_c — коэффициент счисления, зависящий от района плавания, гидрометеоусловий, точности учета дрейфа и течения.

Еще раз подчеркнем, что t — это промежуток времени между моментами измерения навигационных параметров.

20.1 Определение места судна по крьюс-пеленгу

Сущность способа. Данный способ находит применение, если в видимости судна находится один ориентир, а измерить расстояние до него не представляется возможным.

Пусть в моменты времени T_1 и T_2 измерены пеленги $П_1$ и $П_2$ на ориентир A . В промежутке времени $t_{12} = T_2 - T_1$ судно следовало постоянным курсом K со скоростью V_a и прошло в абсолютном перемещении расстояние $S_a = V_a t_{12}$ (рис. 20.1).

Проведем от ориентира линии обратных истинных пеленгов $ОИП_1$ и $ОИП_2$. В момент времени T_1 судно находилось на линии $ОИП_1$, а в момент времени T_2 — на линии $ОИП_2$. Расстояние от

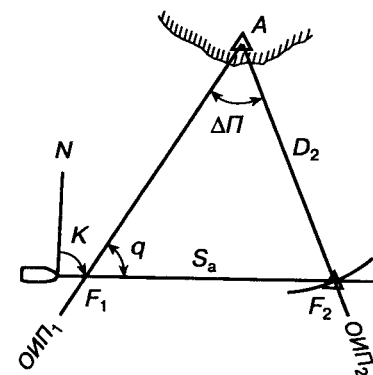


Рис. 20.1. Обоснование способа крьюс-пеленга

судна до ориентира D_2 в момент времени T_2 можно получить из треугольника F_1AF_2 по теореме синусов:

$$D_2 = \frac{\sin q}{\sin \Delta П} S_a, \quad (20.4)$$

где q — курсовой угол ориентира A ; $\Delta П$ — разность пеленгов.

При определении по крьюс-пеленгу место судна будет в точке пересечения двух линий положения — второго пеленга и окружности радиусом D_2 с центром в точке A . Оно называется *счислимо-обсервованным*, так как при его получении использовались не только вторая линия положения ($ОИП_2$), но и элементы счисления (q и S_a).

Практическое выполнение (общий случай). Наблюдения, вычисления и прокладку при определении места судна по крьюс-пеленгу выполняют в следующем порядке. Берут первый компасный пеленг навигационного ориентира, замечая время и отсчет лага $ол$. Когда направление на ориентир изменится на $30-40^\circ$, берут второй пеленг и вновь замечают время и $ол$.

Компасные пеленги исправляют поправкой компаса и рассчитывают пройденное судном расстояние между измеренными пелен-

$$\text{гами: } S_n = \rho ол \left(1 + \frac{\Delta л}{100} \right) \text{ или } S_n = \rho ол K_n.$$

Линии обратных истинных пеленгов прокладывают на карте (рис. 20.2). От точки пересечения первого пеленга с линией $ИК$ откладывают по курсу отрезок S_n , через конец которого проводят линию, параллельную первому пеленгу. В точке F пересечения этой линии со вторым пеленгом получают счислимо-обсервованное место судна на момент вторых наблюдений. На карте счислимо-об-

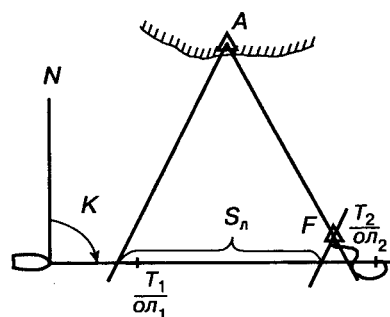


Рис. 20.2. Определение места судна по крюйс-пеленгу

сервованное место судна обозначают треугольником. При ведении прокладки с учетом дрейфа S_d откладывают на линии пути при дрейфе.

Можно применять другое графическое решение. Расстояние S_d откладывают по вспомогательной линии, проведенной на карте от ориентира параллельно ИК (линии пути при дрейфе) в направлении перемещения судна. Из конца отрезка S_d проводят прямую, параллельную первому пеленгу до пересечения со вторым.

В судовом журнале делается следующая запись:

20.00. ол = 53,3, $M_k A - 46,5^\circ$ ($\Delta K - 0,5^\circ$), 20.19. ол = 57,1, $M_k B - 81,0^\circ$ ($\Delta K - 0,5$), $C = 225^\circ - 2,3$ мили.

При плавании судна на течении, элементы которого известны, поступают следующим образом. Из произвольной точки F_1 (рис. 20.3) на линии первого пеленга прокладывают линию ИК судна и плавание S_d его по лагу за время между пеленгованиями. Из конца отрезка S_d (точка F_2) откладывают снос течением за время между взятием первого и второго пеленгов $S_T = V_T(T_2 - T_1)$.

Через полученную точку F_3 проводят линию, параллельную первому пеленгу. Точка F пересечения этой линии со второй линией положения станет счислимо-обсервованным местом судна на момент вторых наблюдений.

Если за время определений судно меняло курс, то от точки пересечения линии первого курса с линией первого пеленга прокладывают последовательно все курсы, откладывая по каждому из них S_{d1} , S_{d2} и т. д. Из конца отрезка последнего расстояния S_d проводят перенесенную линию положения.

Способ крюйс-пеленга можно использовать также и для определения места судна по разновременным пеленгам двух ориенти-

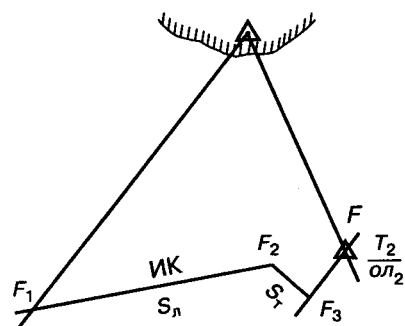


Рис. 20.3. Способ крюйс-пеленга при наличии течения

ров. Такой случай может возникнуть, если после взятия пеленга на первый ориентир он скрылся из пределов видимости, после чего открылся второй ориентир. В этом случае стремятся к тому, чтобы угол между пеленгами был больше 30° , а плавание между двумя наблюдениями — минимальным.

Точность способа. РСКП счислимо-обсервованного места судна рассчитывается по формуле

$$M_{co} = \frac{1}{\sin \Theta} \sqrt{(D_1^2 + D_2^2) \left(\frac{m_n^0}{57,3^\circ} \right)^2 + \frac{M_{c(t)}^2}{2}}, \quad (20.5)$$

где m_n^0 — СКП измеряемого пеленга, град; D_1, D_2 — расстояния от счислимого места до ориентира в моменты измерения пеленгов, мили; $M_{c(t)}$ — СКП счисления за время между моментами измерения пеленгов.

20.2

Определение места судна по крюйс-расстоянию

При определении расстояния с помощью вертикального угла и отсутствии возможности пеленгования ориентиров, использования судовой радиолокационной станции при больших ошибках радиолокационного пеленга, место судна можно получить способом крюйс-расстояния.

Практическое выполнение способа. Наблюдения, вычисления и прокладку при определении места судна по крюйс-расстоянию выполняют в следующем порядке. Измеряют расстояние D_1 до ориентира, фиксируя время T_1 и отсчет лага $ол_1$. Рассчитывают истинное расстояние $D_1 = D_1' + \Delta D$ и из ориентира проводят дугу радиусом D_1 (рис. 20.4). Рассчитывают счислимо место на момент T_1 (точка a) и уточняют его по результату измерения первого расстояния. Для этого точку a соединяют с ориентиром, а в точке K_1 пересечения этой линии с дугой радиуса D_1 принимают откорректированное место судна (этот перенос целесообразен только при плавании вблизи навигационных опасностей, когда линия курса после переноса оказывается смещенной в сторону опасности).

По результатам прокладки рассчитывают требуемый интервал времени t между измерениями расстояний до ориентира, обеспечивающий угол пересечения навигационных изолиний более 30° . На линии пути наносят счислимую точку, соответствующую расчетному времени измерения второго ориентира. В момент време-

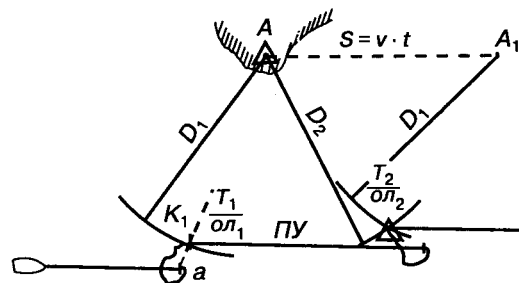


Рис. 20.4. Определение места судна по крюйс-расстоянию

ни, близкий к $T_2 = T_1 + t$, измеряют второе расстояние до ориентира (D_2'), фиксируя время T_2 и отсчет лага $ол_2$. Рассчитывают истинное расстояние $D_2 = D_2' + \Delta D$ и из ориентира проводят дугу радиусом D_2 .

По направлению пути от ориентира откладывают величину $S = V(T_2 - T_1)$ смещения ориентира и из конца отрезка S проводят дугу радиусом D_1 до пересечения с дугой радиусом D_2 . В точке пересечения дуг находится счислимо-обсервованное место судна на момент вторых наблюдений.

В судовом журнале делается следующая запись:

19.50. $ол = 23,2$, $M_K A D_1 = 84$ кбт ($\Delta D = 0,2$ кбт), 20.10. $ол = 26,7$, $M_K A D_2 = 104$ кбт ($\Delta D = 0,3$ кбт), $C = 300^\circ - 2,3$ мили.

Точность способа зависит от погрешностей в измерении расстояний, погрешностей счисления за время плавания между наблюдениями и угла между линиями положения.

20.3 Расчет кратчайшего расстояния до ориентира по двум разновременным пеленгам на него

Пусть судно следует по линии пути ПУ. Измерены два пеленга Π_1 и Π_2 на ориентир A . Если расстояние, пройденное судном между моментами измерения пеленгов, известно, то можно определить кратчайшее расстояние $D_{кр}$ до ориентира (рис. 20.5).

Из треугольника AF_1F_2 имеем

$$AF_2 = S \frac{\sin q}{\sin \Delta \Pi}.$$

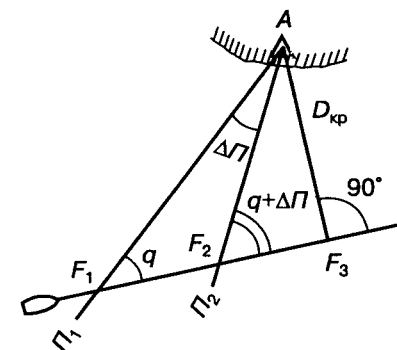


Рис. 20.5. Определение кратчайшего расстояния до ориентира

Аналогично из треугольника AF_2F_3 можно получить

$$D_{кр} = AF_2 \sin(q + \Delta \Pi) = S \frac{\sin q}{\sin \Delta \Pi} \sin(q + \Delta \Pi) \quad (20.6)$$

Обозначим

$$\frac{\sin q}{\sin \Delta \Pi} \sin(q + \Delta \Pi) = K_{\perp}. \quad (20.7)$$

Тогда

$$D_{кр} = K_{\perp} S. \quad (20.8)$$

В МТ-2000 включена табл. 2.34, из которой по аргументам q и $\Delta \Pi$ можно выбрать величину $K_{\perp}$.

Глава 21

КОМБИНИРОВАННЫЕ СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА СУДНА

В практике судовождения широкое применение находят способы определения места судна с использованием разнородных навигационных параметров. Эти способы в общем случае позволяют повысить надежность обсервации, быстроту обработки навигационной информации и, в конечном счете, точность плавания судна.

Безусловно, при реализации способов определения места судна по разнородным навигационным параметрам в силе остаются как общие положения по определению места судна, рассмотренные ранее в главе 17, так и основные свойства изолиний при измерении горизонтальных и вертикальных углов, пеленгов ориентиров, рассмотренных в главах 18–20.

21.1 Определение места судна по пеленгу и вертикальному углу

Сущность способа. Данный способ реализуется в двух вариантах:

- пеленг и вертикальный угол измеряются относительно одного ориентира;
- пеленг измеряется относительно одного ориентира, а вертикальный угол — относительно другого.

Первый вариант находит применение в том случае, когда виден один ориентир с известной высотой h . Измеряя пеленг на ориентир и определяя расстояние до него по измеренному вертикальному углу, получаем две навигационные изолинии — изоазимуту и изостадии. При относительно небольших расстояниях, что свойственно всем визуальным способам определения места судна, эти изолинии пересекаются практически под прямым углом. На карте в проекции Меркатора изоазимута изображается отрезком прямой, проведенной по направлению *ОИП* от ориентира. Изостадия изображается окружностью, проведенной из места ориентира радиусом, равным определенному расстоянию (рис. 21.1, а).

Если определение места производится по отдаленному ориентиру, то при плавании в высоких широтах измеренный пеленг дополнительно исправляется ортодромической поправкой.

Точность способа. Точность обсервации определяется точностью измерения пеленга и определения расстояния до ориентира. Она оценивается СКП места, которая рассчитывается по формуле

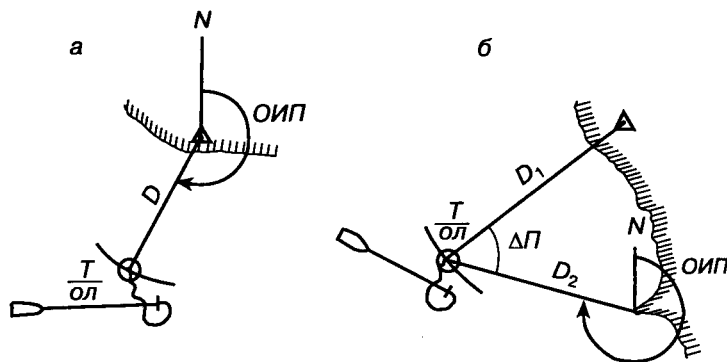


Рис. 21.1. Определение места судна по пеленгу и вертикальному углу

$$M_0 = \sqrt{\left(\frac{m_n^0}{57,3^\circ} D\right)^2 + m_D^2}, \quad (21.1)$$

где m_n^0 — СКП измеренного пеленга, град; m_D — СКП определенного расстояния, мили; D — определенное расстояние, мили.

Второй вариант находит применение в том случае, когда невозможно измерить пеленг и определить расстояние относительно одного и того же ориентира (рис. 21.1, б).

Радиальная средняя квадратическая погрешность обсервованного места судна

$$M_0 = \frac{1}{\cos \Delta\Pi} \sqrt{\left(\frac{m_n^0}{57,3^\circ} D_2\right)^2 + m_{D_1}^2}, \quad (21.2)$$

где $\Delta\Pi$ — угол между направлениями на ориентиры.

Точность места повышается (при прочих равных условиях) с уменьшением расстояния до ориентира.

В судовом журнале делается следующая запись:

20.00. *ол* = 57,3, $M_K A = 43^\circ,5$ ($\Delta K + 0,7$), $OC = O^\circ 07,4'$ ($i + s$) = 01,3', $e = 11$ м, $h = 33$ м, $D = 56$ миль, $C = 20^\circ - 1,8$ мили.

21.2 Определение места судна по пеленгу и горизонтальному углу

Сущность способа. Данный способ находит применение в том случае, когда один из двух находящихся в поле зрения ориентиров невозможно запеленговать (например, ориентир не наблюдается с места установки пеленгатора).

Измеренному пеленгу наблюдаемого ориентира соответствует навигационный параметр — изоазимута, измеренному горизонтальному углу между направлениями на ориентиры — изогона. Обсервованное место — в точке пересечения изолиний (рис. 21.2).

На карте, выполненной в проекции Меркатора, это место может быть получено тремя способами:

- 1) построением навигационных изолиний;
- 2) переходом к определению места по двум пеленгам;
- 3) с помощью кальки с нанесением на нее измеренного горизонтального угла.

При применении первого способа используются приемы нанесения на карту навигационных изолиний, рассмотренных в главе 18.

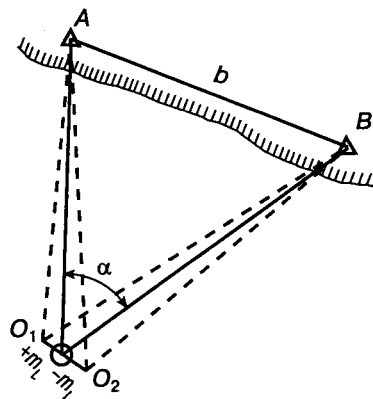


Рис. 21.2. Определение места судна по пеленгу и горизонтальному углу

При применении второго способа рассчитывается обратный истинный пеленг не наблюдаемого в пеленгатор ориентира

$$\text{ОИП}_2 = \text{ОИП}_1 + \alpha. \quad (21.3)$$

Формула (21.3) алгебраическая. В нее угол входит со своим знаком, который определяется положением не наблюдаемого в пеленгатор ориентира относительно линии пеленга наблюдаемого ориентира (“+”, если второй ориентир находится справа от линии пеленга первого ориентира; “−”, если — слева).

Третий способ получения места на морской навигационной карте предусматривает следующие действия:

- на кальку наносятся две прямые, пересекающиеся под углом, равным суммарному горизонтальному углу α ;
- на карту наносится линия обратного истинного пеленга наблюдаемого ориентира;
- калька накладывается на карту так, чтобы вершина горизонтального угла помещалась на линии ОИП;
- перемещением вершины горизонтального угла по линии ОИП добиваются такого ее положения, при котором лучи, образующие угол, проходят через первый и второй ориентиры; вершина угла — наблюдаемое место.

Точность способа. Точность наблюдаемого места зависит как от точности пеленгования, так и от точности измерения горизонтального угла.

Смещение изоазимуты $\Delta n_{\text{п}}$, обусловленное случайной погрешностью пеленга $\delta_{\text{п}}$, значительно больше смещения Δn_{α} , обус-

овленного случайной погрешностью δ_{α} . Поэтому смещением изогоны Δn_{α} можно пренебречь, а точность наблюдаемого места оценивать линейным средним квадратическим смещением m_L (см. рис. 21.2). Модуль этого смещения может быть рассчитан по формуле

$$m_L = \frac{m_n^0 b}{57,3^0 \sin \alpha}, \quad (21.4)$$

где b — расстояние между ориентирами.

Направление смещения m_L относительно линии обратного истинного пеленга рассчитывается по формуле

$$\tau = \arctg \frac{D_1 \sin \alpha}{D_1 \cos \alpha - D_2}, \quad (21.5)$$

где D_1 и D_2 — расстояния до первого (пеленгуемого) и второго ориентиров соответственно.

Наиболее просто величина и направление линейного смещения определяются графически: сначала обе линии пеленгов изменяются на величину $+m_L$ и находится точка O_1 , а затем — на величину $-m_L$ и находится точка O_2 . Отрезок $O_1 O_2 = 2m_L$ является отрезком, в пределах которого находится истинное место судна (с вероятностью 0,39). Изменяя направление пеленгов на $\pm 3m_L$, получим отрезок, в пределах которого находится истинное место с вероятностью 0,99. Линейное распределение погрешностей места дает более определенную информацию об истинном месте судна, чем круговое. Поэтому способ определения места по пеленгу и горизонтальному углу более предпочтителен по сравнению со способом двух пеленгов, особенно при $\alpha < 90^\circ$. Его удобно использовать, когда требуется знать направление вероятного распределения погрешностей места.

Ориентировочная (загрубленная) оценка точности места может производиться с помощью РСКП ($M_0 = m_L$).

В судовом журнале делается запись:

17.35. ол = 34,8 M_K А — 58°,4 ($\Delta K = 0,6$), M_K А — 43°,09,7' — 3_{нк} В, (i + s) = 01,2', C = 36° — 2,3 мили.

21.3 Определение места судна по горизонтальному и вертикальному углам

Сущность способа. Данный способ находит применение в том случае, когда в видимости наблюдателя находятся два ориентира, однако возможно измерение вертикального угла только одного ориентира, а проблемы измерения горизонтального угла между ориентирами нет.

Оба навигационных параметра измеряются одновременно двумя наблюдателями. Если наблюдатель один, то первый навигационный параметр измеряется дважды — до измерения второго навигационного параметра и после. В расчет принимается среднее арифметическое значение из результатов этих измерений. Время и отсчет лага фиксируются в момент измерения второго навигационного параметра. Первым измеряется тот параметр, который при данном расположении ориентиров изменяется медленней, чем другой.

Измеренному вертикальному углу соответствует навигационная изолиния — изостадия, измеренному горизонтальному углу — изогона. Градиенты навигационных параметров направлены из obserвованного места в сторону центров изолиний.

Обсервованное место на морской навигационной карте может быть получено двумя способами:

- 1) построением навигационных изолиний;
- 2) использованием кальки с нанесенным на нее горизонтальным углом.

Первый способ — построение изогон и изостадий — был рассмотрен в главах 18 и 19. Обсервованное место находится в точке пересечения изолиний.

Второй способ реализуется практически так же, как и определение места судна по пеленгу и горизонтальному углу. Различие — на карте проводится изостадия, по которой перемещают вершину горизонтального угла (рис. 21.3).

Точность способа. Оценка точности обсервованного места производится по формуле

$$M_o = \frac{1}{\sin \Theta} \sqrt{m_{\text{лп}\beta}^2 + m_{\text{лп}\alpha}^2} = \frac{1}{\sin \Theta} \sqrt{\left(\frac{D_1}{\beta} m'_{\beta}\right)^2 + \left(\frac{D_1 D_2 m'_{\alpha}}{3438 b}\right)^2}, \quad (21.6)$$

где m'_{α} и m'_{β} — средние квадратические погрешности горизонтального и вертикального углов, соответственно; D_1 и D_2 — расстояния

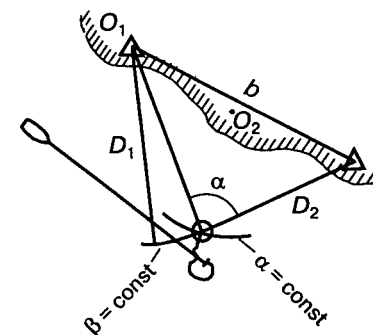


Рис. 21.3. Определение места судна по горизонтальному и вертикальному углам ориентиров

от обсервованного места до ориентиров; b — расстояние между ориентирами; Θ — угол между градиентами навигационных параметров.

21.4 Определение места судна по створу и измеренным навигационным параметрам

Навигационный створ, как линия положения. Под створом понимается система нескольких знаков (огней, маяков), расположенных на местности в соответствующем порядке и образующих линию положения, называемую осью. Для обозначения оси судового хода применяются осевые навигационные створы (рис. 21.4, а).

Осевые створы являются основой навигационного оборудования внутренних водных путей и составляют около 60% всех береговых навигационных знаков. Створная зона ограничивается визирными окружностями, которые проходят на протяжении действия створа через точки, соответствующие боковым отклонениям. Боковое отклонение — наибольшее расстояние по нормали от оси створа, на которое может отклониться судно от оси створа, не выходя из створной зоны. Основной характеристикой створа является его чувствительность — величина, обратно пропорциональная боковому отклонению. Створ тем чувствительнее, чем меньше боковое отклонение. Чувствительность створа — величина переменная и изменяется на протяжении дальности его действия.

Боковое отклонение

$$P = \frac{\epsilon_k}{3438} D_1 \left(\frac{D_1}{d} + 1 \right), \quad (21.7)$$

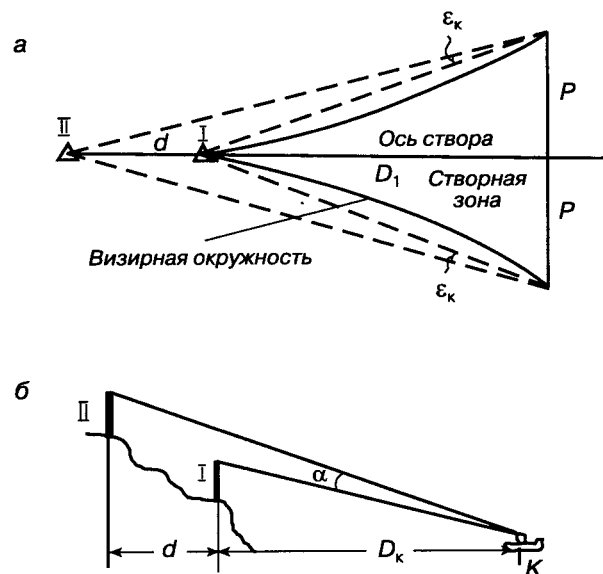


Рис. 21.4. Осевого навигационный створ

где ϵ_k — горизонтальный критический угол (минимальный угол, при котором обнаруживается раствор створных знаков), угловые минуты; D_1 — расстояние от судна до переднего створного знака, кбт; d — расстояние между створными знаками, кбт.

Горизонтальный критический угол зависит от величины вертикального угла створа α — угла между верхними кромками знаков (огней). Угол α берется в конечной точке K пользования створом (рис. 21.4, б).

Сравнительные величины вертикального и горизонтального ϵ_k углов створа при наблюдении створных знаков и огней невооруженным глазом представлены ниже:

α	2'	8'	14'	20'	26'
ϵ_k	1'	1'	1'	1,1'	1,3'

Для увеличения дальности видимости створных знаков и огней, облегчения их обнаружения и использования, более точного удержания знаков или огней в одной вертикальной плоскости при пла-

вании по створу применяют бинокль. Если плавание по створу обеспечивается только с использованием бинокля, то об этом обязательно указывается в руководствах для плавания “Огни и знаки”, “Огни”.

Эффективность использования бинокля для каждого конкретного случая различна и зависит от целого ряда факторов, совокупное влияние которых и определяет чувствительность створа. Применение шестикратного бинокля дает следующие результаты:

- дальность видимости огней увеличивается в 1,5 раза, а створных знаков — в 1,5–2 раза;
- вертикальный угол створа увеличивается пропорционально кратности бинокля;
- горизонтальный критический угол створа уменьшается в 1,5–6 раз в зависимости от вертикального угла α ;
- боковое уклонение P уменьшается в 1,5–6 раз.

Сравнительные значения горизонтального и вертикального углов при использовании бинокля представлены ниже:

α	12'	48'	84'	120'	156'
ϵ_k	0,17'	0,35'	0,55'	0,75'	0,93'

Определение места судна по створу и пеленгу. Способ отличается простотой и высокой точностью. В момент нахождения судна точно на линии створа определяется мгновенное значение поправки компаса и берется пеленг на навигационный ориентир A . Обсервованное место судна находится в точке пересечения линии створа с линией обратного истинного пеленга, проведенного через ориентир (рис. 21.5).

РСКП места рассчитывается по формуле

$$M_0 = \frac{1}{\sin \Theta} \sqrt{\left(\frac{P}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{m_n^0}{57,3^\circ} D_2\right)^2}, \quad (21.8)$$

где P — боковое уклонение судна от линии створа, рассчитываемое по формуле (21.7); D_2 — расстояние от обсервованного места до ориентира.

Средняя квадратическая погрешность пеленга

$$m_n = \sqrt{m_{\text{кп}}^2 + m_{\Delta\text{к}}^2},$$

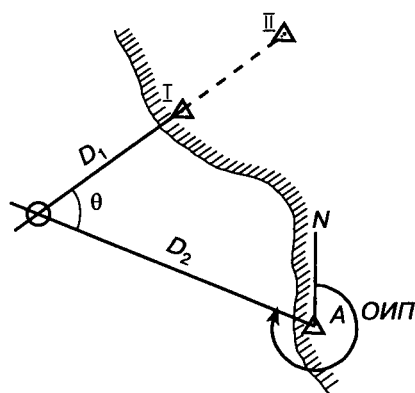


Рис. 21.5. Определение места судна по створу и пеленгу

где $m_{\text{кл}}$ — СКП пеленгования ориентира (створа); $m_{\Delta\kappa}$ — СКП определения по створу поправки компаса, которая рассчитывается по формуле

$$m_{\Delta\kappa} = \sqrt{m_{\text{кл}}^2 + \left(\frac{P}{\sqrt{3}D_1} 57,3^\circ \right)^2}.$$

В судовом журнале делается запись:

17.40. $ол = 31,3$. Входной створ — $58^\circ,3$, $M_{\kappa} A - 132^\circ,5 (\Delta K + 1^\circ,5)$, $C = 35^\circ - 2,7$ мили.

Определение места судна по створу и горизонтальному углу. Способ находит применение, когда наблюдателю, находящемуся у пелоруса с пеленгатором (у магнитного компаса), створные знаки не видны и, следовательно, нет возможности определить поправку компаса. Горизонтальный угол α измеряется между передним створным знаком и навигационным ориентиром A в момент нахождения судна на линии створа (рис. 21.6). Для нахождения места судна на карте используется протрактор (калька с нанесенным на нее горизонтальным углом). На протракторе устанавливается горизонтальный угол α .

Затем одна из используемых линеек (как правило, центральная) совмещается с линией створа, а вторая — с ориентиром. Место судна — в центральной точке протрактора. При данном способе получения места на карте его СКП

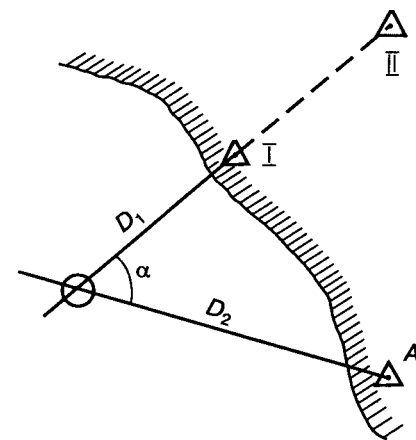


Рис. 21.6. Определение места судна по створу и горизонтальному углу

$$M_0 = \frac{1}{\sin \alpha} \sqrt{\left(\frac{P}{\sqrt{3}} \right)^2 + \left(\frac{m_{\alpha}}{3438} D_2 \right)^2}, \quad (21.9)$$

где m_{α} — СКП измеренного горизонтального угла, угловые минуты; P — боковое уклонение судна от линии створа; D_2 — расстояние до второго ориентира в единицах длины, используемых при расчете величины P .

В судовом журнале делается запись:

17.35. $ол = 84,5$. Входной створ — $53^\circ,8$, $M_{\kappa} A - 44^\circ,06,8 - 3_{\text{нк}} B$, $(i + s) = 01,4'$, $C = 49^\circ - 1,7$ мили.

Определение места судна по створу и расстоянию. Способ применяется в тех случаях, когда судно находится на створе (пересекает створ) и есть возможность измерить расстояние до берегового ориентира.

Способ эффективен, прост и точен при измерении расстояния до ориентира, расположенного на малых угловых расстояниях от линии створа. В этом случае изостадия пересекает линию створа под углом, близким к 90° .

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ В НАВИГАЦИИ

Глава 22

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА СУДНА С ПОМОЩЬЮ КРУГОВЫХ РАДИОМАЯКОВ И РАЗНОСТНО-ДАЛЬНОМЕРНЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

22.1 Классификация радионавигационных систем

Радионавигация — это наука о способах создания и применения навигационных средств, использующих эффект и закономерности распространения радиоволн для обеспечения подвижных объектов навигационной информацией. Как известно, навигационная информация представляет собой совокупность навигационных параметров, которые, в свою очередь, находятся в функциональной зависимости с параметрами радионавигационного (электромагнитного) поля и определяются путем измерения и преобразования последних радиотехническими устройствами. Радионавигационное поле создается источниками излучения радиоволн, находящимися в околоземном или космическом пространстве, в опорных радионавигационных точках, имеющих координаты, относительно которых определяется положение судна.

Совокупность передающих радиостанций на берегу или в околоземном космическом пространстве, береговой аппаратуры управления ими и приемной аппаратуры на судах, позволяющей определять место судна, пользуясь результатами измерений различных геометрических величин (навигационных параметров), называется *радионавигационной системой* (РНС).

Сведения, необходимые судоводителю для использования РНС, помещены в руководстве “Радиотехнические средства навигационного оборудования” (РТСНО), издаваемом Главным управлением навигации и океанографии МО РФ.

В зависимости от места расположения опорной станции, излучающей радионавигационной сигналы, РНС делятся на системы наземного и космического базирования.

С помощью РНС могут быть определены следующие навигационные параметры:

- расстояние между судном и опорной радионавигационной станцией;
- разность расстояний между судном и двумя радионавигационными станциями;
- угловая навигационная координата в виде азимута или курсового угла;
- скорость движения судна.

Путем обработки первичной информации определяются координаты места судна.

В зависимости от измеряемого навигационного параметра радионавигационные системы подразделяются на:

- дальномерные, дающие возможность измерить расстояние или изменение расстояний;
- разностно-дальномерные (гиперболические), измеряющие разность расстояний до двух станций;
- угломерные (азимутальные), позволяющие получить радиопеленги с судна на радиомаяк или с радиопеленгаторных станций на судно;
- радиально-скоростные, измеряющие скорость сближения (или удаления) источника радиоволн с приемником.

Некоторые РНС являются комбинированными, позволяющими определять сразу два навигационных параметра.

Процесс получения навигационной информации с помощью РНС заключается в измерении радионавигационных параметров, т. е. параметров электромагнитного поля, функционально связанных с навигационными параметрами, и определении численных значений этих навигационных параметров. В зависимости от того, какие параметры электромагнитного поля измеряются, РНС подразделяются на:

- амплитудные;
- фазовые;

- временные (импульсные);
- частотные;
- комбинированные (импульсно-фазовые).

РНС различают также и по другим признакам, например, по дальности действия (глобальные, дальней, средней и ближней навигации, лоцманской проводки).

Для получения места по измеренным значениям навигационных параметров используют следующие способы: графический (прокладка), картографический, таблично-графический, графо-аналитический, аналитический, применение которых будет показано при рассмотрении соответствующих РНС.

22.2 Принципы радиопеленгования. Радиокурсовой угол. Истинный радиопеленг

В настоящее время азимутальные РНС реализованы в виде радиомаячных систем, использующих в принципе своей работы направленный радиоприем. В составе системы имеется радиомаяк кругового радиоизлучения, расположенный на берегу, и радиопеленгатор, фиксирующий направление приема радиоволн, расположенный на судне.

Радиомаяки кругового излучения, или как их сокращенно называют, *круговые радиомаяки* (PM_K), представляют собой передающие радиостанции, работающие на объявленных радиочастотах и установленные в опорных радионавигационных точках. Они обладают ненаправленной характеристикой излучения, а передаваемые ими сигналы включают в свой состав опознавательный сигнал и продолжительный сигнал для радиопеленгования. Для обеспечения мореплавания радиомаяки объединены в группы, внутри которых они работают поочередно на одной и той же частоте. Допускается объединение в одну группу до шести радиомаяков. Время работы каждого радиомаяка составляет 1 мин, поэтому в этом случае полный цикл излучения группы составляет 6 мин.

В руководстве "Радиотехнические средства навигационного оборудования" (РТСНО) указываются координаты круговых радиомаяков, класс излучения, рабочая частота, частота модуляции (если это предусмотрено классом излучения), опознавательный сигнал, время работы, дальность действия либо мощность излучения сигнала. Для радиомаяков, работающих по запросу, указывается также порядок и адрес подачи запроса для включения.

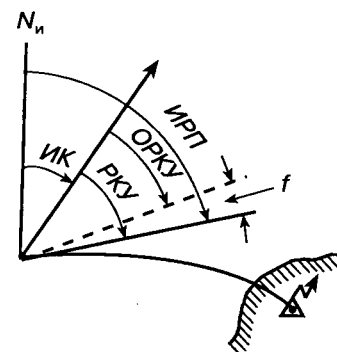


Рис. 22.1. Определение направлений при радиопеленговании

Радиомаяки кругового излучения по дальности действия подразделяются на радиомаяки дальнего действия (свыше 100 миль) и ближнего действия (до 100 миль). К последним также относятся автоматические маломощные радиомаяки, называемые *маркерами*.

Судовыми радиопеленгаторами называются радиоприемные устройства с антеннами направленного действия, позволяющие определять направления с судна на радиомаяки по излучаемым ими электромагнитным колебаниям.

На судах морского флота до недавнего времени применяли радиопеленгаторы двух типов: со слуховым приемом (по минимальному уровню звукового сигнала используемого радиомаяка в оконечном устройстве) и автоматические визуальные (со следящей искательной катушкой гониометра или вращающейся рамочной антенной). Оба типа радиопеленгаторов позволяют определить угол между диаметральной плоскостью судна и направлением распространения радиоволн от радиомаяка. Этот угол называется радиокурсовым ($ПКУ$) (рис. 22.1). Однако радиопеленгатор, как и магнитный компас, из-за влияния на него электромагнитных полей, индуцируемых токами высокой частоты в корпусе и других металлических конструкциях судна, подвержен девиации и дает искаженное значение направления на радиомаяк. Поэтому отсчет радиокурсового угла ($ОРКУ$), полученный непосредственно с лимба радиопеленгатора, нужно исправить поправкой.

Отклонение направления приходящей радиоволны под влиянием судовых полей вторичного излучения называется *радиодевиацией* и измеряется углом f .

$$ПКУ = ОРКУ + f.$$

$РКУ$ отсчитывается от носовой части диаметральной плоскости судна по часовой стрелке от 0 до 360°.

Направление распространения радиоволн совпадает с дугой большого круга (ортодромией) — кратчайшим расстоянием между двумя точками на земном шаре. Ортодромия на меркаторской карте изображается кривой линией, обращенной выпуклостью к ближайшему полюсу.

Ортодромия служит навигационной изолинией обратного пеленга — с радиомаяка на судно. Зная истинный курс судна в момент пеленгования, можно рассчитать пеленг на радиомаяк.

Угол между нордовой частью истинного меридиана и направлением распространения радиоволн называют истинным радиопеленгом ($ИРП$). Он отсчитывается от 0 до 360° по часовой стрелке. Из рис. 22.1 видно, что

$$ИРП = ИК + РКУ \quad (22.1)$$

или

$$ИРП = КК + \Delta ГК + ОРКУ + f. \quad (22.2)$$

Найденный таким образом $ИРП$ будет ортодромическим пеленгом ($Орт РП$), так как он определяет направление дуги большого круга.

Современные радиопеленгаторы имеют встроенный репитер гирокомпас, позволяющий непосредственно определить отсчет радиопеленга ($ОРП$). В этом случае

$$Орт РП = ОРП + \Delta ГК + f. \quad (22.3)$$

Радиодевияция переменна по величине и знаку; ее величина зависит от радиокурсового угла, под которым радиоволна приходит на судно, а также от длины радиоволны, излучаемой радиомаяком. Уменьшение (“уничтожение”) радиодевииции производится с помощью специального компенсационного устройства радиопеленгатора. Однако полностью “уничтожить” радиодевиицию не представляется возможным.

Остаточная радиодевииция определяется на нескольких длинах радиоволн путем сравнения визуально измеренных курсовых углов на радиомаяк $КУ$ со снятыми в то же время радиокурсовыми углами $ОРКУ$:

$$f = КУ - ОРКУ. \quad (22.4)$$

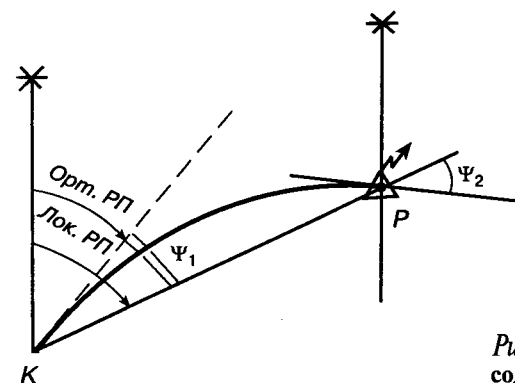


Рис. 22.2. Прокладка линии локсодромического пеленга

По результатам измерений составляются таблица и график радиодевииции, аргументом для входа в которые служит отсчет радиокурсового угла.

Навигационной изолинией при радиопеленговании с судна является *изоазимута* — геометрическое место вершин равных сферических углов между истинным меридианом и направлением ортодромии, проходящей через место радиомаяка P . Изоазимута на карте в меркаторской проекции изображается сложной кривой, что существенно затрудняет ее прокладку. Поэтому вместо нее на карте прокладывается линия локсодромического пеленга, который отличается от ортодромического пеленга на величину ортодромической поправки ψ (рис. 22.2) и представляет собой прямую линию.

Значение локсодромического пеленга рассчитывают по формуле

$$Лок РП = Орт РП + \psi \quad (22.5)$$

Ортодромическая поправка может быть найдена по приближенной формуле:

$$\psi = 0,5 \Delta \lambda \sin \varphi_{cp}, \quad (22.6)$$

где $\Delta \lambda = (\lambda_p - \lambda_c)$ — разность долгот между счислимым местом судна и радиомаяком;

$$\varphi_{cp} = \frac{\varphi_p + \varphi_c}{2} \quad \text{— средняя широта между параллелями ра-}$$

диомаяка и счислимого места судна.

Величину ортодромической поправки выбирают из табл. 2.12 МТ-2000.

22.3 Определение места судна по РНС “Лоран-С” и “Чайка”

Общие сведения. Система “Лоран-С” предназначена для определения местоположения и скорости подвижных объектов. Дальность действия системы достигает 1700 км и 4000 км соответственно на поверхностных и пространственных сигналах. При этом заявленная точность определения места ($P = 0,95$) составляет 0,46 км. Подобная система, использующая тот же частотный диапазон, развернута в России и прилегающих странах и называется “Чайка”. В соответствии с Федеральным Радионавигационным Планом США (2001 г.) применение системы “Лоран-С” может быть завершено после 2005 г.

Принцип действия. Системы “Лоран-С” и “Чайка” являются импульсно-фазовыми разностно-дальномерными РНС с синхронизацией моментов излучения и фазы импульсных сигналов, излучаемых опорными станциями на средней частоте 100 кГц. Таким образом, в этих системах одновременно реализованы положительные свойства импульсных (отсутствие многозначности измерений) и фазовых (высокая точность) радионавигационных средств.

Измерение навигационного параметра в РНС “Лоран-С” и “Чайка” выполняется двумя методами:

- импульсным (временным), путем измерения интервала времени между моментами прихода импульсов от двух береговых станций (грубые измерения по огибающей импульсов);
- фазовым, путем измерений разности фаз между высокочастотными колебаниями (несущими частотами) указанных импульсов сигналов (точные измерения).

Это является основной особенностью, отличающей системы “Лоран-С” и “Чайка” от РНС “Декка”.

Точность навигационных определений обуславливается фазовым методом измерений. Импульсный метод служит, по существу, лишь для разрешения многозначности фазовых измерений.

Принцип фазового метода измерения навигационного параметра заключается в следующем.

Пусть береговые станции A и B (рис. 22.3) излучают на одной частоте незатухающие колебания, согласованные по фазе в момент излучения. Судно, находящееся в точке K , принимает эти сигналы

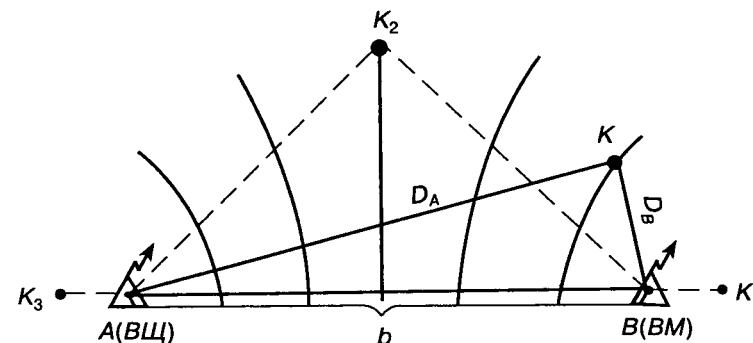


Рис. 22.3. Принципы фазового и импульсного методов измерения навигационных параметров

от станции A — в фазе φ_A , а от станции B — в фазе φ_B . Разность фаз этих сигналов

$$\Delta\varphi = \varphi_B - \varphi_A. \quad (22.7)$$

Фаза колебаний, выраженная в градусах или частях периода, может быть представлена формулой

$$\varphi = \omega t. \quad (22.8)$$

Если выразить круговую частоту как

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{\lambda} c, \text{ а } t = \frac{D}{c},$$

где T — период колебаний; λ — длина радиоволны; c — скорость распространения радиоволны; D — расстояние от судна до наземной станции, то на основании формул (22.7) и (22.8) получим окончательное выражение величины разности фаз:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} c \frac{D_B}{c} - \frac{2\pi}{\lambda} c \frac{D_A}{c} = \frac{2\pi}{\lambda} (D_B - D_A)$$

или

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta D. \quad (22.9)$$

Как видно из формулы, разность фаз пропорциональна разности расстояний до наземных станций (величина $\frac{2\pi}{\lambda}$ постоянна).

Навигационный параметр — разность расстояний ΔD — измеряется на судне с помощью фазометра косвенно, через радионавигационный параметр — разность фаз $\Delta\varphi$.

Известно, что постоянной величине разности расстояний (разности фаз) соответствует навигационная изолиния — гипербола.

Разность фаз колебаний, как и сама фаза, изменяется в пределах от 0 до 2π , от 0 до 360° . Изменение разности фаз на величину 2π называется *фазовым циклом*.

Полоса на местности, ограниченная двумя гиперболами, в пределах которой разность фаз меняется на один фазовый цикл, называется *фазовой дорожкой*.

Фазометры судового приемоиндикатора измеряют только дробную часть фазового цикла. Поэтому каждому отсчету $\Delta\varphi$ будет соответствовать несколько гипербол, отличающихся друг от друга на фазовый цикл 2π . Таким образом, в каждой дорожке найдется по одной гиперболе, соответствующей измеренному отсчету $\Delta\varphi$. Многозначность измерений может быть разрешена с помощью импульсного метода.

Суть импульсного метода заключается в следующем. В точке K находится судно, на котором измеряют интервал времени $\Delta t = t_A - t_B$ между моментами прихода двух импульсов от ведущей A ($BIII$) и ведомой B (BM) станций (см. рис. 22.3).

Разность расстояний ΔD от места судна K до береговых станций находится по формуле

$$\Delta D = D_A - D_B = c \Delta t, \quad (22.10)$$

где c — скорость распространения радиоволн.

Величина Δt определяется с помощью судового приемоиндикатора. Одной и той же разности расстояний ΔD соответствуют две изолинии, так как гипербола является кривой, симметричной относительно мнимой оси.

Для исключения этой неопределенности в импульсно-фазовых системах ведомая станция излучает сигнал после приема сигнала от ведущей станции, т. е. работает с постоянным запаздыванием, равным

$$t_3 = \frac{b}{c} + t_k, \quad (22.11)$$

где b — база станций — расстояние между станциями A и B ; t_k — кодовая задержка.

При необходимости кодовая задержка может быть использована для создания закрытого режима работы с целью предотвращения несанкционированного использования РНС. Величины кодовых задержек выбираются такими, чтобы в рабочей зоне действия РНС импульсы ведущей и ведомой станций не перекрывались друг с другом и приходили на судовой приемоиндикатор отдельно.

В этом случае разность времен прихода сигналов

$$\Delta t = \frac{\Delta D}{c} + \frac{b}{c} + t_k. \quad (22.12)$$

На продолжении базовой линии со стороны ведомой станции в произвольной точке K_1 отсчет радионавигационного параметра $\Delta t = t_k$.

На нормали к середине базы в точке K_2

$$\Delta t = t_{DB} + t_b + t_k - t_{DA}.$$

Так как $t_{DB} = t_{DA}$, то

$$\Delta t = t_b + t_k.$$

На продолжении базовой линии со стороны ведущей станции в точке K_3

$$\Delta t = 2t_b + t_k.$$

Таким образом, оцифровка семейства гипербол пары станций изменяется от ведомой станции к ведущей от величины t_k до $2t_b + t_k$, что обеспечивает:

- однозначность отсчета радионавигационного параметра (каждому значению Δt соответствует одна конкретная ветвь гиперболы);
- положительное значение радионавигационного параметра по всей рабочей зоне действия пары станций ($\Delta t > 0$);
- уверенное опознание сигналов, так как в любой точке действия пары станций сигнал ведомой станции приходит на судно позднее сигнала ведущей.

Таким образом, целое число периодов в принятом сигнале определяется импульсным методом, а дробная часть периода колебания — фазовым, т. е. путем измерения разности фаз между высокочастотными колебаниями, заполняющими импульсы. Здесь разность фаз приходящих сигналов трансформируется во временную меру, соответствующую измеренной части периода колебаний.

Полный отсчет радионавигационного параметра формируется следующим образом.

По результатам измерений импульсным методом получаем целую часть частного

$$\Delta t_{\text{и}} = \left[\frac{\Delta D}{c} \right] = \left[\frac{\Delta D \cdot T}{\lambda} \right], \quad (22.13)$$

где λ и T — длина волны и период несущих колебаний соответственно.

Так как $\frac{\Delta D}{\lambda} = N$ — целое число, то можно написать

$$\Delta t_{\text{и}} = NT, \quad (22.14)$$

т. е. импульсным методом измеряется целое число — количество периодов колебаний, заключенных в принятом радиосигнале. Определив величину N , тем самым представляется возможным устранить многозначность фазовых измерений, т. е. найти целое число отсчета радионавигационного параметра.

Результат измерения фазовым методом выразим в микросекундах, для чего разность прихода импульсов между двумя береговыми станциями определим через разность фаз $\Delta \Phi$:

$$\Delta t_{\text{ф}} = \frac{\Delta \Phi \cdot T}{2\pi}. \quad (22.15)$$

Здесь $\frac{\Delta \Phi}{2\pi}$ — разность фаз в фазовых циклах.

Так как $\Delta \Phi < 2\pi$, то формула (22.15) выражает дробную часть периода T , мкс.

Сложив целую часть отсчета (22.14) с дробной частью (22.15), получим полный отсчет радионавигационного параметра

$$\Delta t = \Delta t_{\text{и}} + \Delta t_{\text{ф}} = NT + \frac{\Delta \Phi \cdot T}{2\pi}. \quad (22.16)$$

Для безошибочного определения целого числа периодов необходимо, чтобы погрешность импульсных измерений была меньше периода несущих колебаний, т. е.

$$\delta t_{\text{и}} < \frac{T}{2}. \quad (22.17)$$

Для РНС “Лоран-С” $\delta t_{\text{и}} < 5$ мкс.

В приемоиндикаторах с помощью отдельных систем слежения за особой точкой огибающих и периодом несущих колебаний, соответствующих этой особой точке, а также автоматического измерения разности фаз несущих колебаний достигается высокая точность измерения радионавигационного параметра. При этом импульсный счетчик дает грубые отсчеты параметра $\Delta t_{\text{и}}$ (число N целых периодов T колебаний), а фазовый счетчик — $\Delta t_{\text{ф}}$ — точные отсчеты до сотой доли периода T .

На радионавигационных картах и в специальных таблицах все расчеты выполнены для случая приема поверхностных сигналов. В случае приема пространственных сигналов необходимо учитывать поправку за распространение радиоволн пространственным путем. Величина и знак поправок для различных сочетаний приходящих сигналов дается на радионавигационных картах или в специальных таблицах.

Точность определения места. При определении места судна с помощью РНС “Лоран-С” обычно используют две гиперболы. Точность определения места судна зависит от погрешностей определения навигационного параметра и геометрического фактора (угла пересечения линий положения и базовых углов). При пользовании радионавигационными картами на точность также влияет погрешность нанесения гипербол на карту.

Применительно к РНС “Лоран-С” формула для расчета РСКП будет следующей:

$$M_0 = \frac{m_{\Delta t}}{\sin \Theta} \sqrt{\left(\frac{d_1}{\Delta T_1} \right)^2 + \left(\frac{d_2}{\Delta T_2} \right)^2}. \quad (22.18)$$

Пример. Определили место по “Лоран-С”. Погрешность измерения промежутка времени $m_{\Delta t} = 0,3$ мкс. С карты взяли расстоя-

ние между оцифрованными гиперболами $d_1 = d_2 = 5$ миль; разность оцифровки $\Delta T_1 = \Delta T_2 = 10$ мкс; $\Theta = 30^\circ$. Найти M_0 .

Решение.

$$M_0 = \frac{0,3}{0,5} \sqrt{\left(\frac{5}{10}\right)^2 + \left(\frac{5}{10}\right)^2} = 0,4 \text{ мили.}$$

ГЛАВА 23

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СУДОВЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ

23.1 Назначение и принцип действия судовых навигационных РЛС

Радиолокация — метод обнаружения в пространстве различных объектов посредством радиоволн. Этот метод реализуется в радиолокационных станциях (РЛС), действие которых основано на использовании явления отражения радиоволн от различных объектов, расположенных на пути их распространения.

Судовая РЛС — это установленная на судне РЛС, предназначенная для обнаружения и последующего наблюдения за берегом, судами, льдами и другими объектами, представляющими интерес для судоводителя.

Судовая навигационная РЛС (НРЛС) обеспечивает возможность измерять расстояния, пеленги и курсовые углы на объекты и применяется для определения места судна в географической и относительной системах координат при самых разнообразных условиях плавания.

Навигационные радиолокационные станции представляют собой импульсные радиотехнические средства, работа которых основана на использовании зависимости между временем распространения радиосигнала и навигационным параметром. Такая РЛС периодически излучает кратковременные импульсы колебаний СВЧ, а в промежутке между излучениями принимает отраженные от объектов импульсные сигналы, запаздывающие на время $t_3 = 2D/c$. Здесь D — расстояние до объекта, а c — скорость распространения радиоволн. По измеренному интервалу времени рассчитывается дальность до объекта $D = ct_3/2$. Направление (азимут) на объект определяется с помощью антенны направленного действия. При повороте антенны в горизонтальной плоскости, когда цель окажется в преде-

лах ее диаграммы направленности, на вход приемника РЛС поступают отраженные сигналы. При совпадении оси диаграммы направленности антенны с целью напряжение на входе приемника будет максимальным, и указатель поворота антенны покажет направление на объект. При нахождении в радиусе действия РЛС нескольких целей отраженные сигналы от них будут смещены по времени и азимуту. Отраженные сигналы от объекта отображаются на экране РЛС, что дает возможность определять его координаты.

Основной недостаток радиолокационного метода пеленгования — относительно невысокая точность определения направления на объект.

РЛС применяются автономно или совместно с береговыми устройствами — радиолокационными отражателями и радиолокационными маяками-ответчиками, находящимися в радионавигационных точках.

Определение места судна относительно отражающих объектов производится по пеленгу и расстоянию до них. Поэтому навигационные РЛС являются дальномерно-азимутальными радиотехническими средствами.

Возможность определения местоположения судна при плавании в сложных условиях (малая видимость, наличие навигационных опасностей, узкостей и др.), наглядность отображения внешней обстановки в районе плавания делают РЛС одним из основных технических средств судовождения.

РЛС позволяет решать следующие задачи:

- определение координат места судна по точечным и пространственным ориентирам путем измерения радиолокационных пеленгов и дистанций;
- определение места судна по пространственным ориентирам путем совмещения равномасштабных изображений береговой линии или отражающих горизонталей, наблюдаемых на индикаторе кругового обзора РЛС и на карте;
- опознание побережья и глазомерная ориентировка при плавании в стесненных условиях;
- обнаружение надводных навигационных опасностей, плавучего льда, ливневых облаков и снежных зарядов;
- обнаружение и наблюдение встречных судов, определение элементов их движения для оценки ситуации недопустимого сближения и решения задачи безопасного расхождения с ними;
- определение относительного места судна при плавании в караванах;
- определение маневренных элементов судна.

Навигационные РЛС, входящие в состав автоматизированных навигационных комплексов или в интегрированное оборудование ходового мостика, или сопрягаемые с системами автоматической радиолокационной прокладки, позволяют, кроме того:

- автоматизировать процесс прокладки линий относительного движения встречных судов, выполнять расчеты элементов их движения и маневра расхождения с ними;
- осуществлять обсервационную прокладку пути судна при плавании в стесненных условиях и в прибрежной зоне;
- непосредственно измерять элементы суммарного сноса судна.

К недостаткам навигационных РЛС, влияющим на безопасность судовождения, относятся:

- наличие теневых секторов и минимальной дистанции, в пределах которых объекты не обнаруживаются;
- специфическое искажение объектов на экране РЛС относительно их изображения на морской навигационной карте и затруднение их опознавания;
- ограниченность дистанций обнаружения объектов географическим фактором радиолокационной видимости, зависимость от отражающих способностей и размеров объектов, а также зависимость возможности обнаружения от маскирующего влияния осадков ливневого характера;
- относительно низкая точность радиолокационного пеленгования.

Ориентировочное значение радиолокационной дальности обнаружения объектов (в милях) при нормальном (атмосферное давление 760 мм, температура воздуха 15 °С, температурный градиент 0,0065 с/м, относительная влажность 60%) состоянии атмосферы рассчитывается по формуле

$$D_{p.o.} = 2,39(\sqrt{h_a} + \sqrt{h_o}), \quad (23.1)$$

где h_a — высота антенны РЛС над уровнем моря, м; h_o — высота отражающей части объекта над уровнем моря, м.

При использовании РЛС необходимо учитывать, что сильные осадки (ливни, град, снежные заряды) уменьшают дистанцию обнаружения объектов на 30–50%, а наличие качки снижает точность измерений. В этих условиях наблюдение необходимо вести при длине волны РЛС 10 см. На условия наблюдения влияет волнение моря, вызывающее засветку центральной части экрана РЛС отражениями от волн.

На точность определения места судна с помощью РЛС непосредственно влияют искажения за счет размеров ориентиров и углов их облучения РЛС. При определении места по радиолокационным пеленгам и дистанциям необходимо использовать точечные ориентиры, соизмеримые с разрешающей площадью РЛС (площадь, ограниченная разрешающей способностью РЛС по углу и дистанции). Пространственные ориентиры, размеры которых больше разрешающей площади, целесообразно использовать только для обсерваций по измеренным радиолокационным дистанциям до участков, облучаемых РЛС под прямым углом. При облучении таких ориентиров (объектов) под острым углом их изображение на экране РЛС смазывается, что вызывает появление трудно учитываемых систематических погрешностей как по направлению, так и по дистанции.

При определении места судна по естественным радиолокационным ориентирам необходимо учитывать, что их отражающие поверхности (скалы, обрывистый берег, сопки и т. п.) не совпадают на местности с береговой линией, а лежат на уровнях (горизонталях), обычно превышающих уровень моря, а на больших расстояниях — и высоту антенны РЛС. Отражающие горизонталы, определенные опытным путем, наносятся на карту.

2. Способы определения места судна с помощью РЛС

Общие сведения. Существует две группы способов использования судовой РЛС для определения места судна:

- по точечным ориентирам;
- по пространственным ориентирам.

Точечные ориентиры — это такие, размерами которых при прокладке линий положения можно пренебречь. Точечные ориентиры делятся на:

- активные отражатели, которые изображаются на экране в виде ответной точки;
- пассивные отражатели, представляющие собой многогранные фигуры из металла, обладающие способностью отражать радиоволны без рассеивания. Наилучшей формой пассивных отражателей являются уголковые отражатели;
- естественные или искусственные ориентиры, которыми могут быть маяки, навигационные знаки, заводские трубы и т. п.

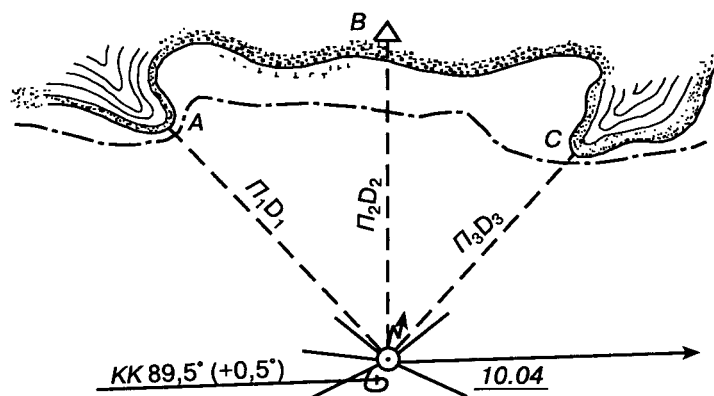


Рис. 23.1. Определение места судна по радиолокационным расстояниям

В практике судовождения точечные ориентиры встречаются редко. Поэтому для определения места судна используются пространственные ориентиры. К ним относятся объекты, изображения которых на экране РЛС и карте имеют размеры и их нельзя принять за точку (береговая черта, холмы, мысы, не имеющие резких очертаний, бухты, острова и т. п.).

Определение места судна по расстояниям, измеренным до нескольких ориентиров (рис. 23.1). Намечают перед определением места ориентиры на карте и быстро последовательно измеряют расстояния до них. При необходимости измеренные расстояния приводятся к одному моменту времени.

В момент последнего измерения замечается время и отсчет лага. На карте находится обсервованное место, которое является точкой пересечения дуг окружностей, проведенных из ориентиров (с учетом приведения их к одному моменту времени), как из центров с радиусами, равными измеренным расстояниям.

При выборе ориентиров необходимо следить за тем, чтобы линии положения пересекались под углом в пределах от 30 до 150°, причем сначала измеряется расстояние до ориентира, который близок к курсовому углу, равному 90°, а затем на ориентиры, курсовые углы которых близки к 0 или 180°.

На карте находится счислимая точка, указывается невязка, прокладывается линия пути, оформляются надписи.

Если при определении по трем расстояниям окружности не пересекаются в одной точке, то за обсервованное место принимается

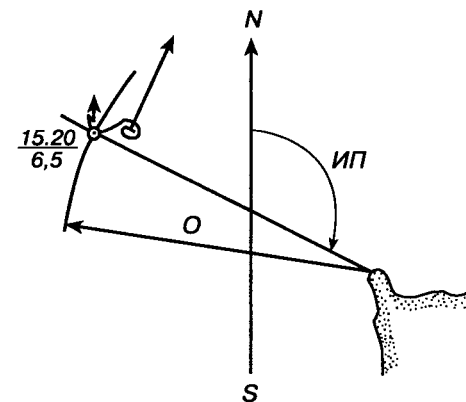


Рис. 23.2. Определение места судна по радиолокационному пеленгу и расстоянию до одного ориентира

середина треугольника погрешностей. Если треугольник велик, то необходимо проверить правильность опознавания ориентиров, измерений и прокладки.

Радиальная средняя квадратическая погрешность определения места судна по расстояниям, кбт:

а) при двух ориентирах

$$M_0 = \frac{1}{\sin \Theta} \sqrt{m_{D_1}^2 + m_{D_2}^2}, \quad (23.2)$$

где Θ — разность пеленгов на ориентиры, град; $m_{D_1}^2, m_{D_2}^2$ — СКП измерения расстояний, кбт.

б) при трех ориентирах

$$M_0 = \frac{\sqrt{3} m_D}{\sqrt{\sin^2 \Theta_1 + \sin^2 \Theta_2 + \sin^2 (\Theta_1 + \Theta_2)}}, \quad (23.3)$$

где Θ — углы пересечения между линиями положения. В общем случае третье расстояние повышает точность определения места судна на 10–20%.

Определение места судна по радиолокационному пеленгу и расстоянию до одного ориентира (рис. 23.2). Способ применяется, если в пределах действия РЛС находится один ориентир. Для этого необходимо одновременно взять пеленг на ориентир и измерить до него расстояние, заметить время и отсчет лага. Затем проложить обратный пеленг ($ИП \pm 180^\circ$) от ориентира на карте. Из ориентира,

как из центра окружности с радиусом, равным измеренному расстоянию, провести дугу окружности. Место судна находится в пересечении пеленга с дугой окружности. Рассчитывается счислимая точка на момент измерения и показывается невязка.

При измерении пеленга его необходимо исправить поправкой гирокомпаса. Если же измерялся радиолокационный курсовой угол (РЛКУ) на ориентир, то истинный пеленг

$$ИП = КК_{гк} + РЛКУ + \Delta ГК. \quad (23.4)$$

РСКП определения места судна в этом случае рассчитывается по формуле

$$M_0 = \sqrt{\left(\frac{m_{рлп}^0}{57,3^\circ} D\right)^2 + m_D^2}, \quad (23.5)$$

где $m_{рлп}$ — СКП радиолокационного пеленга; m_D — СКП радиолокационного расстояния; D — радиолокационное расстояние.

Определение места судна по радиолокационным пеленгам. Способ применяется при нескольких опознанных точечных ориентирах и порядок его выполнения практически не отличается от порядка определения места судна по визуальным пеленгам.

Точность обсерваций

$$M_0 = \frac{m_{рлп}^0}{57,5^\circ \sin \Theta} \sqrt{D_1^2 + D_2^2}, \quad (23.6)$$

где $m_{рлп}$ — СКП измерения радиолокационного пеленга; D_1, D_2 — расстояния от обсервованного места до ориентиров, мили.

При определении места судна по пространственным ориентирам необходимо учитывать особенности изображения берега на экране РЛС. Горы, холмы, возвышенности экранируют расположенные за ними местность, изображения от которой на экране не получается. Поэтому полуостров или мыс может быть принят за остров, что влечет за собой опасную ошибку в опознании ориентиров.

Изображения ориентиров, расстояния между которыми меньше разрешающей способности станции, на экране сливаются: их трудно или невозможно различить. Объекты, облучаемые лучом станции “вскользь”, почти касательно к их поверхности, наблюдаются очень плохо. Низкие пляжи, песчаные косы, ледовый припай у берега обнаруживаются лишь на малых расстояниях или даже не наблюдаются.

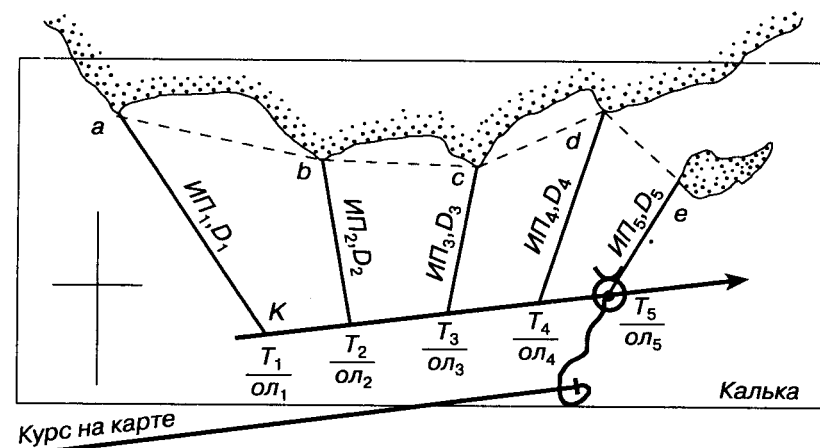


Рис. 23.3. Опознание расчлененного берега по вееру радиолокационных пеленгов и расстояний

Опознание расчлененного берега по вееру пеленгов и расстояний (рис. 23.3). Измерив пеленги и дистанции до видимых на экране РЛС ориентиров, на кальку из произвольной точки K надо провести меридиан и параллель, проложить истинные пеленги, а по ним отложить в масштабе карты измеренные расстояния. Затем кальку наложить на карту таким образом, чтобы точка находилась в районе счислимого места судна на момент измерений. Сохраняя ориентировку кальки относительно меридиана и параллели на карте, необходимо найти такое положение кальки, при котором наибольшее число отложенных расстояний “упрется” в контуры объектов береговой черты. Уколом циркуля место K следует перенести на карту и принять за ориентировочное. Для большей уверенности необходимо повторить опознавание несколько раз, связывая полученные обсервованные точки счислением. Отсутствие значительных расхождений укажет на то, что участок побережья опознан правильно.

Полученное место судна ненадежно и при удобном случае необходимо его определить другим способом.

Определение места судна по расстояниям, измеренным на постоянном курсовом угле (рис. 23.4). Этот способ применяется, когда судно идет вдоль крутого, обрывистого и изрезанного берега.

На постоянном курсовом угле измеряются расстояния до берега через равные промежутки времени и замечаются соответственно отсчеты лага. На кальку наносится путь судна и пеленги с отложенными на них расстояниями.

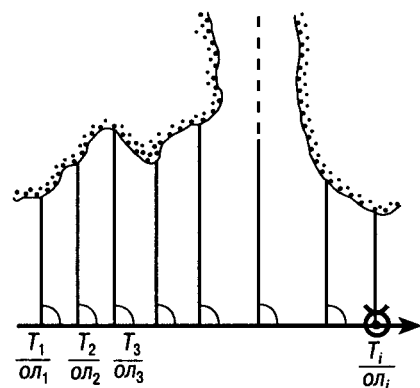


Рис. 23.4. Определение места судна по радиолокационным расстояниям, измеренным на постоянном курсовом угле

Кальку передвигают около счислимого места так, чтобы путь судна на карте был параллелен пути на кальке. Это делается с таким расчетом, чтобы наибольшее число точек, отмечающих измеренное расстояние, совпадало с береговой чертой.

Рассмотренный способ определения места не дает высокой точности.

Определение места судна до ближайших к нему участков берега (рис. 23.5). Способ применяется при наличии в районе плавания крутых, обрывистых берегов.

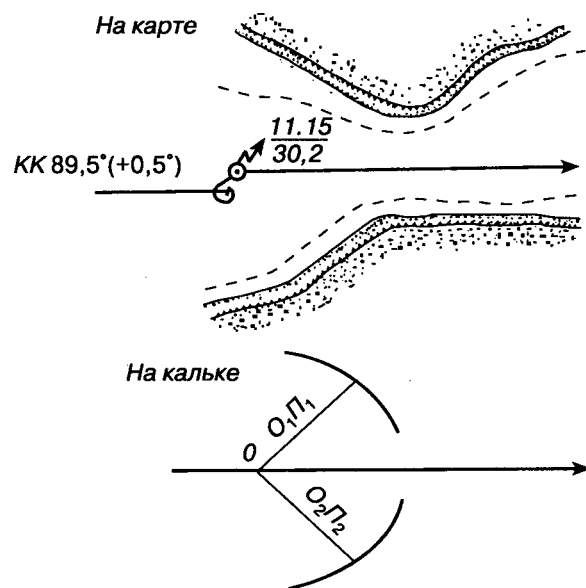


Рис. 23.5. Определение места судна до ближайших к нему участков берега

Быстро и последовательно измеряются расстояния до нескольких ориентиров. При этом подвижный импульс дальности необходимо совмещать с той частью радиолокационного изображения, которая больше всего выступает в сторону судна. Замечаются время и отсчет лага в момент измерения расстояния до последнего ориентира.

На кальке наносится линия пути судна и из произвольной точки O как из центра проводятся дуги окружностей радиусами, равными в масштабе карты измеренным расстояниям, и линии пеленгов.

Калька накладывается на карту около счислимого места судна и перемещается таким образом, чтобы проведенные на ней дуги окружностей касались береговой черты. В точке O делается накол острием циркуля и отмечается обсервованное место судна.

23.3

Определение места судна с использованием радиолокационных маяков-ответчиков и отражателей

Определение места судна по радиолокационным маякам-ответчикам (РЛМк). Радиолокационные маяки-ответчики представляют собой устройства, излучающие электромагнитные импульсы в диапазоне судовых РЛС в ответ на ее запросный сигнал. Они предназначены для создания активных радиолокационных ориентиров, обеспечивающих уверенное радиолокационное опознавание и определение места судна по пеленгу и расстоянию до них.

Радиолокационными маяками-ответчиками оборудуются:

- районы интенсивного плавания, сложные в навигационном отношении, где маяки, береговые и плавучие знаки не дают четкого изображения на экране судовых РЛС или не опознаются среди других объектов;
- районы побережья, расположенные вблизи рекомендованных путей, трудно опознаваемые на экранах судовых РЛС (низменные берега с прямолинейной или плавно изгибающейся береговой линией, низкие песчаные косы, осушенные или низменные острова и мысы, подвижные береговые линии в районах с приливными колебаниями);
- районы с частыми продолжительными туманами, осадками;
- кромки льда, ледовых обрывов, пакового льда.

С учетом атмосферной рефракции радиоволн наибольшая дальность действия РЛМк в милях рассчитывается по формуле

$$D = 2,2(\sqrt{H} + \sqrt{h}), \quad (23.7)$$

где H — высота РЛМк от уровня моря, м; h — высота антенны судовой РЛС, м.

В настоящее время наибольшее распространение получили РЛМк с синхронизированным ответом, работающие на частотах судовых РЛС, что позволяет видеть отметки маяков на экране одновременно с радиолокационным изображением. Принцип их действия заключается в следующем. Зондирующий импульс от судовой РЛС (запрос) принимается антенной маяка, детектируется, усиливается и подается на схему выработки кодовых сигналов и генератор самозапуска. Импульсы кодовой комбинации поступают на передатчик, обеспечивающий модуляцию частоты, проходят в антенну и излучаются в пространство. На экране РЛС по направлению излучения появляется несколько отметок (кодовая комбинация), из которых ближайшая к ответчику находится в удалении от маяка, равном истинному расстоянию, плюс задержка импульса запроса в цепях ответчика.

При отсутствии запрашивающих импульсов передатчик отключается и маяк находится в режиме ожидания. РЛМк включается в работу после поступления двух последовательных запрашивающих импульсов, при условии, что второй прошел в приемник не позже определенного интервала времени после первого. Этим обеспечивается предупреждение срабатываний, вызванных случайными сигналами.

Для обеспечения возможности использования РЛМк всеми судами на них применяется метод изменения (“качания”) частоты. Маяки-ответчики передают импульсы на частоте, плавно изменяющейся в пределах определенного диапазона. Ответный сигнал на экране РЛС появляется в тот момент, когда частота маяка совпадает с частотой, на которую настроена судовая РЛС. Таким образом, за время одного периода изменения частоты происходит один раз совпадение частот маяка-ответчика и судовой РЛС, и сигналы маяка появляются на экране РЛС через промежутки времени, соответствующие периоду “качания” частоты, который обычно равен 60–120 с.

Сигнал РЛМк имеет на экране РЛС вид прерывистой линии, соответствующей опознавательному сигналу маяка, или сплошной непрерывной линией, расположенной радиально за эхосигналом маяка-ответчика на расстоянии нескольких сотен метров. С помощью РЛМк можно определить пеленг и расстояние до него. Следовательно, для оценки точности определения места по

РЛМк может быть использована формула (23.5). Однако точность определения места судна в этом случае ниже, чем по четким точечным ориентирам. Причиной этого является погрешность в задержке ответного сигнала, достигающая величины 0,5–1 кбт.

Определение места судна по пассивным отражателям. Радиолокационные пассивные отражатели применяются для повышения отражательной способности навигационных знаков, плавучих предостерегательных знаков, а также обозначения отдельных точек, расположенных на водной поверхности или на низменном побережье, не имеющем характерных радиолокационных ориентиров.

По конструктивному исполнению различаются следующие виды отражателей:

а) *плоская металлическая пластина* отражает максимум электромагнитной энергии в обратном направлении лишь в том случае, если радиоволны падают перпендикулярно к ее поверхности. Эффективная площадь отражения плоской пластины

$$S_{эф} = 4\pi P_r^2 / \lambda^2, \quad (23.8)$$

где P_r — геометрическая площадь пластины, м²; λ — длина радиоволны, м.

б) *двугранный уголкового отражателя* состоит из двух плоских пластин, расположенных под углом 90° и имеющих общее ребро. Диаграмма отраженного сигнала двугранного отражателя имеет максимальное значение в биссекторной плоскости.

Эффективная площадь отражения в биссекторной плоскости

$$S_{эф} = 16\pi P_r^2 / \lambda^2; \quad (23.9)$$

в) *трехгранный уголкового отражателя*. Применяются отражатели с треугольными и квадратными гранями.

Эффективная площадь отражения рассчитывается по формулам:

- для отражателя с треугольными гранями

$$S_{эф} = 4/3\pi a^4 / \lambda^2, \quad (23.10)$$

где a — длина ребра, м;

- для отражателя с квадратными гранями

$$S_{эф} = 12\pi a^4 / \lambda^2. \quad (23.11)$$

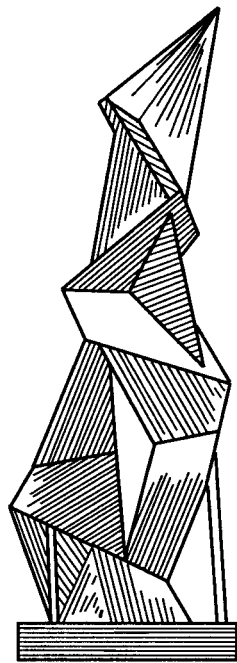


Рис. 23.6. Спиральный пассивный отражатель

Радиолокационная дальность обнаружения отдельных уголко-вых отражателей D в километрах рассчитывается по формуле

$$D = 14 \sqrt[4]{S_{\text{эф}}}.$$

Отдельные уголко-вые отражатели применяются редко, так как они не обеспечивают отражения со всех сторон. Для получения отражения при облучении с любых направлений уголко-вые отражатели монтируются в группы. Для этих целей применяются:

а) на береговых СНО — спиральные пассивные отражатели (рис. 23.6).

б) на буйах и вехах — шестиугольные и восьмиугольные отражатели (рис. 23.7).

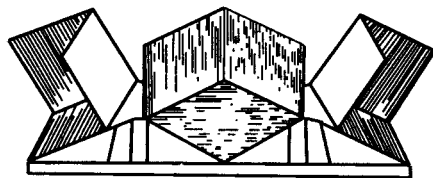


Рис. 23.7. Шестиугольный пассивный отражатель

Таблица 23.1. Типы пассивных уголко-вых отражателей

Тип отража-теля и коли-чество	Размер грани, м	Высота установки от уровня моря, м	Место и способ установки	Дальность обнаруже-ния, мили
К-1,0 (один)	1,0	10–15	На навигационном знаке или опоре	12–14
К-1,0 (два)	1,0	10–15	На навигационном знаке один под другим со смещением на 30°	16–17
К-0,5 (один)	0,5	10–15	На навигационном знаке или опоре	6–7
К-0,5 (два)	0,5	10–15	На навигационном знаке один под другим со смещением на 45°	8–9
СПО-600 (900)	Грани разного размера	10–15	На навигационном знаке или опоре	7–8
Б-6	0,2–0,3	2–4	На буре	4–5
ВШ-0,2;	0,2	3	На вехе	2–3
В-0,2				

Основные типы пассивных уголко-вых отражателей, применяемых в практике навигационного оборудования, приведены в табл. 23.1.

Радиолокационные отражатели также применяются для ограждения фарватеров. Для этого пассивные отражатели устанавливаются парами, по одному с каждой стороны фарватера, на равном расстоянии от его оси и на перпендикулярной линии к ней.

Этот способ использования пассивных отражателей получил название радиолокационных дистанционных створов. Если эхосигналы обоих отражателей будут находиться на одном и том же подвижном круге дальности (ПКД), то это означает, что расстояние до них одинаково и судно находится на оси фарватера (рис. 23.8). Если же отражатели не находятся на одном ПКД, то необходимо изменить курс в соответствующую сторону.

Таким образом, при проводке судна по радиолокационным дистанционным створам должно выдерживаться равенство расстояний до радиолокационных отражателей. Точность плавания по таким створам определяется в основном погрешностью наблюда-

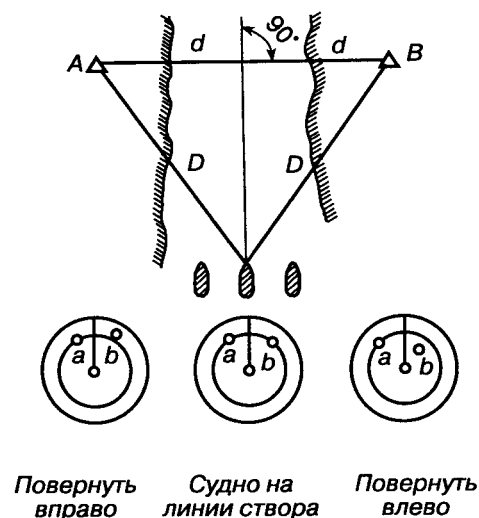


Рис. 23.8. Дистанционные радиолокационные створы

теля в оценке положения эхо-сигналов отражателей относительно ПКД. Боковое смещение судна с оси створа

$$L = \frac{m_{\Delta D}}{2 \sin \frac{\Theta}{2}},$$

где $m_{\Delta D}$ — погрешность наблюдателя в оценке разности расстояний до знаков; Θ — угол между направлениями на знаки.

Опыт применения радиолокационных дистанционных створов показал, что плавание по фарватерам с их помощью производится с высокой точностью.

23.4 Средство автоматической радиолокационной прокладки

Средство автоматической радиолокационной прокладки (САРП) предназначено для предупреждения столкновения судов и подготовки принятия рационального решения по выбору маневра в сложной навигационной обстановке путем непрерывной, точной и быстрой оценки ситуации.

Эксплуатационные требования к САРП определены в Резолюции Ассамблеи ИМО А.823(19), принятой в ноябре 1995 г., а также

в Правилах по оборудованию морских судов Российского морского регистра судоходства.

Ниже приводятся основные из них:

- захват целей может быть ручным или автоматическим при относительной скорости до 100 узлов; при автоматическом захвате должен быть предусмотрен запрет захвата в определенных зонах обзора;
- должно обеспечиваться автоматическое сопровождение, обработка, одновременное отображение и непрерывное обновление данных не менее чем по 20 целям; сопровождаемые цели должны быть четко обозначены на экране соответствующими символами; информация на индикаторе не должна затенять данные от РЛС;
- на экране по требованию должно отображаться по крайней мере четыре равноразнесенных цели за период, соответствующий используемой шкале дальности при одновременном указании временной шкалы прокладки предыдущих положений;
- должны быть предусмотрены, по крайней мере, шкалы дальности 3, 6 и 12 миль, при этом дополнительно могут быть использованы и другие шкалы дальности, соответствующие требованиям резолюции А.477(XII);
- САРП должно допускать работу в режиме относительного движения при ориентации изображения “Север” и “Курс” со стабилизацией от гирокомаса, а также в режиме истинного движения;
- информация о курсе и скорости по захваченным целям должна выдаваться в векторной или графической форме;
- должна быть предусмотрена возможность быстрого определения пеленга и расстояния до любого объекта, появляющегося на экране;
- при автоматическом захвате цели на экране через одну минуту должна отображаться тенденция ее движения, и в течение 3 мин — предвычисленный вектор перемещения;
- наблюдатель должен иметь возможность выбрать любую сопровождаемую цель для получения информации; при этом по запросу должны немедленно выдаваться следующие данные: текущие дистанция D и пеленг Π , курс K и скорость V , дистанция кратчайшего сближения $D_{кр}$ и время $T_{кр}$ следования до точки кратчайшего сближения;
- должна быть предусмотрена возможность имитации маневра своего судна на расхождение со всеми сопровождаемыми целями с упреждением по времени или без него относительно момента имитации.

Кроме того, САРП должно обеспечивать визуальную и звуковую сигнализацию при сближении с целью на заданное расстояние или пересечение ею зоны, выбранной оператором, а также имеющей расстояние и время кратчайшего сближения меньше, установленных оператором.

В целях повышения эффективности использования САРП в процессе обеспечения безопасности плавания в районе с интенсивным судоходством и сложном в навигационном отношении для судоводителя важны не только радиолокационное отображение внешней обстановки и элементы движения целей, но и информация о навигационных опасностях: (береговая черта, кромки фарватеров, изобаты опасных глубин, банки, мели, запретные районы, СНО и т. п.). В этой связи в современных САРП применяется наложение радиолокационного изображения на электронную карту. Комплексное изображение навигационной обстановки, маневрирующих целей и собственного судна относительно подвижных объектов и навигационных опасностей позволяет оперативно принять оптимальное решение на маневр расхождения и оценить связанный с ним риск.

Современные САРП, являясь обязательным (конвенционным) оборудованием для судов валовой вместимостью более 10000, удовлетворяют всем вышеперечисленным требованиям. Поэтому остановимся только на рассмотрении вопроса, связанного с отображением информации в САРП.

Основную роль при отображении информации играют средства индикации, которые служат для оперативного отображения внешней обстановки: движения целей в районе плавания и представления цифровых данных о траектории их движения относительно перемещения собственного судна. При этом, основное значение для судоводителя имеет графическая информация, которая должна быть:

- *оперативной* и характеризовать текущую ситуацию без существенного запаздывания;
- *наглядной и четкой*, без второстепенных деталей; важная информация должна выделяться цветом, яркостью, условными знаками и т. д.;
- *адекватной*, т. е. отражать существенные для решаемой задачи аспекты ситуации с требуемой точностью;
- *полной*, т. е. давать все необходимые данные для решения поставленной задачи.

В САРП применяются два способа отображения радиолокационной информации о движении судов: векторный и в виде зон опасностей.

Первый способ используется при раздельном отображении информации в ходе решения частных задач предупреждения столкновения судов и включает три режима отображения: истинного и относительного движений, а также проигрывания маневра.

Первый режим используется для оценки действительной ситуации движения целей в зоне обзора РЛС.

Второй режим служит для оценки степени опасности сближения со встречными судами.

Третий режим применяется для обеспечения безопасного маневра на расхождение судов с учетом правил МППСС-72.

При этом курсы и скорости целей представляются на экране экстраполированными на заданный момент времени векторами движения целей. Начало вектора совпадает с отметкой сопровождаемого судна, а его длина соответствует пути цели за время экстраполяции. Такой способ отображения позволяет оценить:

- при относительном движении — степень опасности целей, их $D_{кр}$, $T_{кр}$;
- при истинном движении — пройдет ли цель по носу или по корме и на каком расстоянии собственное судно пересечет курс встречного.

Режим проигрывания маневра может осуществляться как в относительной, так и в истинной системе координат.

Второй способ отображения радиолокационной информации в виде зон опасностей в истинной системе координат реализуется только в САРП фирмы “Сперри” (США). На рис. 23.9 приведен пример отображения радиолокационной информации в данном виде.

У цели отображается линия экстраполированного перемещения и на ней зона опасности, указывающая опасные курсы своего судна, при которых произойдет сближение с целью на дистанции, меньше заданной $D_{кр}$. В первых образцах САРП фирмы “Сперри” зоны опасности отображались в виде эллипсов, в последующих моделях — в виде шестиугольников.

Достоинство рассматриваемого метода состоит в том, что представляется возможным одновременно оценивать реальную ситуацию движения судов, вероятность опасного сближения с целями, а также производить выбор курса для маневра расхождения.

К недостаткам данного способа можно отнести: трудность глазомерной оценки $D_{кр}$ и $T_{кр}$ целей; малую наглядность изображения при большом числе целей из-за затенения экрана зонами опасностей; невозможность изменения времени экстраполяции векторов и неприспособленность к выбору маневра скоростью.

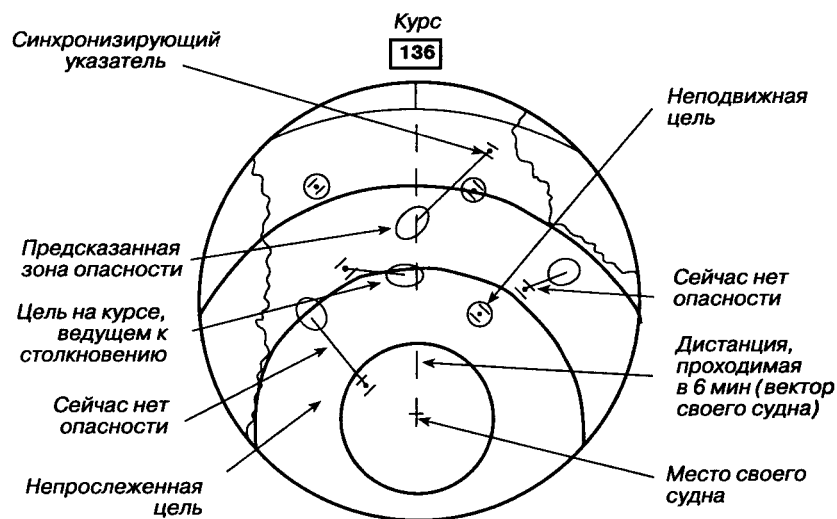


Рис. 23.9. Отображение радиолокационной информации в виде зон опасностей

САРП, как правило, включает две НРЛС, одна из которых работает в трехсантиметровом, а другая в десятисантиметровом диапазоне длин волн, что обеспечивает их эффективное функционирование в различных гидрометеорологических условиях.

В табл. 23.2 представлены эксплуатационные характеристики современных отечественных НРЛС, используемых в составе САРП. Эти НРЛС имеют следующие возможности:

- яркое цветное изображение с высоким разрешением на жидкокристаллическом мониторе;
- отображение обобщенной информации о своем судне (географические координаты, курс, скорость, глубина под килем, текущее время);
- межобзорное накопление;
- увеличение масштаба выбранного участка изображения с отдельной его индикацией на дополнительном поле экрана;
- ориентацию изображения: КУРС, СЕВЕР, КУРС СТАБ;
- режимы относительного и истинного движения со смещением центра развертки в пределах $2/3$ радиуса изображения;
- измерители координат целей (визеры направления и дальности, электронная линейка и координатный маркер);
- автообнаружение и сигнализация о нахождении целей в охранной зоне;

Таблица 23.2. Эксплуатационные характеристики НРЛС

Технические параметры	НАЯДА-25М1 (3 см)	НАЯДА-5МЕ (10 см)
Антенна		
Ширина диаграммы направленности, град:		
в горизонтальной плоскости	0,7	2,1
в вертикальной плоскости	20	20
Коэффициент усиления, дБ	32	27
Уровень боковых лепестков, дБ:		
в секторе $\pm 10^\circ$	27	25
за пределами $\pm 10^\circ$	33	25
Скорость вращения антенны, об/мин	24	24
Передатчик		
Несущая частота, МГц	9410	3060
Импульсная мощность, кВт	1–0	25
Длительность импульса, мкс	0,06–0,35–0,8	0,06–0,35–0,8
Частота повторения, имп/с	2800–1400–700	2800–1400–700
Приемник		
Промежуточная частота, МГц	60	60
Полоса пропускания, МГц	20 и 4	20 и 4
Импульсная чувствительность, дБ:		
в режиме “короткий импульс”	125	125
в режиме “длинный импульс”	132	132
Индикатор		
Эффективный диаметр радиолокационного изображения, мм	270	270
Шкалы дальности, км	0,25–128	0,25–128
Число элементов разложения отображения	1280 × 1024	1280 × 1024

- следы относительного движения целей с регулируемым временем их длительности;
- автоматическое сопровождение до 50 целей с индикацией параметров движения и параметров сближения с предупреждением об опасности столкновения и имитацией маневров на расхождение (САПР);
- вывод данных САРП в систему отображения морских электронных карт;
- стабилизацию изображения и графической информации относительно воды и грунта;
- электронную карту и контроль плавания по маршруту;
- контроль якорной стоянки.

23.5 Особенности использования РЛС при плавании по внутренним водным путям

На внутренних водных путях радиолокационное определение места судна на судоходном участке пути относительно берегов, оси и кромок судового хода с помощью РЛС осуществляется в основном глазомерным методом, т. е. путем сопоставления радиолокационного изображения судоходного участка с ориентирами, нанесенными на навигационной карте (горные берега, гидротехнические сооружения, устья рек и заливов, мысы, яры, мосты, навигационные знаки), и по пройденному расстоянию от последнего опознанного ориентира. Штурманский метод использования РЛС применяется редко, лишь на водохранилищах и на озерах, когда отсутствует навигационное оборудование судового хода (ледоход и ледостав), так как не позволяет быстро определить местоположение судна и требует ведения расчетов с помощью штурманских инструментов и навигационных карт.

Использование РЛС при плавании по ВВП имеет особенности:

- радиолокатор ориентирован по курсу судна, так как при движении курсовая черта РЛС должна совпадать с осью судового хода;
- при поворотах судна с большой угловой скоростью происходит смазывание радиолокационного изображения. Вследствие этого основная трудность использования РЛС заключается в опознавании на экране участков берега.

Управление судном с помощью РЛС, ориентированного по “Курсу”, магнитного (гироскопического) компаса и указателя угловой скорости поворота (если он имеется на судне) осуществляется следующим образом.

Радиолокационная станция переключается на такую шкалу, на которой просматривается весь судоходный участок и обеспечивается надежное определение места судна. После этого радиолокационное изображение участка пути сопоставляется с картографической конфигурацией последнего, опознаются на экране РЛС опорные береговые ориентиры и радиолокационная система ориентировки, с помощью которых определяются отметки буев (вех), кромки судового хода и очередное направление движения судна. После прихода судна в точку смены курса центральный или боковой визир устанавливается параллельно очередному направлению движения судна с помощью опознанных радиолокационных ориентиров и судно ложится на новый курс *КК*. По подвижной шкале определяют значе-

ние радиолокационного курсового угла (РЛКУ) — угла между центральной линией визира и курсовой чертой, и сравнивают со значением угла между линиями пути до точки смены курса и после него, нанесенными на карту при предварительной проработке маршрута. Если значение радиолокационного курсового угла совпадает со значением угла на карте с точностью $\pm(1-5)^\circ$, то очередное направление движения судна считается выбранным правильно. К компасному курсу добавляют значение РЛКУ и новое значение курса сообщают рулевому.

Дистанцию поворота судоводитель определяет с помощью визира дальности или меток дальности относительно радиолокационного ориентира, лежащего по курсу судна (или на острых углах к курсу) с упреждением на 50–100 м в зависимости от типа и скорости движения судна.

Начало поворота осуществляется по команде судоводителя рулевому: “Руль лево (право), столько-то градусов”.

Рулевой, переложив рулевой орган лево (право) на столько-то градусов, периодически докладывает судоводителю об изменении компасного курса.

В момент поворота судна судоводитель ведет наблюдение за перемещением отдаленных радиолокационных ориентиров относительно курсовой черты и следит, чтобы центральное пятно электронно-лучевого индикатора не закрывало отметку траверзного (поворотного) буя.

Приблизительно за 5–10° до выхода судна на новое направление движения судоводитель подает рулевому команду: “Одерживать”, по которой сначала руль переключают на противоположный борт на половину первоначальной перекладки руля, а затем отводят его в положение “Руль прямо”. В момент выхода судна на заданное направление по команде “Курс” рулевой снимает отсчет с компаса, сообщает его судоводителю и затем выводит судно на заданный курс.

После 30–60 с следования судна новым компасным курсом судоводитель корректирует его значение с помощью курсовой черты, механического визира и радиолокационных ориентиров глазомерно или с помощью подвижной шкалы лимба.

Боковое смещение судна относительно заданной линии пути определяется судоводителем глазомерно сопоставлением радиолокационного изображения с имеющимися радиолокационными ориентирами на карте.

В тех случаях, когда на судне имеется указатель угловой скорости поворота (УСП), повороты осуществляют по команде судово-

дителя: “Поворот лево (право), угловая столько-то градусов в минуту”. Рулевой переключает рулевой орган так, чтобы быстрее выйти на расчетное значение угловой скорости. В остальном методика проводки сохраняется прежней. Значение угловой скорости поворота, град/мин

$$\omega = 3438 V_0 / R_{с.х.},$$

где $R_{с.х.}$ — закругление судового хода (снимается с карты), м; V_0 — скорость судна (задается судоводителем), м/с.

Судоводители, пользуясь РЛС, сопоставляют радиолокационное изображение на экране с действительным видом местности или с показаниями навигационной карты. Изображение местности на экране РЛС значительно отличается от изображения местности на карте, оно имеет вид белых полос, пятен, точек и др. В связи с этим создают специальные радиолокационные пособия, которые изображают местность так, как она видна на экране РЛС. С помощью этих пособий судоводитель производит ориентирование, определяет местонахождение и курс судна. Практика плавания показывает, что эффективность работы РЛС во много раз повышается при одновременном использовании навигационной карты и радиолокационных пособий. В предисловии к радиолокационному пособию указывают тип РЛС, с помощью которой выполнялась съемка, высоту ее антенны над уровнем воды, масштаб шкалы и общую характеристику радиолокационного изображения участка водного пути.

Обычно радиолокационные пособия составляют из фотоснимков экрана какой-либо РЛС. Эти снимки не всегда будут одинаковы с изображениями на экране других РЛС, что объясняется рядом причин (на судах используются РЛС разных типов; техническое состояние РЛС неодинаково; на изображения большое влияние оказывают качество настройки, высота антенны над уровнем воды, температура и влажность воздуха, волнение и др.).

Однако при всех недостатках радиолокационные пособия являются важным средством обеспечения безопасности судоходства и, дополняя навигационные карты, помогают повысить надежность ориентирования судоводителей на внутренних водных путях.

Основные виды радиолокационных пособий следующие:

- дополнения к лоции, представляющие собой альбомы фотографий экрана РЛС, сделанных с определенных точек судового хода;

- радиолокационные изображения ориентиров и берегов, нанесенные штриховой расцветкой непосредственно на навигационную карту;
- навигационная карта с изображением на ней последовательно расположенных снимков экрана РЛС. Снимки соответствуют определенному участку судового хода и могут быть приведены на свободных листах планшетов навигационной карты или же нанесены непосредственно на изображение русла реки;
- специальные пособия, которые с помощью приборов совмещаются с изображением на экране РЛС.

Обычно радиолокационные изображения соответствуют определенным уровням воды в реке. Для случаев, когда изображение на экране РЛС почти полностью совпадает с данными навигационной карты, в радиолокационном пособии приводят только отдельные снимки экрана РЛС. Для участков, где из-за особенностей берегового рельефа изображение на экране РЛС значительно отличается от изображения на навигационной карте, дают сплошное радиолокационное изображение местности.

Радиолокационные изображения обычно имеют масштаб, равный масштабу карты. Они могут иметь изображения колец дальности, курсовой черты, которые значительно облегчают ориентирование. Кроме того, на них могут иметься надписанный километраж, поясняющие подписи, рекомендации по использованию РЛС на данном участке с изображением судна или плота.

Радиолокационные изображения водохранилищ издаются в виде альбомов, где даны изображения отдельных, наиболее затруднительных участков, подходы к портам, убежищам, шлюзам, плотинам и др.

Глава 24

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА СУДНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЛОБАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ

Структура глобальных навигационных спутниковых систем

Общие сведения. Глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС) предназначена для высокоточного определения координат места подвижных объектов, их курса и скорости.

В настоящее время навигационные спутниковые системы нашли самое широкое применение в различных сферах человеческой деятельности, но особое место в силу своих положительных свойств (глобальность, высокая точность, независимость от погодных условий, времени суток и сезона) они нашли на транспорте.

Качественный облик (структура, способы функционирования и эксплуатационные характеристики) ГНСС во многом обусловлены требованиями потребителей к точности навигационного обеспечения и методам навигационных измерений. Для достижения непрерывности прецизионных определений в любом районе Мирового океана вне зависимости от погоды, сезона и времени суток в составе современных ГНСС второго поколения ГЛОНАСС и GPS функционируют три основные подсистемы:

- навигационных космических аппаратов (НКА) — космический сегмент;
- контроля и управления [наземный командно-измерительный комплекс (КИК) или сегмент управления];
- навигационной аппаратуры потребителей (НАП) — судовые приемоиндикаторы (ПИ).

Основной задачей, решаемой ГНСС, является определение пространственных координат местоположения подвижного объекта и времени. Эта задача реализуется путем вычисления искомых навигационных параметров непосредственно в приемоиндикаторе на основе беззапросных (пассивных) дальномерных измерений по сигналам нескольких видимых НКА с известными координатами. Применение беззапросных измерений обеспечили возможность достижения неограниченной пропускной способности ГНСС.

Подсистема навигационных космических аппаратов. Основная функция подсистемы состоит в формировании и излучении радиосигналов, которые необходимы для навигационных определений подвижных объектов, контроля бортовых систем спутника подсистемой контроля и управления. Для этого в состав аппаратуры НКА включают:

- радиотехническое оборудование (передатчики навигационных сигналов и телеметрической информации, приемники данных и команд от КИК, антенны, блоки ориентации);
- ЭВМ;
- бортовой эталон времени и частоты;
- солнечные батареи и др.

Бортовые эталоны времени и частоты обеспечивают синхронное излучение навигационных сигналов всеми спутниками орбитальной группировки, что необходимо для реализации дальномер-

ных измерений в ПИ.

Навигационные сигналы НКА содержат дальномерные компоненты и компоненты служебных сообщений. Дальномерные компоненты используют для определения в ПИ навигационных параметров. Компоненты служебных сообщений предназначены для передачи на подвижные объекты координат спутников, векторов их скоростей, времени и др.

Выбор состава и конфигурации орбитальной группировки НКА влияют на площадь рабочей зоны, возможность реализации различных методов навигационных определений, их непрерывность и точность.

Подсистема контроля и управления. Представляет собой комплекс наземных средств (командно-измерительный комплекс), которые обеспечивают наблюдение и контроль за траекториями движения НКА, качеством функционирования их аппаратуры, управление режимами их работы и параметрами спутниковых радиосигналов, а также составом, объемом и дискретностью передаваемой со спутников навигационной информации, стабильностью бортовой шкалы времени и др.

Как правило, КИК состоит из координационно-вычислительного центра (КВЦ), станций траекторных измерений (СТИ) и управления, системного (наземного) эталона времени и частоты.

При полете НКА в зоне радиовидимости СТИ происходит наблюдение за ним. Это позволяет с помощью КВЦ определять и прогнозировать координатную и другую необходимую информацию. Затем эти данные закладываются в бортовую ЭВМ и передают на подвижные объекты в служебном сообщении.

Подсистема навигационной аппаратуры потребителей. Подсистема включает в себя:

- антенну, способную принимать сигналы ГЛОНАСС/GPS;
- приемоиндикатор, состоящий из приемника ГЛОНАСС/GPS и процессора, приемника корректирующей информации, устройства ввода-вывода информации, сетевого адаптера.

Приемоиндикатор ГНСС предназначен для решения следующих задач:

- одновременной обработки сигналов спутников ГЛОНАСС/GPS, находящихся в зоне радиовидимости;
- автоматической непрерывной выработки пространственных координат;
- приема и обработки от приемника корректирующей информации (ПКИ) кадров корректирующей информации;

- отображения необходимой информации с индикацией вычисленных географических координат (в градусах, минутах и тысячных долях минуты) и времени обсерваций относительно Всемирного скоординированного времени UTC в системах координат Международной геодезической системы координат WGS-84 и ПЗ-90 Красовского 1942 г. или в системе, параметры которой вводятся оператором;
- оценки точности определения координат и скорости;
- расчета среднего значения и СКП координат и скорости по серии наблюдений;
- выдачи на индикацию и/или в порт ввода/вывода результатов решения навигационной задачи;
- приема, хранения и обновления альманахов ГЛОНАСС/GPS;
- расчета геометрического фактора ухудшения точности определения двухмерных координат рабочего созвездия спутников;
- работы по спутникам ГЛОНАСС/GPS отдельно и по смешанному созвездию;
- автоматического контроля функционирования;
- возможности ввода календарной даты;
- отображения режима работы и индикации работы в дифференциальном режиме.

Кроме того ПИ решает вспомогательные задачи:

- автоматический выбор созвездия спутников для проведения обсервации с учетом их технического состояния;
- выдачу внешним потребителям метки времени с оцифровкой относительно шкалы времени системы ГЛОНАСС;
- определение навигационных параметров в географической или квазигеографической системе координат;
- прием, хранение и обновление альманахов ГЛОНАСС и GPS;
- поиск сигналов НКА и входение в связь при отсутствии альманахов системы;
- автоматический контроль функционирования аппаратуры, индикацию неисправностей;
- прием, учет и коррекцию информации при работе в дифференциальном режиме;
- расчет времени прихода в точку с заданными координатами с заданной скоростью;
- расчет скорости движения в заданную точку по времени прихода;
- расчет пройденного расстояния;
- ввод координат до 500 маршрутных точек;

- ввод 20 маршрутов или фарватеров (до 50 маршрутных точек в каждом маршруте);
- расчет расстояния и направления от текущей точки до любой из маршрутных точек или между двумя любыми выбранными точками;
- запоминание текущих координат в качестве маршрутной точки;
- сигнализацию о подходе на заданное расстояние к точке с заданными координатами;
- выработку параметров отклонения от маршрута;
- световую и звуковую сигнализацию о выходе за пределы выбранной ширины фарватера.

ПИ должен удовлетворять следующим минимальным эксплуатационно-техническим требованиям:

1) точность определения координат места в статическом и динамическом режимах работы должна быть:

- в пределах 100 м для вероятности 0,95 и геометрического фактора ухудшения точности определения двухмерных координат (HDOP) меньше 4 [или трехмерных координат (PDOP) меньше 6] по GPS;
- в пределах 45 м для вероятности 0,95 и HDOP меньше 4 [или PDOP меньше 6] по ГЛОНАСС (при 24 НКА);

2) точность определения координат в статическом и динамическом режимах работы при приеме и обработке сигналов дифференциальных поправок должна быть в пределах 10 м для вероятности 0,95;

3) ПИ должен обеспечивать расчет обсервованных координат и выдачу данных на дисплей и в другие радио- и навигационные устройства с дискретностью не более 2 с. Минимальное разрешение отображаемых географических координат (широты, долготы) должно быть до 0,001 мин;

4) после включения приемоиндикатора в режим “работа” должна быть обеспечена возможность получения первого отсчета координат с требуемой точностью в течение:

- 30 мин при отсутствии в памяти приемоиндикатора соответствующей базы данных;
- 5 мин при наличии в памяти приемоиндикатора соответствующей базы данных;

5) приемоиндикатор должен выполнять повторный поиск сигналов и расчет обсервованных координат с требуемой точностью:

- в пределах 5 мин, если без прекращения подачи питающего напряжения прием сигналов прерывался на период до 24 ч;
- в пределах 2 мин, если подача питающего напряжения прерывалась на время до 60 с;

6) оборудование должно обеспечивать предупреждение о невозможности определения координат или индикацию в пределах 5 с, если:

- величина геометрического фактора ухудшения точности определения двухмерных координат превысила установленный предел;
- новые координаты рассчитаны за время, превышающее 2 с.

В этих случаях, до восстановления нормальной работы, на дисплее должны отображаться время и координаты последней обсервации с визуальной индикацией причины прекращения обсерваций;

7) приемоиндикатор должен обеспечивать индикацию дифференциального режима работы в случае:

- приема сигналов дифференциальных поправок;
- использования дифференциальных поправок в отображаемых координатах местоположения судна.

В настоящее время в мире насчитывается более 200 фирм, занимающихся разработкой и производством НАП спутниковых навигационных систем. Наибольшую известность получили образцы фирм “Trimble”, “Garmin” (США), “Furuno” (Япония), “Sersel” (Франция). Среди отечественных производителей широкую известность получили НАП фирм НАВИС, РИРВ.

24.2 Методы определения места судна с помощью навигационных спутников

Общие сведения. Основным содержанием навигационной задачи, решаемой с помощью НАП, является определение пространственно-временных координат подвижного объекта (судна), а также составляющих его скорости. В результате решения навигационной задачи должен быть определен вектор состояния судна, который можно представить в виде $\Pi = [x, y, z, t', \dot{X}, \dot{Y}, \dot{Z}]^T$, где (x, y, z) — пространственные координаты судна; t' — временная поправка шкалы времени судна относительно системной шкалы времени; $(\dot{X}, \dot{Y}, \dot{Z})$ — составляющие вектора скорости.

Непосредственно измерить элементы вектора состояния не представляется возможным. У принятого с НКА радиосигнала определяют отдельные его параметры (например, задержку или доплеровский сдвиг частоты). Поэтому измеряемый в интересах навигации параметр радиосигнала называют *радионавигационным*, а соответствующий ему геометрический параметр — *навигационным*. Например, задержка радиосигнала и его доплеровское смещение частоты $f_{\text{доп}}$ являются радионавигационными параметрами, а соответствующие им дальность до судна D радиальная скорость сближения судов V_p — навигационными параметрами.

Геометрическое место точек пространства с одинаковым значением навигационного параметра называется *поверхностью положения*.

Пересечение двух поверхностей положения определяет *линию положения* — геометрическое место точек, имеющих два определенных значения двух навигационных параметров.

Местоположение судна определяется координатами трех поверхностей положения или двух линий положения. Иногда (из-за нелинейности) две линии положения могут пересекаться в двух точках. Тогда для нахождения места судна необходимо использовать дополнительную поверхность положения или другую информацию о его месте.

Для решения навигационной задачи используют функциональную зависимость между навигационными параметрами и компонентами вектора Π . Соответствующие функциональные зависимости называются *навигационными функциями*.

Навигационные функции получают различными методами, основные из которых: дальномерный, псевдодальномерный, разно-отно-дальномерный, радиально-скоростной. Могут быть использованы и другие методы и их комбинации, в том числе и для определения ориентации судна.

Дальномерный метод. Основан на пассивных (беззапросных) измерениях дальности D_i между i -ым НКА и судном. Навигационным параметром является дальность D_i , а поверхностью положения — сфера с радиусом D_i и центром, расположенным в центре масс i -го НКА. Уравнение сферы имеет вид

$$D_i = [(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2]^{0.5}, \quad (24.1)$$

где x_i, y_i, z_i — известные на момент измерения координаты i -го НКА; x, y, z — координаты судна.

Место судна определяют как координаты точки пересечения трех поверхностей положения (трех сфер), вследствие чего для ре-

ализации этого метода необходимо измерить дальности до трех НКА.

Для дальномерного метода навигационная функция представляет собой систему из трех уравнений вида (24.1). Из-за ее нелинейности возникает проблема неоднозначности определения координат судна, которая устраняется с помощью дополнительной информации (счислимы координаты судна, его радиальная скорость и др.).

Дальномерный метод предполагает, что все измерения дальности должны быть произведены в одно время. Однако координаты НКА привязаны к бортовой шкале времени, а координаты судна определены в своей шкале. В реальных условиях существует расхождение t' этих шкал времени и возникает смещение $D' = ct'$ измеренной дальности относительно истинной, поэтому точность определения места судна падает. Таким образом, недостатком метода является необходимость высокоточной привязки шкал времени НКА и судна, вследствие чего в настоящее время более широкое применение нашел псевдодальномерный метод определения места.

Псевдодальномерный метод. Под псевдодальностью от i -го НКА до подвижного объекта понимают измеренную дальность $D_{\text{изм } i}$ до этого спутника, отличающуюся от истинной дальности D_i на неизвестную, но постоянную за время определения навигационных параметров величину D' . Тогда для псевдодальности до i -го НКА можно написать

$$D_{\text{изм } i} = D_i + D' = [(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2]^{0.5} + D'. \quad (24.2)$$

Здесь в качестве навигационного параметра принята $D_{\text{изм } i}$. Поверхностью положения является сфера с центром в точке с центром масс НКА. При этом радиус сферы изменен на неизвестную величину D' . Измерение псевдодальностей до трех НКА приводит к системе трех уравнений с четырьмя неизвестными (x, y, z, D') , что вызывает неопределенность ее решения. Для устранения неопределенности необходимо провести дополнительное измерение псевдодальности до четвертого спутника и получить точное решение системы уравнений, т. е. получить место подвижного объекта как точку пересечения четырех поверхностей положения.

Необходимость нахождения в зоне радиовидимости четырех НКА предъявляет жесткие требования к структуре орбитальной группировки, которые могут быть выполнены только в среднеорбитных СНС.

Достоинством данного метода является то, что он не накладывает жестких ограничений на значение погрешности $D' = ct'$ (погрешности временной шкалы) и позволяет дополнительно вычислять отклонение шкалы времени подвижного объекта.

Разностно-дальномерный метод. Основан на измерении дальностей от подвижного объекта до одного или нескольких НКА. Метод аналогичен псевдодальномерному, так как его целесообразно использовать только при наличии в дальномерных измерениях неизвестных сдвигов D' . В данном методе используются три разности $\Delta D_{ij} = D_i - D_j$ до четырех НКА, так как при постоянстве D' за время навигационных определений разности псевдодальностей равны разностям истинных дальностей, для определения которых требуется только три независимых уравнения.

Навигационным параметром является ΔD_{ij} . Поверхности положения представляют собой поверхности двухполостного гиперболоида вращения, фокусами которого являются координаты опорных точек i и j (центров масс i -го и j -го НКА). Расстояние между этими опорными точками называется *базой*. Если расстояния от опорных точек (НКА) до подвижного объекта велики по сравнению с базой, то гиперболоид вращения в окрестностях точки подвижного объекта совпадает со своей асимптотой — конусом, вершиной которого выступает середина базы.

Точность определения места подвижного объекта совпадает с точностью определения этих координат псевдодальномерным способом.

Недостаток разностно-дальномерного метода заключается в том, что в нем не может быть измерено смещение D' , т. е. смещение шкалы времени подвижного объекта.

Радиально-скоростной (доплеровский) метод. Базируется на измерении трех радиальных скоростей подвижного объекта относительно трех НКА. В основу метода положена зависимость радиальной скорости точки относительно НКА от координат и относительной скорости спутника.

Недостатком рассматриваемого метода является невозможность проведения измерений в реальном времени. Кроме того, в среднеорбитных СНС реализация метода затруднена из-за медленного изменения радиальной скорости. Это обусловило применение радиально-скоростного метода в среднеорбитных СНС только для определения составляющих скорости подвижного объекта. Однако для его реализации необходим высокостабильный эталон частоты. Нестабильность последнего приводит к неконтролируемому изменению доплеровского смещения частоты, что, в свою

очередь, влечет дополнительные погрешности измерения составляющих скорости подвижного объекта.

24.3 Среднеорбитные навигационные спутниковые системы GPS и ГЛОНАСС

Общие сведения. Низкоорбитные СНС первого поколения “Транзит” (США) и “Цикада” (Россия) имели существенные недостатки:

- относительно невысокую точность определения координат места подвижных объектов;
- большие промежутки времени между наблюдениями.

С целью преодоления этих недостатков сначала в США, а потом и в России было принято решение начать работы над созданием СНС нового поколения. В США первоначально она называлась “НАВСТАР” (NAVigation Satellite providing Time And Range), т. е. “навигационная спутниковая система, обеспечивающая измерение времени и местоположения”. В настоящее время система получила название GPS. В России среднеорбитная СНС получила название ГЛОНАСС — глобальная навигационная спутниковая система.

Основное назначение GPS и ГЛОНАСС — высокоточная навигация подвижных объектов в космосе, в воздухе, на воде и земле.

Рассмотрим работу среднеорбитной СНС второго поколения на примере GPS как наиболее совершенной системы этого класса.

Навигационная спутниковая система GPS. Принцип работы системы основан на использовании псевдодальномерного метода. В околоземном пространстве развернута сеть НКА, равномерно “покрывающих” всю земную поверхность. Орбиты НКА вычисляются с очень высокой точностью, поэтому в любой момент времени известны координаты каждого спутника. Радиопередатчики спутников излучают сигналы в направлении Земли. Они принимаются НАП, находящейся на подвижном объекте, координаты которого нужно определить.

В НАП измеряется время распространения сигнала от НКА и вычисляется дальность “спутник-приемник”. Поскольку для определения местоположения объекта нужно знать три координаты (плоские координаты X , Y и высоту H), то в НАП должны быть измерены расстояния до трех различных НКА. При таком методе радионавигации (он называется беззапросным) точное определение

времени распространения сигнала возможно лишь при наличии синхронизации временных шкал спутника и приемника. Поэтому в состав аппаратуры НКА и НАП входят эталонные часы (стандарты частоты) исключительно высокой точности (долговременная относительная стабильность частоты обеспечивается на уровне 10^{-13} — 10^{-15} за сутки). Бортовые стандарты частоты всех НКА синхронизированы и привязаны к так называемому “системному времени”. Эталон времени НАП менее точен, чтобы чрезмерно не повышать его стоимость. Этот эталон должен обеспечивать только кратковременную стабильность частоты в течение процедуры измерений.

На практике в измерениях всегда присутствует ошибка, обусловленная несовпадением шкал времени НКА и НАП. По этой причине в НАП вычисляется искаженное значение дальности до спутника или “псевдодальность”. Измерение расстояний до всех НКА, с которыми в данный момент работает НАП, происходит одновременно. Следовательно, для всех измерений величину временного несоответствия можно считать постоянной. Это эквивалентно тому, что неизвестными являются не только координаты X , Y и H , но и поправка часов приемника Δt . Для их определения необходимо выполнить измерения псевдодальностей не до трех, а до четырех спутников. В результате обработки этих измерений в НАП вычисляются координаты (X , Y и H) и точное время. На подвижном объекте наряду с псевдодальностями измеряют доплеровские сдвиги частот радиосигналов, что позволяет вычислить и его скорость. Таким образом, для выполнения необходимых навигационных определений надо обеспечить постоянную видимость, как минимум, четырех НКА. Избыточные измерения (сверх четырех) позволяют повысить точность определения координат и обеспечить непрерывность решения навигационной задачи.

Космический сегмент (рис. 24.1) состоит из 26 спутников (21 основной и 5 запасных), которые обращаются на шести орбитах.

Плоскости орбит наклонены на угол около 53° к плоскости экватора и сдвинуты между собой на 60° по долготе. Радиусы орбит — до 20150 км, а период обращения — половина звездных суток (примерно 11 ч 58 мин). На борту каждого спутника имеется четыре стандарта частоты (два цезиевых и два рубидиевых — для целей резервирования), солнечные батареи, двигатели корректировки орбит, приемо-передающая аппаратура, компьютер.

Передающая аппаратура спутника излучает синусоидальные сигналы на двух несущих частотах: $L1 = 1575,42$ МГц и $L2 = 1227,6$ МГц. Перед этим сигналы модулируются так называемыми псев-

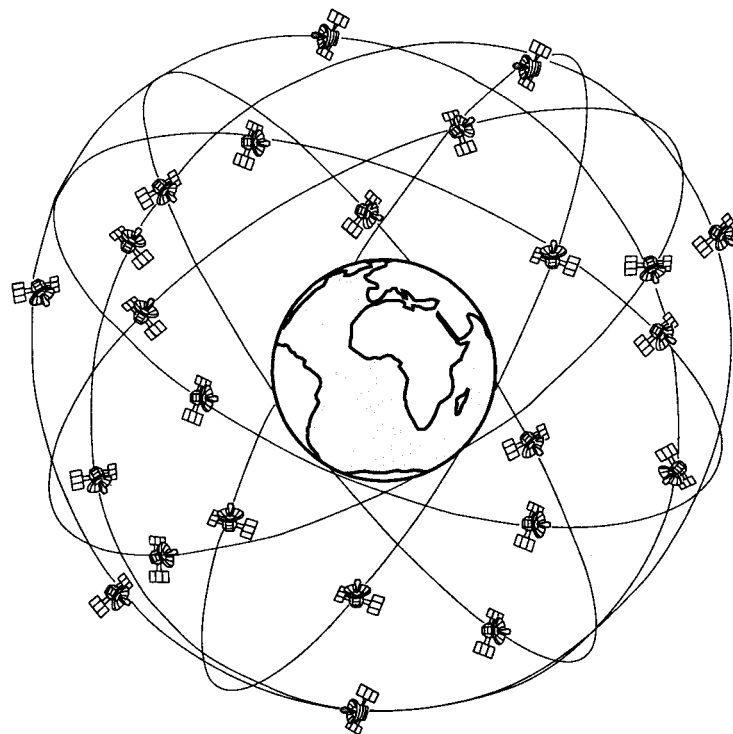


Рис. 24.1. Космический сегмент GPS

дослучайными цифровыми последовательностями (эта процедура называется фазовой манипуляцией). Причем частота L1 модулируется двумя видами кодов: C/A-кодом (код свободного доступа) и P-кодом (код санкционированного доступа), а частота L2 — только P-кодом. Кроме того, обе несущие частоты дополнительно кодируются навигационным сообщением, в котором содержатся данные об орбитах НКА, информация о параметрах атмосферы, поправки системного времени. Кодирование излучаемого спутником сигнала преследует следующие цели:

- обеспечение возможности синхронизации сигналов НКА и НАП;
- создание наилучших условий различения сигнала в НАП на фоне шумов (доказано, что псевдослучайные коды обладают такими свойствами);

- реализацию режима ограниченного доступа к GPS, когда высокоточные измерения возможны лишь при санкционированном использовании системы.

Код свободного доступа C/A (*Coarse Acquisition*) имеет частоту следования импульсов (“чипов”) 1,023 МГц и период повторения 0,001 с. Поэтому его декодирование в приемнике осуществляется достаточно просто. Однако точность автономных измерений расстояний с его помощью невысока.

Защищенный код P (*Protected*) характеризуется частотой следования импульсов 10,23 МГц и периодом повторения 7 суток. Кроме того, раз в неделю происходит смена этого кода на всех спутниках. Поэтому измерения по P-коду могут выполнять только пользователи, получившие разрешение Министерства обороны США, которое дополнительно предприняло меры по его защите: в любой момент без предупреждения может быть включен режим AS (*Anti Spoofing*). При этом выполняется дополнительное кодирование P-кода, и он превращается в Y-код. Расшифровка Y-кода возможна только аппаратно с использованием специальной микросхемы (криптографического ключа), которая устанавливается в GPS-приемнике. Кроме того, для снижения точности определения координат несанкционированными пользователями предусмотрен так называемый “режим выборочного доступа” SA (*Selective Availability*). При включении этого режима в навигационное сообщение намеренно вводится ложная информация о поправках к системному времени и орбитах НКА, что приводит к снижению точности навигационных определений примерно в 3 раза.

Поскольку P-код передается на двух частотах (L1 и L2), а C/A-код — на одной (L1), то в НАП, работающих по P-коду, частично компенсируется ошибка задержки сигнала в ионосфере, которая зависит от частоты сигнала. Точность автономного определения расстояния по P-коду примерно на порядок выше, чем по C/A- коду.

Сегмент контроля и управления содержит главную станцию управления (авиабаза Фалькон в штате Колорадо), пять станций слежения, расположенных на американских военных базах на Гавайских островах, островах Вознесения, Диего-Гарсия, Кваджилейн и Колорадо-Спрингс и три станции закладки, расположенных на островах Вознесения, Диего Гарсия и Кваджилейн. Кроме того, имеется сеть государственных и частных станций слежения за НКА, которые выполняют наблюдения для уточнения параметров атмосферы и траектории движения спутников. Собираемая информация обра-

батывается в суперкомпьютерах и передается на спутники для корректировки орбит и обновления навигационного сообщения.

Навигационная аппаратура потребителей работает следующим образом. В НАП (GPS-приемнике) принимаемый сигнал декодируется, т. е. из него выделяются кодовые последовательности C/A либо C/A и P, а также служебная информация. Полученный код сравнивается с аналогичным кодом, который генерирует сам GPS-приемник, что позволяет определить задержку распространения сигнала от спутника и таким образом вычислить псевдодалность. После захвата сигнала спутника аппаратура приемника переводится в режим слежения, т. е. поддерживается синхронизм между принимаемым и опорным сигналами. Процедура синхронизации может выполняться:

- по C/A-коду (одночастотный кодовый приемник);
- по P-коду (двухчастотный кодовый приемник);
- по C/A-коду и фазе несущего сигнала (одночастотный фазовый приемник);
- по P-коду и фазе несущего сигнала (двухчастотный фазовый приемник).

Сложная структура сигнала, передаваемого от НКА к приемнику, обусловила многообразие способов его обработки. Кодовые наблюдения реализуются в самых простых по конструкции НАП. Из принятого со спутника сигнала частоты L1 выделяется C/A-код (тогда приемник называется одночастотным) или из частотных сигналов L1 и L2 выделяется P-код (двухчастотный приемник). Производится сравнение соответствующего кода с эталонным кодом, который генерирует сам приемник. Точность определения координат при этом составляет:

- для одночастотного (L1) приемника — 100 м;
- для двухчастотного (L1, L2) приемника — 16 м.

Значения точности приведены для неблагоприятного режима измерений, когда включен режим “ограниченного доступа” SA.

Фазовые наблюдения выполняются для повышения точности измерений. В этом случае при сравнении принятого со спутника сигнала и его эталона, генерируемого в приемнике, учитывается не только код, но и фаза несущей частоты (L1 или L2). Поскольку период несущей частоты в сотни (для P-кода) и тысячи (для C/A-кода) раз меньше периодов кодовых последовательностей, точность процедуры сравнения значительно повышается, а следовательно, возрастает точность измерения координат. Однако в этом случае возникает проблема целочисленной фазовой неоднозначности,

поскольку отсутствует информация о количестве целых периодов информационного сигнала, укладываемых на пути НКА — приемник. Непосредственно можно измерить только дробную часть фазовой задержки сигнала (в пределах одного периода). Для решения этой проблемы используют несколько способов:

- классический двухэтапный метод измерений, который предполагает на первом этапе выполнение большого количества избыточных измерений, а на втором — статистический анализ полученных данных и определение наиболее вероятного значения фазовой неоднозначности;
- модификация классического метода, которая отличается тем, что при обработке результатов измерений производится многоэтапная калмановская фильтрация и выбирается группа фильтров Калмана с оптимальными свойствами;
- метод замены антенн, когда наблюдения выполняются двумя различными приемниками на двух пунктах в две различные эпохи. При измерениях во вторую эпоху производится замена антенн приемников;
- метод определения неоднозначности “в пути”, когда для определения целого числа периодов используют линейные комбинации сигналов L1 и L2 (суммы и разности).

Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС. Система имеет назначение, аналогичное системе GPS.

Подсистема космических аппаратов системы ГЛОНАСС состоит из 24 спутников, находящихся на круговых орбитах высотой 19100 км, наклонением $64,8^\circ$ периодом обращения 11 ч 15 мин в трех орбитальных плоскостях (рис. 24.2).

Орбитальные плоскости разнесены по долготе на 120° . В каждой орбитальной плоскости размещаются по восемь спутников с равномерным сдвигом по аргументу широты 45° . Кроме этого, сами плоскости сдвинуты относительно друг друга по аргументу широты на 15° . Такая конфигурация НКА позволяет обеспечить непрерывное и глобальное покрытие земной поверхности и околоземного пространства навигационным полем.

Подсистема контроля и управления состоит из Центра управления системой ГЛОНАСС и сети станций измерения, управления и контроля, рассредоточенной по всей территории России. В задачи подсистемы входит контроль правильности функционирования НКА, непрерывное уточнение параметров орбит и выдача на спутники временных программ, команд управления и навигационной информации.

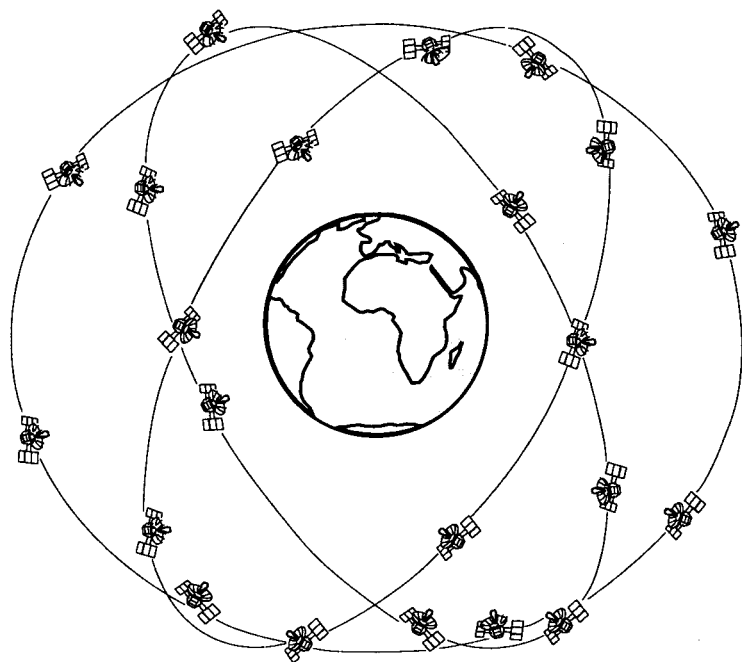


Рис. 24.2. Космический сегмент ГЛОНАСС

Навигационная аппаратура потребителей состоит из навигационных приемников и устройств обработки, предназначенных для приема навигационных сигналов спутников ГЛОНАСС и вычисления собственных координат, скорости и времени.

Навигационной аппаратурой потребителей системы ГЛОНАСС выполняются беззапросные измерения псевдодальностей и радиальной псевдоскорости до четырех (трех) спутников ГЛОНАСС, а также прием и обработка навигационных сообщений, содержащихся в составе спутниковых навигационных радиосигналов. В навигационном сообщении описывается положение спутника в пространстве и времени. В результате обработки полученных измерений и принятых навигационных сообщений определяются три (две) координаты потребителя, три (две) составляющие вектора скорости его движения, а также осуществляется «привязка» шкалы времени потребителя к шкале Госэталона Всемирного координированного времени UTC.

Данные, обеспечивающие планирование сеансов навигационных определений, выбор рабочего «созвездия» НКА и обнаружение передаваемых ими радиосигналов, передаются в составе навигационного сообщения.

Каждый НКА передает навигационные радиосигналы в двух частотных поддиапазонах ($L1 \sim 1,6$ ГГц и $L2 \sim 1,2$ ГГц).

В системе используется частотное разделение навигационных радиосигналов НКА в обоих поддиапазонах $L1$ и $L2$. Каждый НКА передает навигационные радиосигналы на собственных частотах поддиапазонов $L1$ и $L2$. НКА, находящиеся в противоположных точках орбитальной плоскости (антиподные НКА), могут передавать навигационные радиосигналы на одинаковых частотах.

В радиолиниях частотных поддиапазонов $L1$ и $L2$ НКА передают навигационные сигналы двух типов: стандартной точности и высокой точности. Сигнал стандартной точности с тактовой частотой 0,511 МГц предназначен для использования отечественными и зарубежными гражданскими потребителями. Сигнал высокой точности с тактовой частотой 5,11 МГц модулирован специальным кодом и не рекомендуется к использованию без согласования с Министерством обороны РФ.

Системы GPS и ГЛОНАСС хотя и выглядят весьма похожими, но в то же время имеют ряд существенных отличий. К ним относятся:

- баллистическое построение космического сегмента;
- принцип разделения сигналов;
- форма представления эфемерид;
- структура информационного кадра;
- разные системы координат;
- различные шкалы времени;
- режим селективного доступа системы GPS.

В табл. 24.1. приведены основные сравнительные характеристики систем GPS и ГЛОНАСС.

Сигналы спутников ГЛОНАСС излучаются в диапазонах частот $L1$ и $L2$. Сигналы диапазона $L2$ модулируются специальными кодами, не предназначенными для международных пользователей системы ГЛОНАСС. Однако сигналы этого диапазона частот могут использоваться для устранения ионосферной задержки при бескодовом методе приема.

Различия систем GPS и ГЛОНАСС, хотя и создают проблемы при разработке НАП, но они принципиально преодолимы.

Таблица 24.1. Сравнительные характеристики GPS и ГЛОНАСС

Характеристики	ГЛОНАСС	GPS
Число спутников в системе	24	21 + 5 в резерве
Число орбитальных плоскостей	3	6
Наклонение орбиты	64,8°	53°
Высота орбиты	19100 км	20180 км
Период обращения	11 ч 15 мин	12 ч
Метод представления эфемеридных данных	9 параметров движения	Кеплеровские элементы
Геодезическая система координат	ПЗ-90	WGS-84
Содержимое альманаха	120 бит	152 бит
Длительность передачи альманаха	2,5 мин	12,5 мин
Метод разделения сигналов спутника	Частотный	Кодовый
Диапазон частот L1	1602,5625 – 1615,5±0,5 МГц	1575,41±1 МГц
Диапазон частот L2	1246,4375 – 1256,5 МГц	1227,6 МГц
Число элементов кода	511	1023
Тактовая частота кода	0,511 МГц	1,023 МГц
Уровень переходных помех для двух соседних каналов	–48 дБ	–21,6 дБ
Период повторения синхрокода	2 с	6 с
Тип используемого дальномерного кода	Последовательность максимальной длины	Код Голда
Селективный доступ	Отсутствует	Имеется

Совместное использование систем GPS и ГЛОНАСС позволяет повысить доступность и целостность ГНСС, а также точность определения координат места.

24.4 Дифференциальная подсистема ГНСС

Необходимость удовлетворения повышенных требований к точности местоопределения судов потребовала в ряде случаев разработки принципиально новых систем радионавигации. Это касается в первую очередь:

- обеспечения безопасности плавания по внутренним водным путям, в узкостях, на акваториях портов и на подходах к ним;
- управления движением судов;
- установки плавучих средств навигационного оборудования;
- обеспечения проведения специальных работ в исключительной экономической зоне.

Сначала за рубежом, а потом и у нас в стране была создана дифференциальная подсистема среднеорбитальных спутниковых навигационных систем (ДГНСС).

В табл. 24.2 приведены обобщенные эксплуатационные требования к дифференциальной подсистеме ГНСС.

Под *доступностью* в таблице понимается процент времени, в которое возможно использование системы, а под *целостностью* — способность системы обеспечить своевременное предупреждение потребителей в случае, когда она не может быть использована для навигационного обеспечения.

Суть дифференциального метода состоит в выполнении измерений двумя приемниками, один из которых устанавливается в определяемой точке, а другой — в точке с известными координатами — базовой (контрольной) станции. Поскольку расстояние от НКА до приемников значительно больше расстояния между самими приемниками, то считают, что условия приема сигналов обоими приемниками практически одинаковы. Следовательно, и величины ошибок также будут близки. В дифференциальном режиме измеряют не абсолютные координаты первого приемника, а его положение относительно базового (вектор базы). Таким образом, дифференциальный режим предполагает наличие как минимум двух приемоиндикаторов в двух точках 1 и 2 пространства: ПИ1 на контрольно-корректирующей станции (ККС) и ПИ2 на судне. Причем ПИ1 геодезически точно привязан к принятой системе координат (ПЗ-90 или WGS-84). Раз-

Таблица 24.2. Эксплуатационные требования к морской дифференциальной подсистеме

Характеристики подсистемы	Плавание в портах и на подходах к ним	Управление движением судов	Координирование СНО	Обеспечение спец. работ в экономической зоне
Погрешность определения места (с $P = 0,95$), м	8–20	10	5–10	1
Рабочая зона, км	20	Не определена	20	200 миль
Доступность	0,997	0,999	0,95	0,95
Целостность: время подачи сигнала предупреждения, с	6–10	6–10	—	—

ности между измеренными ПИ1 и рассчитанными в нем значениями псевдодальностей “видимых” НКА, а также разности соответствующих псевдоскоростей по линии передачи данных (ЛПД) передаются ПИ2, в котором они вычитаются из измеренных ПИ2 псевдодальностей и псевдоскоростей. Если погрешности определения псевдодальностей слабо изменяются во времени и пространстве, то они существенно компенсируются переданными по ЛПД поправками. При этом дифференциальные поправки могут быть использованы только в пределах дальности действия ККС и в течение определенного времени. С увеличением интервала времени от определения и дальности между контрольно-корректирующей станцией и определяющимся судном достижимая точность дифференциального режима падает. Установлено, что погрешность определения места возрастает примерно на 1 м с увеличением расстояния до ККС примерно на 150 км. Поэтому в определенный момент наступает их предельное состояние, когда применение дифференциального режима не дает преимуществ перед штатным режимом использования среднеорбитальных СНС. Это стало особенно заметным после того, как 1 мая 2000 г. правительство США отключило режим селективного доступа (Selective Availability), и пользователи системы GPS получили возможность в полной мере реализовать потенциальную точность данной системы, т. е. порядка 15–20 м (с $P = 0,997$).

С учетом изложенного, правомерно говорить о создании вокруг ККС пространственно-временной локальной рабочей области применения ДГНСС. Ее размеры определяются исходя из потребной точности навигационных определений, а не из возможной дальности действия радиопередатчика корректирующей информации.

Наряду с описанным существуют и другие разновидности дифференциального метода, например:

- дифференциальный режим с коррекцией координат;
- дифференциальный режим с использованием относительных координат;
- дифференциальный режим с использованием псевдоспутников и др.

Дифференциальные подсистемы (ДПС) подразделяются на широкозонные, региональные и локальные.

Широкозонные ДПС. В настоящее время известность получили проекты, использующие геостационарные НКА в качестве средств передачи сигнала контроля целостности и дифференциальных поправок. К ним относятся: американская WAAS, европейская EGNOS, японская MSAS.

Основой широкозонной ДПС является сеть ККС, информация которых передается в центр управления для совместной обработки

с целью выработки общих поправок и сигналов целостности. Размер рабочей зоны широкозонной ДПС составляет до 5000 км. Выработанные сигналы целостности и корректирующие поправки передаются по ЛПД, возможности которых должны соответствовать размерам зоны системы.

Региональные ДПС. Они предназначены для навигационного обеспечения отдельных регионов континента, моря, океана. Диаметр рабочей зоны может составлять от 400–500 км до 2000 км. Региональные подсистемы могут иметь в своем составе одну или несколько ККС, а также соответствующие средства передачи корректирующей информации и сигналов целостности.

Примером региональных ДПС являются дифференциальные подсистемы Starfix. Эти подсистемы имеют дальность свыше 2000 км. Сеть таких ДПС образована 60-ю наземными ККС и 4-мя НКА Инмарсат и охватывает многие районы всех континентов за исключением части Африки и России, а также акватории прилегающих морей. Заявленная точность определения координат места (с $P = 0,95$) составляет 1–2 м на дальностях до 1000 км и 3 м на расстояниях, превышающих 2000 км.

Локальные ДПС. Они имеют максимальные дальности действия от ККС до 50–200 км. Локальные ДПС чаще всего включают одну ККС, аппаратуру управления и контроля (в том числе, контроля целостности) и средства передачи данных.

В настоящее время определились три основных класса ЛДПС:

- морские ЛДПС для обеспечения мореплавания в проливах, узкостях и акваториях портов и гаваней в соответствии с требованиями Международной морской организации (ИМО);
- авиационные ЛДПС для обеспечения захода на посадку и посадки по категориям Международной организации гражданской авиации (ИКАО);
- ЛДПС для геодезических, землемерных и других специальных работ.

В практике судовождения широкое распространение получили морские ЛДПС, использующие в качестве средств линии передачи данных всенаправленные средневолновые радиомаяки с дальностью действия до 200 км, располагаемые обычно в местах интенсивного движения судов, и спутниковые системы связи (рис. 24.3). Их функционирование поддерживается национальными властями и координируется в международном масштабе. Использование имеющейся материальной базы радиомаячной службы (передатчики, антенные системы, системы энергоснабжения) позволяет снизить стоимость развертывания морской дифференциальной подсисте-

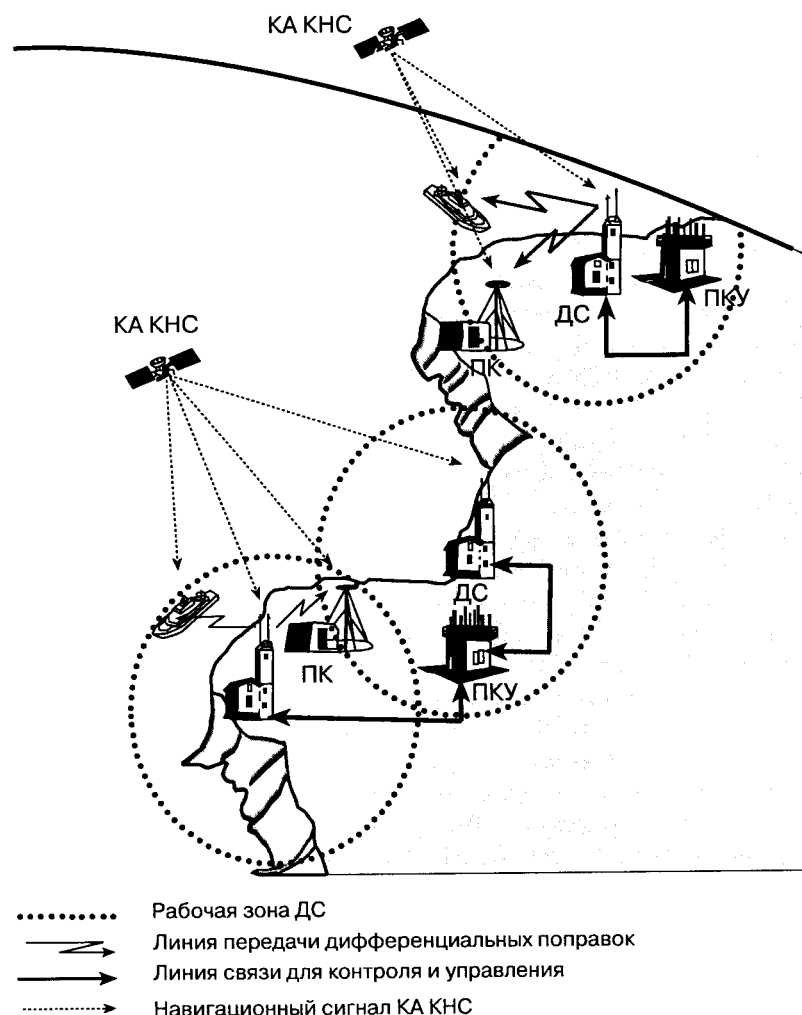


Рис. 24.3. Общая схема построения морской дифференциальной подсистемы

мы. Поэтому морская радиомаячная служба является предпочтительной основой для создания такой подсистемы.

Предполагается, что сеть ЛДПС, работающих по системам ГЛОНАСС и GPS (ГНСС), будет охватывать все побережье России и акватории прилегающих морей. Главными элементами дифференциальной подсистемы (рис. 24.4) являются:

- контрольно-корректирующая станция, осуществляющая измерения навигационных параметров, контроль навигационного

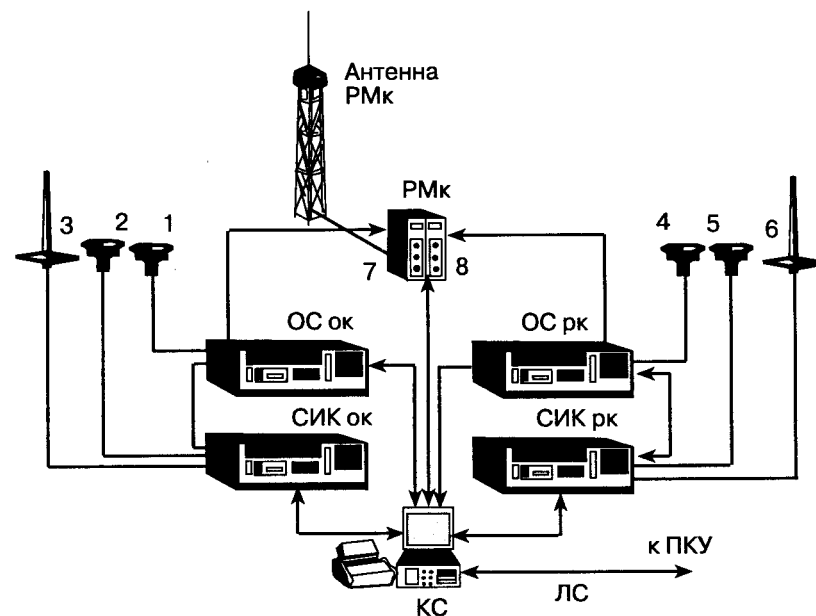


Рис. 24.4. Структурная схема контрольно-корректирующей станции:

КС — контрольная станция; ОС_{ок} — основной комплект опорной станции; ОС_{рк} — резервный комплект опорной станции; ПКУ — пункт контроля и управления; СИК_{ок}, СИК_{рк} — соответственно основной и резервный комплекты станции интегрального контроля; РМ_к — радиомаяк; 1–6 — антенны; 7, 8 — соответственно первый и второй полукомплекты оборудования РМ_к

поля ГНСС, расчет дифференциальных поправок;

- линия передачи данных на базе радиопередатчиков радиомаячной службы;
- судовой приемник дифференциальных поправок;
- судовой приемник ГНСС, сопряженный с приемником дифпоправок.

Такие ККС рассчитывают по данным приемников сигналов ГЛОНАСС и GPS поправки, преобразуют их в стандартные сообщения и подают их на модулятор передатчика-радиомаяка.

Дифференциальные подсистемы одновременно с выработкой и передачей дифпоправок решают задачу контроля состояния (целостности) ГНСС и доведения до потребителей его результатов. Задачами контроля качества радионавигационного поля ГНСС являются:

- своевременное обнаружение аномалий в функционировании космических аппаратов;

- оценка реальных возможностей ГНСС и ДПС в локальных зонах;
- выработка рекомендаций по использованию ГНСС и ДПС и доведение их до потребителей.

Погрешность определения координат места судна (с $P = 0,95$) при совместном использовании СНС ГЛОНАСС и GPS составит от 2 до 4,5 м.

24.5 Точность определения места по среднеорбитной ГНСС

Решение навигационной задачи с помощью НАП заключается в определении пространственно-временных координат путем двухэтапной процедуры обработки навигационной информации. На первом этапе производят измерение навигационных параметров, а на втором этапе полученные параметры подвергаются преобразованиям на основе навигационных алгоритмов с целью расчета пространственно-временных координат.

На точность определения координат существенное влияние оказывают погрешности, возникающие при выполнении первичных и вторичных измерений. Природа этих погрешностей различна. Рассмотрим основные из них применительно к псевдодальномерному методу. Выражение (24.2) записано в упрощенном виде, так как дальноммерная погрешность $\delta_{\text{дал}}$ представлена только одной составляющей D' . Фактически их значительно больше, например:

1) *неточное определение времени*. При всей точности временных эталонов НКА существует некоторая погрешность шкалы времени аппаратуры спутника. Она приводит к возникновению систематической погрешности определения координат около 0,6 м;

2) *погрешности вычисления орбит*. Они появляются вследствие неточностей прогноза и расчета эфемерид спутников, выполняемых в аппаратуре приемника. Эти погрешности также носят систематический характер и приводят к погрешности измерения координат около 0,6 м;

3) *инструментальная погрешность приемника*. Она обусловлена, прежде всего, наличием шумов в электронном тракте приемника. Отношение сигнал/шум приемника определяет точность процедуры сравнения принятого от НКА и опорного сигналов, т. е. погрешность вычисления псевдодальности. Это приводит к возникновению погрешности в координатах порядка 1,2 м;

4) *многолучевость распространения сигнала*. Она появляется в результате вторичных отражений сигнала спутника от крупных препят-

ствий, расположенных в непосредственной близости от приемника. При этом возникает явление интерференции, и измеренное расстояние оказывается больше действительного. Аналитически данную погрешность оценить достаточно трудно. Способом борьбы с ней является рациональное размещение антенны приемника относительно препятствий. В результате воздействия этого фактора погрешность определения псевдодальности может увеличиться на 2,0 м;

5) *ионосферные задержки сигнала*. Ионосфера — это ионизированный атмосферный слой в диапазоне высот 50–500 км, который содержит свободные электроны. Наличие этих электронов вызывает задержку распространения сигнала спутника, которая прямо пропорциональна концентрации электронов и обратно пропорциональна квадрату частоты радиосигнала. Для компенсации возникающей при этом погрешности определения псевдодальности используется метод измерений на частотах L1 и L2 (в двухчастотных приемниках). Линейные комбинации двухчастотных измерений не содержат ионосферных погрешностей первого порядка. Кроме того, для частичной компенсации этой погрешности может быть использована модель коррекции, которая аналитически рассчитывается с использованием информации, содержащейся в навигационном сообщении. При этом величина остаточной немоделируемой ионосферной задержки может вызывать погрешность определения псевдодальности около 10 м;

6) *тропосферные задержки сигнала*. Тропосфера — самый нижний от земной поверхности слой атмосферы (до высоты 8–13 км). Она также обуславливает задержку распространения радиосигнала от спутника. Величина задержки зависит от метеопараметров (давления, температуры, влажности), а также от высоты спутника над горизонтом. Компенсация тропосферных задержек производится путем расчета математической модели этого слоя атмосферы. Необходимые для этого коэффициенты содержатся в навигационном сообщении. Тропосферные задержки вызывают погрешности измерения псевдодальностей в 1 м;

7) *геометрическое расположение спутников*. При вычислении суммарной погрешности необходимо учитывать взаимное положение потребителя и спутников рабочего созвездия. Для этого вводится специальный коэффициент (GDOP — Geometrical Delution of Precision) геометрического ухудшения точности, на который необходимо умножить все перечисленные выше погрешности, чтобы получить их результирующую погрешность. Величина коэффициента GDOP зависит от взаимного расположения спутников и приемника. Она обратно пропорциональна объему фигуры, которая

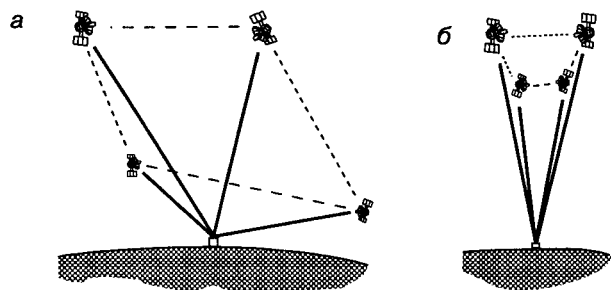


Рис. 24.5. Варианты геометрического расположения созвездия НКА, выбранного для обсервации:

а — удачное; б — неудачное

будет образована, если провести единичные векторы от приемника к спутникам. Большое значение GDOP говорит о неудачном расположении НКА и большой величине погрешности. На рис. 24.5 приведены примеры удачного (а) и неудачного (б) геометрического положения спутников.

Все дальномерные погрешности в зависимости от их происхождения можно разбить на три группы:

- 1) погрешности $\delta D_{\text{НКА } i}$, вносимые на i -ом НКА или КИК;
- 2) погрешности $\delta D_{\text{тр } i}$, вносимые на трассе распространения сигнала i -го НКА;
- 3) погрешности $\delta D_{\text{НАП}}$, вносимые в НАП.

Тогда уравнение (24.2) запишем в виде

$$D_{\text{изм } i} = D_i + \delta_{\text{дал } i} = D_i + D' + \delta D_{\text{НКА}} + \delta D_{\text{тр } i} + \delta D_{\text{НАП}}. \quad (24.3)$$

Первая группа погрешностей обусловлена в основном несовершенством частотно-временного и эфемеридного обеспечения НКА.

Погрешности частотно-временного обеспечения (расхождение шкал времени системы спутников и потребителя и расхождение частот их опорных генераторов) включаются в число неизвестных (оцениваемых) по измерениям и на результат обсервации влияния не оказывают, хотя для их исключения требуется избыточное количество наблюдаемых спутников (четыре для трехкоординатной обсервации).

Эфемеридные погрешности вызваны неточностью определения на КИК параметров орбит НКА и непрогнозируемыми смещениями спутника относительно экстраполированной орбиты.

К погрешностям второй группы следует отнести:

- ионосферные ошибки измерений;

- тропосферные ошибки измерений;
- ошибки, вызванные приемом отраженных местными предметами сигналов (многолучевость).

Эти ошибки в основном и определяют суммарную погрешность обсервации. Вклад их в суммарную погрешность оценивается единицами метров (практически по каждой составляющей).

К погрешностям третьей группы, обусловленной аппаратурой потребителя, можно отнести погрешности слежения за моментом прихода сигнала спутника. При этом основной вклад вносят шумовые и динамические погрешности схем слежения за задержкой огибающей и несущей сигналов НКА. Их значения в целом оцениваются величиной в несколько десятков (20–30) сантиметров.

Соотношение между погрешностями определения первичных и вторичных навигационных параметров зависит от геометрии взаимного расположения НКА и подвижного объекта, в качестве количественной меры которого используется коэффициент геометрии — геометрический фактор K_r (GDOP — геометрический фактор ухудшения местоопределения). Количественная характеристика K_r вводится для случая, когда погрешности определения псевдодальностей равновелики и не коррелированы.

Геометрический фактор может быть представлен в виде

$$K_r^2 = K_{\text{тр}}^2 + K_{\text{тр}}^2, \quad (24.4)$$

где $K_{\text{тр}}$ — пространственный коэффициент для трехмерных координат (PDOP — Position Delution of Precision); $K_{\text{тр}}$ — временной коэффициент (TDOP — Time Delution of Precision).

СКП измерения псевдодальностей может быть приближенно рассчитана по формуле

$$\sigma_{\text{дал}} = [(D')^2 + D_{\text{НКА}}^2 + \delta D_{\text{тр } i}^2 + \delta D_{\text{НАП}}^2]^{0.5}. \quad (24.5)$$

Пространственный коэффициент геометрии, в свою очередь, можно разделить на две составляющие, характеризующие точность определения места подвижного объекта в горизонтальной и вертикальной плоскостях:

$$K_{\text{тр}}^2 = K_{\text{тр}}^2 + K_{\text{тр}}^2, \quad (24.6)$$

где $K_{\text{тр}}$ — горизонтальный (HDOP — Horizontal Delution of Precision) коэффициент для двухмерных координат; $K_{\text{тр}}$ — вертикальный

Таблица 24.3. Геометрические факторы в СНС ГЛОНАСС

Геометрические факторы	Значения факторов при числе видимых НКА					
	4	5	6	7	8	9
P_N	1	1	1	1	0,91	0,58
HDOP, $K_{гг}$	1,41	1,26	1,15	1,03	0,95	0,89
VDOP, $K_{гв}$	2,0	1,75	1,7	1,61	1,6	1,55
TDOP, $K_{гг}$	1,13	1,03	1,03	0,95	0,93	0,91
PDOP, $K_{гп}$	2,45	2,16	2,05	1,91	1,86	1,79
GDOP, $K_{гг}$	2,69	2,39	2,3	2,13	2,08	2,01

(VDOP – Vertical Delution of Precision) коэффициент для вертикальных координат.

Так как наиболее важной характеристикой является точность определения координат места судна, то в оценке его точности наиболее часто используются коэффициенты $K_{гп}$ (PDOP) и $K_{гг}$ (HDOP).

Установлено, что минимальное значение $K_{гп} = 1,5$ достигается в случае, когда подвижной объект находится в центре правильного тетраэдра. В случае судовождения минимальное значение $K_{гг} = 1,63$ достигается тогда, когда один НКА находится в зените, а три других равномерно расположены в горизонтальной плоскости ($K_{гг} = 0,577$; $K_{гг} = 1,732$). Следовательно, для минимизации $K_{гг}$ необходимо минимизировать объем тетраэдра.

Конфигурация орбитальной группировки GPS такова, что она с вероятностью 0,999 обеспечивает в глобальном масштабе видимость в любой момент времени четырех и более НКА. При этом четыре НКА обеспечивают PDOP ≤ 6 , HDOP = 1,5, а VDOP = 2,2.

Значения геометрических факторов, обеспечиваемых орбитальной группировкой ГЛОНАСС и вероятности видимости P_N заданного числа спутников приведены в табл. 24.3

Точность определения места судна может быть рассчитана по приближенной формуле

$$M = \sigma_{\text{дал}} K_{гг}, \quad (24.7)$$

Геометрический фактор рассчитывается в приемнике и высвечивается на дисплее НАП. Однако рассчитать погрешность измерения псевдодальностей вручную – весьма сложная задача и в реальных условиях это не делается. Для целей судовождения она принимается равной 16 м.

ЭЛЕКТРОННАЯ КАРТОГРАФИЯ

Глава 25

ЭЛЕКТРОННЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ КАРТЫ И КАРТОГРАФИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

25.1

Международные стандарты и формат электронных картографических систем

Начиная с 1985 г. на рынке программных продуктов для судоводителей стали появляться первые программы, представляющие навигационные бумажные карты в виде компьютерных графических файлов.

Эти графические файлы, получившие впоследствии название *электронных навигационных карт* (ЭНК), представляли собой стандартизированные по содержанию, структуре и формату базы данных, включающих в себя всю картографическую информацию, необходимую для безопасного мореплавания и дополнительную информацию, относящуюся к навигации. *Формат* – это спецификация последовательности и видов представления элементов информации (чисел, теста) на носителе.

В первые годы производства электронных навигационных карт каждая фирма выполняла эти карты по собственной технологии и в собственных форматах (как самих карт, так и графических файлов, представляющих карты). Уже в то время наметились две, тогда существенно различные, технологии цифровых данных для электронных карт.

Одна из них основывалась на растровом методе считывания информации, который уже долгие годы использовался в телевидении

для построения изображения. Этот метод используется также для считывания изображений в компьютерных устройствах ввода графической информации—сканерах. Суть метода сводится к считыванию бумажной карты сканером, распознаванию и коррекции объектов и надписей на картах, а затем, к выпуску соответствующего файла информации. Электронные навигационные карты, изготовленные таким методом, стали называться растровыми электронными навигационными картами (РЭНК) (RENC—Raster Electronic Navigation Charts). Растровая карта по сути дела представляет собой цифровую фотографию исходной бумажной навигационной карты.

Одновременно с растровой стала развиваться и другая технология “оцифровки” бумажных карт, основанная на использовании принципа действия диджитайзера. В этом методе каждому объекту, считываемому с карты, соответствует свой вектор, связывающий его с базовой точкой карты. Векторный формат графических данных более сложный, однако он позволяет производить любые преобразования данных при сохранении исходной точности и разрешающей способности. Производимые таким образом электронные карты стали называть векторными (ВЭК).

Одновременно с созданием электронных карт стали разрабатываться программы, позволяющие получать их изображения на экране дисплея, наносить на это изображение координаты любого судна, прокладывать маршруты следования, а также наносить другую информацию. Такие программы получили название Chart Plotter—графопостроители электронных карт.

Наряду с графопостроителями электронных карт стали развиваться так называемые *электронные картографические системы* (ЭКС)—Electronic Chart System (ECS).

Электронная картографическая система, кроме собственно компьютера и программного обеспечения, включает в себя оборудование, позволяющее подключать к системе приемоиндикаторы гиперболических и спутниковых РНС, а также другие приборы, используемые на судне для навигации—радиолокационную станцию, эхолот, лаг, магнитный и гироскопический компасы и др.

В такой системе автоматически ведется счисление пути судна с нанесением траектории движения на электронную карту; уточняется путевой угол и скорость судна; определяются координаты судна с максимально возможной точностью; рассчитываются отклонения от заданной линии пути, время прибытия в конечную точку, расстояние, курс, время до точки поворота; выполняется контроль безопасности движения путем анализа картографической и нави-

гационно-гидрографической обстановки; при необходимости подаются световые и звуковые сигналы, предупреждающие об опасности, либо о других, требующих внимания судоводителя, ситуациях; выполняется и ряд других функций.

Электронные картографические системы обеспечивают непрерывный и объективный контроль за местоположением и движением судна и наблюдаемых целей, позволяют автоматизировать измерения и их обработку, представляют судоводителю наглядную и надежную информацию в виде, пригодном для немедленного использования.

В результате на ходовой вахте судоводитель освобождается от выполнения многих рутинных операций, что исключает возможность совершения им ошибок. Система предоставляет ему в интегрированном виде информацию, характеризующую все стороны процесса судовождения, что позволяет повысить безопасность плавания и обоснованно принимать решения по управлению судном.

В первые годы развития электронной картографии вполне обоснованно возник вопрос о стандартизации как объема информации, отображаемой на картах, так и их форматах. В 1990 г. появился стандарт ИНО (International Hydrographic Organization) международной гидрографической организации (МГО), определяющий содержание и требования к формату карт и картографических дисплеев и их возможностей. Этот стандарт назывался S-52 (первая редакция). В 1990 г. был определен стандарт на формат DX-90 цифровых картографических данных, принятый совместно ИМО и МГО. В этом же году была принята третья редакция стандарта S-57 (“Стандарт передачи МГО цифровых гидрографических данных”), уточняющая векторный формат электронных карт DX-90. Этой редакцией было поставлено условие перевода карт, выполненных по внутренним форматам фирм производителей, в единый формат DX-90 или соответствие этому формату.

До 1995 г. ИМО выдвигала жесткое требование, предусматривающее при пользовании электронными картами обязательную прокладку на бумажной навигационной карте. Таким образом, ни плоттеры электронных карт, ни электронные картографические системы ЭКС не признавались заменителями официальных бумажных карт, производимых гидрографическими обществами. Считалось, что ЭНК и ЭКС являются средствами, облегчающими работу судоводителей, повышающими безопасность мореплавания, обеспечивающими экономию топлива и эксплуатационных расходов, но не освобождающими судоводителя от использования официально принятых бумажных карт.

В 1995 г. стал разрабатываться новый класс электронных картографических систем — электронные картографические навигационно-информационные системы (ЭКНИС). В английском языке аббревиатура этих систем расшифровывается как Electronic Chart Display and Information System (ECDIS). Стандарт, определяющий характеристики и форму представления информации в таких системах, получил название EPS — IMO Performance Standart for ECDIS (Резолюция ИМО А.817(19) от 23 ноября 1995 г.)

25.2 Основные определения и сокращения

Электронная картографическая навигационно-информационная система (ЭКНИС) — навигационная информационная система, объединяющая информацию технических средств навигации и других судовых систем для отображения навигационных параметров местоположения судна, навигационно-гидрографической и другой обстановки на электронной навигационной карте, отвечающей требованиям главы V Конвенции СОЛАС-74/95 в отношении откорректированной навигационной карты, и автоматизации решения основных задач судовождения.

Электронная навигационная карта (ЭНК) — база данных, стандартизованная по содержанию, структуре и формату, созданная для использования в ЭКНИС с разрешения уполномоченных государственных гидрографических служб. ЭНК содержит в себе всю картографическую информацию, необходимую для безопасного мореплавания, и может включать в себя дополнительную навигационную информацию.

Системная электронная навигационная карта (СЭНК) — база данных, полученная трансформированием ЭНК в формат ЭКНИС с целью удобства ее использования и учета корректуры, а также использования других сведений, добавляемых мореплавателем. СЭНК используется в ЭКНИС для формирования на экране изображения карты и автоматизированного решения навигационных задач. Такое изображение является эквивалентом откорректированной навигационной карты. СЭНК может включать в себя информацию, поступающую из других источников.

Электронная карта (ЭК) — отображение карты на экране ЭКНИС, получаемое по информации, содержащейся в СЭНК.

Специальная база данных — база данных, хранимая отдельно от СЭНК, информация которой отображается на экране ЭКНИС по требованию оператора или при определенных обстоятельствах.

25.3 Картографическая информация, используемая в ЭКНИС

В основу использования ЭК в судовождении положены следующие принципы: точность и полнота ЭК должна быть не ниже бумажных навигационных карт, картографическая база данных (КБД) и корректуры к ней должны быть выполнены в официально принятых МГО стандартных форматах; КБД и ЭК приобретают силу только после их утверждения гидрографическими службами, которые должны нести полную ответственность за их содержание; исходная КБД в судовых системах автоматизации должна храниться в неизменяемом виде; КБД и система управления ей являются программными продуктами, поэтому размножение, регистрация и распространение их должны соответствовать принятым в большинстве стран мира правилам распространения программного обеспечения.

Для унификации использования данных электронных карт при выполнении с ними различных работ международными требованиями предусматривается представление их на носителях информации в специальных форматах, принятых МГО. Официальным форматом для представления картографической информации, как было указано ранее, является формат DX-90. Он предназначен для обмена картографическими данными между гидрографическими службами стран-членов МГО и для передачи данных изготовителями ЭКНИС.

Формат 90-DX обладает большими возможностями. Он совместим с другими средствами обмена данными и не ориентирован на определенную нарезку карт, позволяет поддерживать несколько уровней обмена цифровыми данными, представлять место объекта в географической или прямоугольной системах координат с различными единицами и мерами точности, строить карты в различных проекциях, хранить описательную информацию для наборов данных, добавлять новые записи.

Сертифицированная ЭКНИС работает со множеством видов электронных карт:

- векторными картами, выпущенными гидрографическими обществами в соответствии с международным стандартом S-57 — электронными навигационными картами;
- официальными растровыми электронными навигационными картами;
- электронными картами, частично не соответствующими стандарту S-57 (упрощенные ЭК).

Использование *векторных электронных карт* в ЭКНИС позволяет повысить навигационную безопасность за счет наглядного представления процесса судовождения в районе плавания, представления информации от различных средств навигации, включая наложение радиолокационного отображения на ЭК, ускорения поиска и представления судоводителю сведений о картографических и навигационно-гидрографических объектах в районе плавания и об особенностях в нем судовождения. Одним из важных достоинств векторных ЭК является возможность избирательного вывода или выделения отдельных видов данных навигационного ограждения, маяков, затонувших судов, изобат и ряда других, а также возможность использовать кроме режима истинного движения режима относительного движения, когда судно находится в центре экрана, а карта “плывет” относительно него.

Среди преимуществ использования векторных ЭК перед бумажными следует выделить возможности:

- отображать любую карту в удобном для пользования масштабе;
- вырезать и увеличивать на весь экран любой фрагмент карты;
- просматривать все районы текущей и любой другой карты;
- использовать ориентации карты “по меридиану” и “по курсу”;
- получать информацию по любому навигационному средству, отображенному на карте;
- отключать или отображать любые группы объектов;
- использовать необходимый набор инструментов для планирования рейса и предварительной прокладки;
- предусматривать необходимый контроль безопасности при движении судна и при предварительной прокладке путем автоматического отображения координат, курса, скорости, установок безопасности и времени;
- получать сигналы аварийно-предупредительной сигнализации и предупреждений;
- автоматически получать при движении судна текущие значения пеленга и дистанции на любую выбранную точку;
- использовать режимы истинного и относительного движений;
- использовать базы данных ЭКНИС для получения навигационной и гидрометеорологической информации;
- снимать графические копии с экрана монитора и распечатку маршрута;
- при подсоединении ЭКНИС к РЛС/САРП:
 - выявлять векторы скорости целей;
 - выявлять пути целей;

записывать в память пути целей;
 проигрывать выбранный маневр;
 корректировать координаты судна, используя привязку, взятую с РЛС/САРП;

- при подсоединении АИС интерпретировать получаемые данные.

Способ создания *растровых электронных навигационных карт (РЭНК)* более быстрый и легкий, чем создание баз цифровых данных для векторных карт.

Британское Гидрографическое управление стало первой в мире официальной государственной организацией, которая с 1993 г. стала создавать РЭНК и снабжать ими суда, а с весны 1994 г. оно ввело в свой состав новую службу ARCS (Admiralty Raster Chart Service) — Службу адмиралтейских растровых карт. Вопросы использования растровых ЭК были заслушаны в 1995 г. в Комитете по безопасности мореплавания ИМО. Более раннее применение РЭНК в практике судовождения сдерживалось трудностью их корректуры. Процесс развития ЭВМ и растровых технологий позволил преодолеть эти трудности и разработать методы корректуры таких карт. За период 1994—1995 гг. были созданы растровые ЭК, покрывающие большинство судоходных путей и портов.

На растровой ЭК в ЭКНИС производится большинство из операций, выполняемых на ЭНК, но не все. Принципиально невозможно на этих картах автоматически выполнять ряд следующих операций: подъем карты, нанесение безопасной изобаты, селекцию объектов для отображений, вызов дополнительных характеристик объектов и производство анализа картографической и навигационно-гидрографической обстановки по пути следования для контроля безопасности плавания. Ввиду этого, системы с РЭНК не полностью удовлетворяют требованиям СОЛАС-74/95. За исключением корректуры, картографические операции на РЭНК не производятся. Поэтому системы с растровыми ЭНК рассматриваются ИМО как промежуточные, способные восполнить потребность судоводителей в ЭНК до тех пор, пока работы по созданию ЭНК и снабжение ими судов не будут полностью завершены.

Использование *электронных карт, частично не соответствующих стандарту S-57 (упрощенные ЭК)* продиктовано необходимостью покрытия векторными картами всего Мирового океана, их относительной дешевизной и заинтересованностью производи-

телей ЭКНИС. Такие ЭК могут использоваться в упрощенных модификациях ЭКНИС (ЭКС), не обладающих широкими возможностями средств хранения и отображения информации. Схематическое изображение на экране дисплея местности в определенной проекции, не эквивалентное бумажной навигационной карте и не удовлетворяющее требованиям безопасности мореплавания, обычно называется *упрощенной (стилизованной) электронной картой*.

Упрощенные ЭК получаются самыми разными способами. Для ввода с бумажных карт в память ЭВМ данных для стилизованных карт в ряде автоматизированных систем используются специальные кодирующие планшеты (chart digitizer). Некоторые ЭКНИС имеют дигитайзеры и позволяют судоводителям создавать свои собственные карты (карты пользователя). Для облегчения создания этих карт ЭКНИС имеет функции внесения условных знаков определенных типов картографических объектов (КО): глубин, маяков, буев, опасностей и т. д., а также инструменты для редактирования таких карт — удаление объектов, замена характеристик, замена объектов, копирование с карты на карту, редактирование надписей, линий и т. д.

25.4 Структура данных в ЭКНИС и используемая информация

В ЭКНИС должны использоваться только официальные картографические данные, в том числе и корректурные, последнего издания, подготовленные государственными гидрографическими службами. Такие данные готовятся по стандартам МГО и система предусматривает невозможность изменения этих данных на судне. Корректурные данные и данные СЭНК хранятся в системе отдельно друг от друга. Для ЭКНИС определены следующие уровни используемой в ней информации и содержание этих уровней (информационная нагрузка дисплея ЭКНИС).

1. *Картографические данные базового отображения* — объем данных СЭНК, который ни при каких обстоятельствах не может быть уменьшен в исполнительной прокладке. Этот объем данных отображается на экране ЭКНИС постоянно в любых районах плавания, но не рассматривается как достаточный для обеспечения навигационной безопасности плавания.

Картографические данные базового отображения включают: береговую черту (для полной воды); безопасную изобату для собственного судна, выбранную судоводителем; отдельные подводные

опасности с глубинами, меньшими безопасной, в пределах района, ограниченного безопасной изобатой; отдельные опасности, которые лежат внутри района, ограниченного безопасной изобатой, такие как мосты, линии электропередач, включая буи и знаки, которые используются или не используются как средства навигации; системы разделения движения судов; числовой и линейный масштабы отображаемой карты, вид ориентации карты и режим дисплея; единицы глубин и высот.

2. *Картографические данные стандартного отображения* — информация СЭНК, отображаемая при первом вызове карты на экран, регламентированная резолюцией ИМО А.817(19). По желанию оператора (судоводителя) объем информации, используемый для выполнения предварительной и исполнительной прокладок, может быть изменен (увеличен или уменьшен) по сравнению со стандартной нагрузкой. О таком изменении ЭКНИС выдает сообщение (сигнал).

Картографические данные стандартного отображения состоят из следующей информации: базовой нагрузки; линии осушки; неподвижных и плавучих средств навигационного ограждения; границ фарватеров, каналов и т. д.; визуальных и радиолокационных ориентиров; запретных и ограниченных для плавания районов; границ масштаба карты; предупреждений, помещенных на карте.

3. *Полная (дополнительная) информация* — вся возможная информация СЭНК, вызываемая по требованию оператора, и включающая: отметки глубин; подводные кабели и трубопроводы; паромные маршруты; сведения о всех отдельных опасностях; сведения о средствах навигационного ограждения; содержание предупреждений; дату издания ЭНК; систему координат; магнитное склонение; картографическую сетку; географические названия.

При первом, после включения системы, отображении карты ЭКНИС должна обеспечивать стандартное отображение в самом крупном масштабе из всех СЭНК, имеющихся для отображаемого района.

Дополнение или удаление информации на дисплее ЭКНИС должно выполняться не более чем тремя однократными действиями оператора. Возможность удаления информации базового отображения должна быть исключена.

Глава 26

ФУНКЦИИ ЭЛЕКТРОННЫХ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ СИСТЕМ

26.1 Отображение электронной карты на экране дисплея ЭКНИС

Электронные карты могут отображаться как в масштабе, которому соответствуют ее данные в КБД, так и в других масштабах.

Масштаб карты — компиляционный масштаб ЭНК, т. е. масштаб, зашифрованный в ЭНК и установленный организацией-производителем (Гидрографической службой, выпустившей карту), при котором картографическая информация отвечает требованиям МГО в точности оригинала карты.

По масштабам электронные карты делятся на следующие категории:

- World (карты мира) — 1:2 500 001 и мельче;
- General (генеральные карты) — 1:300 001–1:2 500 000;
- Coastal (прибрежные карты) — 1:80 001–1:300 000;
- Approach (подходы) 1- :40 001–1:80 000;
- Harbor (гавани) — 1:10 001–1:40 000;
- Plan (планы) — 1:10 000 и крупнее.

Масштаб изображения — соотношение между расстоянием на экране ЭКНИС и истинным расстоянием, нормализованным и выраженным в условном виде.

Отображение на экране дисплея района в более крупном масштабе чем тот, в котором он записан в базе данных, называется *перемасштабированием*; соответственно изображение в более мелком масштабе — *недомасштабированием*. При изменении масштабов размеры отображаемых символов, цифр и букв должны оставаться постоянными. Наибольший (наименьший) масштаб ЭНК — это значение самого крупного (мелкого) масштаба, в котором в системе может представляться определенная карта. Следует, однако, иметь в виду, что перемасштабирование электронной карты означает лишь большее увеличение имеющегося изображения, но не сопровождается вводом большей детальности отображаемого участка, что потенциально опасно для судоходства. Поэтому на экране должны указываться нижний и верхний пределы масштаба данной электронной карты, а в случае нарушения этих пределов судоводителем должно загораться соответствующее предупреждение (“неприемлемый масштаб карты”). В этом случае, пользуясь электронным каталогом, следует найти другую электронную карту данного района с нужным масштабом.

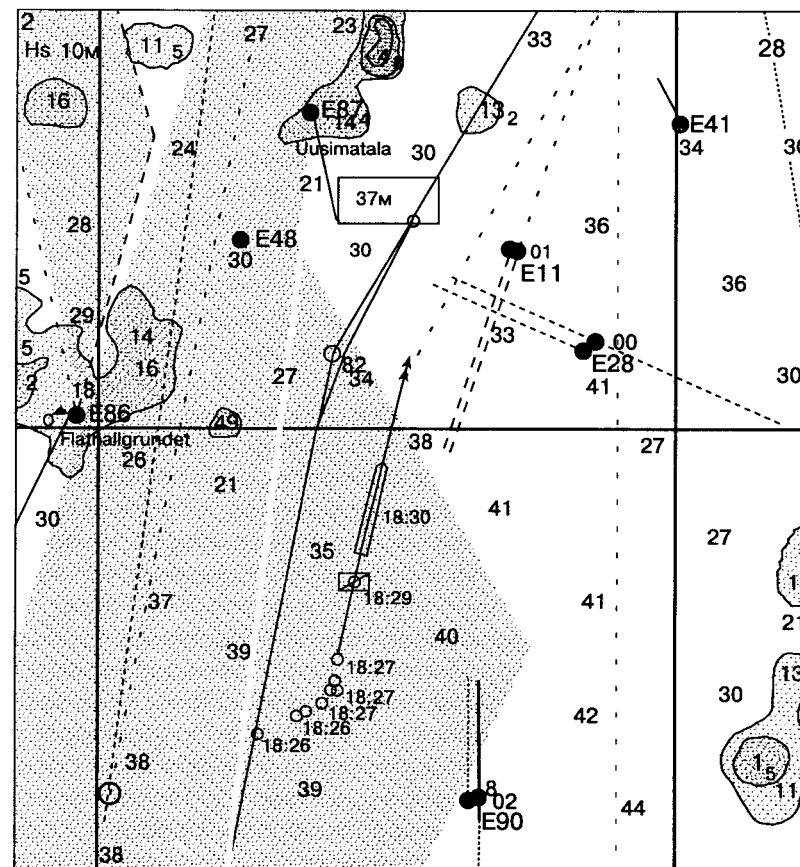


Рис. 26.1. Информация на экране дисплея ЭКНИС

Помимо представления основной картографической и навигационно-гидрографической информации на экране дисплея, для обеспечения безопасности судоходства в ЭКНИС предусмотрена возможность отображения и других данных: картографической сетки; маркера с географическими координатами, дающего возможность выполнять различные функции; условного знака собственного судна и траектории его движения; операционной информации, вводимой с пульта оператора; планируемого и запасного маршрута; данных подъема карты (безопасной изобаты собственного судна и др.); условных знаков сопровождаемых САРП судов и векторов их скорости и ряда других данных (рис. 26.1).

Допускается наложение на дисплей ЭКНИС радиолокационной или другой навигационной информации, однако она не должна ухудшать информационное содержание СЭНК и должна быть четко отличима от нее. Радиолокационное изображение и картографическая информация должны совпадать по масштабу, ориентации и проекции.

Безопасная изобата собственного судна — это изобата, соответствующая наименьшей безопасной, по мнению капитана, глубине для его судна при данной осадке. Значение этой глубины вводится в память системы судоводителем и служит для отличия на дисплее опасных вод от безопасных и для выработки сигнала об опасности посадки на мель.

Знак собственного судна в некоторых системах может выбираться в виде выраженного в масштабе карты его контура либо символа. Отображение судна в виде контура в соответствии с максимальной длиной и шириной корпуса производится при использовании карты крупного масштаба для оценки на дисплее свободного пространства при плавании в узкостях и по фарватерам и расстояния до опасности.

СЭНК допускает возможность ориентации изображения карты по “меридиану”, “по курсу” или “по направлению” в режимах относительного или истинного движений. При использовании режима истинного движения (символ собственного судна перемещается по неподвижной карте) смена отображаемого участка карты должна производиться автоматически (а при необходимости — вручную) при приближении символа судна на установленное оператором предельное расстояние от границ экрана дисплея.

Картографические данные должны четко различаться и не должны затеняться другой отображаемой информацией.

26.2 Предварительная и исполнительная прокладки

Пользуясь электронным каталогом, судоводитель имеет возможность подобрать на предстоящий переход электронные карты всех необходимых масштабов, проверить полноту подбора карт с точки зрения как удобства электронной прокладки, так и достаточной детальности изображения. На один и тот же участок перехода может быть подобрано несколько электронных карт — из разных масштабных слоев (генеральные, прибрежные, подходные, планы).

При планировании пути ЭКНИС обеспечивает:

- возможность планирования маршрута, включающего как прямые, так и криволинейные участки;
- отображение списка маршрутов и выбор любого из них;
- отображение списков транзитных и подходных к портам (отходных от портов) участков маршрута по районам;
- цифровой ввод и корректировку: координат поворотных точек, скорости на отрезках маршрута, времени прибытия в поворотные точки, а также расчет по опорным значениям всех интересующих судоводителя элементов маршрута;
- отображение выбранного маршрута на ЭК для зрительной оценки с предоставлением возможности графического редактирования положения поворотных точек с помощью маркера;
- контроль безопасности маршрута при планировании пути на ЭК, используя следующие предупреждения: область опасных глубин; пересечение опасной изобаты; запретный для плавания район; район ограниченного плавания; район с особыми условиями плавания и др.;
- представление списка карт на переход;
- печать опорных и расчетных данных выбранного маршрута;
- занесение новых маршрутов в базу данных с предоставлением возможности коррекции ошибок ввода;
- подключение программ имитации маневров для включения в маршрут участков изменения режима хода и поворотов с одного отрезка маршрута на другой;
- свободный выбор любой точки на линии выбранного пути для расчета пеленга и дистанции на интересующую точку или для расчета дистанции и времени следования до любой следующей точки на линии пути и др.

При ведении исполнительной прокладки ЭКНИС имеет возможность обеспечивать:

- ввод географических координат любой точки и ее отображение на экране;
- выбор на экране дисплея любого объекта, символа или точки и отображение ее географических координат;
- отображение на дисплее районов, не охватывающих местоположение судна. При реализации указанной функции на дисплее, используемом для осуществления исполнительной прокладки, эти действия не должны прерывать функций автоматического контроля плавания по маршруту (процесса контроля за текущими координатами судна, подачу тревожных и предупредитель-

ных сигналов). Возврат к отображению района, в котором находится судно, должен осуществляться однократным действием оператора.

Кроме того, при прокладке ЭКНИС выполняет следующие функции:

- отображает отметку судна, планируемый и запасной маршруты, пройденный путь с отметками времени, интервал между которыми может устанавливаться вручную и автоматически от 1 до 120 мин, вектор путевой скорости, маркер, особые отметки, наносимые судоводителем при ведении прокладки (счислимое место и время, обсервованное место и время) и другие данные;
- обеспечивает возможность изменения местоположения судна на карте вручную с фиксацией в журнале;
- рассчитывает истинные дистанцию и пеленг для двух любых точек; определяет географические координаты любой точки экрана, дистанцию и пеленг от собственного места на эту точку; вычисляет длину локсодромии, ортодромии, определяет место судна по данным ГНСС и РНС;
- принимает вторичную информацию от САРП и совмещает, по возможности, РЛ-изображение с ЭК.

Электронные картографические навигационно-информационные системы позволяют решать многие задачи, связанные с обеспечением безопасного плавания судна.

Некартографические базы данных. В ЭКНИС возможно включение различных некартографических баз данных, наличие которых существенно экономит время судоводителей на поиск необходимых сведений в руководствах и пособиях для плавания. Среди них можно назвать следующие базы данных:

- огни и знаки;
- порты захода, по каждому из которых возможно более 50 полей записи;
- приливо-отливные течения;
- эфемериды Солнца и Луны;
- сезонные поверхностные течения;
- климатические явления и др.

Наличие вышеперечисленных баз данных в ЭКНИС позволяет не только визуально отобразить информацию на экране дисплея, но и использовать данные в оперативных расчетах по запрограммированным алгоритмам.

Реализация функции САРП. Средство автоматической радиолокационной прокладки, реализованное в ЭКНИС, обрабатывает информацию с разрешением не хуже, а зачастую и лучше, чем стационарное САРП. Погрешности определения параметров целей определяются погрешностями датчиков информации: радиолокационной станции, гироскопа и лага. В свою очередь на экране индикатора РЛС могут быть отображены выбранные объекты системной электронной навигационной карты. При этом отображаемая информация СЭНК должна включать следующие объекты: береговую линию, безопасную изобату собственного судна, навигационные опасности, береговые и плавучие средства навигационного ограждения.

Проигрывание маневра. Основным достоинством проигрывания маневра является то, что реализация такого проигрывания происходит в режиме истинного движения, а это значительно более информативно на фоне электронной карты.

Использование данных приемника НАВТЕКС. Специальное программное обеспечение автоматически считывает поступающие из Международной автоматизированной службы навигационных и метеорологических предупреждений сообщения, обрабатывает их, выделяет координаты, регион, передающую станцию, тему и некоторые другие параметры, сохраняет сообщение на диске и отображает отметку сообщения на электронной карте немедленно по получению. Отметка непрочитанного сообщения отображается более ярким цветом до тех пор, пока оно не будет прочитано.

26.3 Сигнализация и индикация в электронных картографических системах

В ЭКНИС предусмотрена сигнализация и предупредительная индикация, где под *сигнализацией* понимается сообщение акустическими или акустическими и визуальными средствами об условиях и ситуациях, требующих внимания оператора, а под *индикацией* — визуальное представление оператору определенной информации о функционировании системы или оборудования.

Согласно требованиям ИМО в ЭКНИС имеется:

- сигнализация о выходе за границы фарватера, пересечении безопасной изобаты, превышении заданного отклонения от маршрута, приближении к критической точке (например, к точке поворота), разных геодезических основах систем определения места и карты;

- сигнализация или индикация о перемасштабировании, прохождении пути через районы с особыми условиями плавания, неправильном функционировании системы;
- индикация о том, что есть карта более крупного масштаба, что информация ЭК и добавочная (например, от РЛС) в разных координатных системах, о планировании маршрута через безопасную изобату, о планировании маршрута через особый район плавания, о выходе из строя системы определения места, об ошибках при тестировании системы.

Районами с особыми условиями плавания считаются: зона разделения движения; зона разделения движения с пересекающимися и обходными полосами; район, предупреждающий зону разделения движения; двусторонний путь; глубоководный маршрут; рекомендованная полоса движения; зона прибрежного плавания; фарватер; канал; районы ограниченного плавания, с действующими предупреждениями, морских нефтяных промыслов, военных учений, гидроаэродромов, прохождения подводных лодок, рыболовства, в которых рыболовство временно запрещено, подводных трубопроводов, подводных кабелей, в которых якорная стоянка запрещена, захоронения отходов, дноуглубления, рейдовой перегрузки судов, сжигания отходов; специально охраняемые районы; ледовый район.

26.4 Корректурa электронных навигационных карт

Для поддержания ЭНК на уровне современности предусмотрены операции по их обновлению (корректуре). Основными документами, определяющими корректуру электронных карт в ЭКНИС, являются Стандарт ИНО S-57 – “Стандарт передачи ИНО цифровых гидрографических данных” и издание ИНО S-52 “Стандарт содержания карт и отображения в ECDIS”. Обобщенные результаты нашли отражение в Резолюции ИМО A.817(19) “Стандарты исполнения ECDIS”.

Согласно Стандарту ИНО S-57 вся информация о навигационной обстановке хранится в векторной форме. Векторное представление дает существенную экономию объема памяти, требуемого для хранения карты. При этом необходимо минимальное время для перестроения карты на экране.

Структура системы корректуры ЭНК соответствует следующим принципам:

- обновлению подвергается СЭНК, исходная КБД сохраняется в неизменном виде;
- корректуры стандартизованы по структуре, системе классификации и кодирования; формат передачи данных соответствует формату DX-90;
- обновление СЭНК включает использование не только постоянных, временных и предварительных Извещений мореплавателям, но также относящихся к карте навигационных предупреждений NAVAREA и NAVTEX;
- вносимая корректура не ухудшает СЭНК. Сведения о внесенной корректуре хранятся в памяти системы и отображаются по запросу оператора;
- ответственность национальных гидрографических организаций за корректуру эквивалентна ответственности, которую они несут по корректуре бумажных навигационных карт.

В Стандарте S-52 вопросам корректуры посвящено приложение 1 – “Руководство по корректуре электронных навигационных карт”. Там изложены требования к корректуре и сервису распространения корректурной информации:

а) официальные корректуры МГО должны отличаться от местных, выпущенных портовыми властями;

б) ЭКНИС минимальной способности должна отражать различные методы корректуры.

Руководство определяет следующие категории сервиса:

1) сервис по расписанию – передача корректуры в определенные интервалы времени, заранее известные отправителю и получателю;

2) сервис по требованию – передача корректуры по запросу пользователя;

3) чрезвычайный сервис – любая передача корректуры, не использующая регулярное расписание и содержащая срочную информацию, касающуюся электронной навигационной карты.

Стандарт S-52(5) предполагает выполнение и распространение корректуры в строго структурированной системе с использованием элементов проверки надежности и достоверности исходной информации, процедур контроля составления, пересылки и получения корректурной информации (рис. 26.2).

Все методы корректуры ЭК подразделяются на три группы: ручную, полную автоматическую и полуавтоматическую.

Ручная корректура основана на неформатированной информации корректуры (ИМ, передача голосом по радио и т. д.) и предпо-

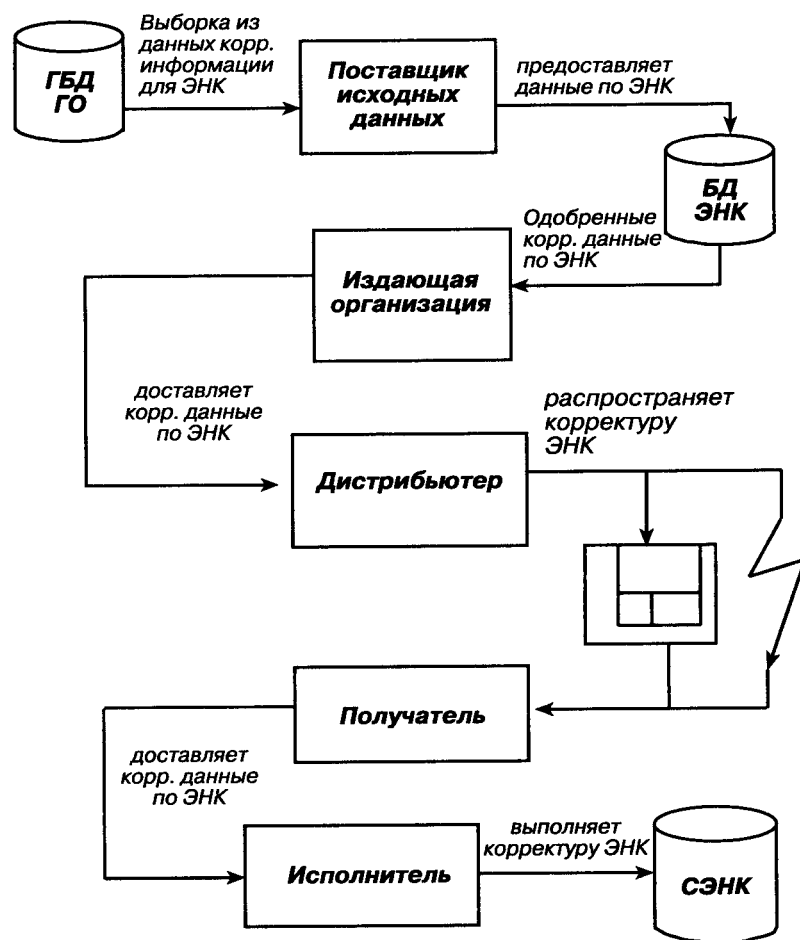


Рис. 26.2. Структурная схема прохождения корректурной информации:

ГБД ГО — главная база данных гидрографической организации; БД ЭНК — база данных электронных навигационных карт

лагает ввод корректурных данных оператором с пульта с использованием специальных программных средств, облегчающих выполнение этой задачи. Корректурная информация вводится в структурированной форме, соответствующей стандарту ЭКНИС, в котором определен формат ввода и операции корректур. Набор таких операций может включать в себя перечень картографических объектов (КО), редактирование характеристик КО, удаление КО либо

его характеристики, включение КО либо его характеристики; переименование объектов.

Создаваемые судоводителем корректурные файлы нумеруются и хранятся в определенной последовательности. Обычно информация последующих файлов включает информацию предыдущих. Это позволяет периодически уничтожать предыдущие файлы.

Ручная корректура должна рассматриваться только как временная мера и должна быть заменена при первой возможности на корректуру ЭНК издающей организацией.

Автоматическая корректура считается наиболее целесообразным режимом внесения официальных корректур в ЭК. Она предполагает доставку данных корректуры в ЭКНИС напрямую от дистрибьютера, без какого-либо вмешательства человека. Это может быть достигнуто через передачу по радио, Интернет и т. д. Следуя процедурам подтверждения или приема ЭКНИС автоматически производит корректуру СЭНК. Судоводитель при этом не предпринимает никаких действий, а только отслеживает дату последней корректуры карт судовой коллекции, убеждаясь в том, что корректура прошла и карты откорректировались. В качестве стандартного формата автоматической корректуры электронных карт МГО предложен формат MACDIF.

В некоторых странах мира (США, Германия, Япония) разработаны и прошли испытания радиосистемы автоматической корректуры судовых СЭНК. Эта радиосистема обеспечивает прямую передачу корректурной информации в судовые базы данных от официальных гидрографических служб. Текущая корректурная информация, а также все прошлые корректуры могут быть получены от этой системы в любое время суток и в любой точке Земли.

При *полуавтоматической корректуре* корректурная информация может передаваться двумя способами: путем доставки на носителях в портах, по почте; либо на судно путем записи передаваемой по линиям телекоммуникационной связи корректурной информации на носитель. Информация на носителе должна быть записана в формате, который соответствует цифровой организации данных в КБД.

При полуавтоматической корректуре действия оператора ограничиваются установкой носителя корректурной информации (дискеты, оптического диска) в считывающее устройство.

При вводе корректур применяются методы защиты и контроля целостности получаемой информации — получаемая корректурная информация регистрируется, а оператору выдается сообщение о принятых и пропущенных номерах извещений.

Как правило, информацию о корректуре можно получить используя сеть Интернет и имея доступ к корректурным файлам карт судовой коллекции. Это осуществляется посредством заключения договора между фирмой-производителем корректуры и судовладельцем.

Откорректировать карты можно также, заказав через агента или представителя компании в порту диск CD с обновленной коллекцией карт или дискету с набором корректурных файлов на судовую коллекцию электронных карт. Наложение информации с дискеты на электронные карты производит их обновление. Карты с диска CD полностью заменяют коллекцию карт на откорректированные. Периодичность издания новых дисков CD обычно составляет три месяца.

Некоторые фирмы предлагают сервис корректуры, используя каналы телефонной связи. Для этого судоводитель в порту должен дозвониться до фирмы-производителя корректуры и получить кодированную информацию по корректуре для своей судовой коллекции по каналу телефонной связи.

Координация действий по распространению ЭНК и корректурной информации осуществляется специальным комитетом МГО по мировой базе данных электронных навигационных карт (WEND).

26.5 Некоторые рекомендации по практическому использованию ЭКНИС

ЭКНИС и вся сопряженная с ней навигационная аппаратура, в том числе и приемоиндикатор (ПИ) глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС), должны быть приведены в рабочее состояние как минимум за час до отхода судна. На дисплей должна быть вызвана крупномасштабная карта стоянки. По результатам многократных определений координат места судна уточняется привязка к ним символа судна на экране дисплея. Для этого:

- с интервалом 20–30 с принимается десять–двадцать отсчетов координат по ПИ ГНСС;
- вычисляются средние значения широты и долготы;
- на дисплей с помощью маркера наносятся координаты места судна и проверяется их совпадение с символом судна на дисплее.

Наиболее вероятной причиной несовпадения может быть расхождение в координатных системах электронной карты и ГНСС. Как правило, указанное расхождение легко устраняется приведением ЭК и ГНСС к одной координатной системе.

Окончательный контроль положения символа судна на ЭК производится с использованием альтернативных методов определения места судна — визуальных или радиолокационных. Если ЭКНИС имеет режим работы с наложением на ЭК радиолокационного изображения, полученного от судовой РЛС, то этот вариант более предпочтителен.

Для контроля за правильностью работы системы и датчиков навигационной информации необходимо не реже одного-двух раз в час выполнять обсервации с помощью альтернативных средств навигационного оборудования судна. Кроме того, в ЭКНИС предусмотрен контроль основных функций системы и проверка правильности данных, поступающих от внешних датчиков, с помощью специальных встроенных средств.

При надежной работе системы и высокоточных датчиках навигационной информации ЭКНИС становится важнейшим техническим средством навигации не только в прибрежном плавании, но и в стесненных водах, так как обеспечивает мгновенный контроль за местоположением и движением судна, прогнозирование развития навигационной ситуации, оперативное планирование и контроль маневров, безошибочность опознания наблюдаемых навигационных и радиолокационных ориентиров.

Помимо имеющихся несомненных преимуществ перед бумажными картами ЭКНИС имеют и недостатки: они отражают примерно 1/6 часть бумажной карты, что требует их более частой смены; работа с ЭКНИС сопровождается повышенной утомляемостью оператора; для работы с автоматизированными системами необходима специальная подготовка судоводительского состава; кратковременная неисправность или отказ ЭКНИС могут привести к полной потере контроля за обстановкой и, как следствие, к навигационной аварии.

Судоводители должны также четко представлять опасность использования электронных карт, на которые не получены гарантии на официальном уровне.

Кроме всего прочего, потребуется определенное время на переход от традиционной технологии работы с бумажными картами и пособиями к новой — информационной, под которой понимаются не только сами процедуры, но и весь процесс управления судном — от анализа обстановки и выработки решения до непосредственно-

го исполнения команд механизмами и приборами. При этом, естественно, судоводитель, выступающий в роли оператора ЭКНИС, должен знать инструкцию по ее эксплуатации, прекрасно ориентироваться во всех функциональных возможностях системы и иметь соответствующее свидетельство на допуск к эксплуатации аппаратуры такого класса (типа) после одобренной тренажерной подготовки.

Глава 27

МЕЖДУНАРОДНЫЕ И НАЦИОНАЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЭКНИС

Новая редакция Главы V Конвенции СОЛАС-74/95 (Правило 19) предписывает иметь на каждом судне навигационные карты и навигационные пособия для планирования и отображения маршрута судна на протяжении предполагаемого рейса и осуществления исполнительной прокладки; при этом отмечено, что электронная картографическая навигационно-информационная система может быть использована для выполнения этого требования. В то же время использование ЭКНИС имеет ряд ограничений, в частности:

- должно быть обеспечено соответствующее дублирование ЭКНИС, для чего могут быть использованы либо откорректированный комплект бумажных карт, либо еще одна (дублирующая) система ЭКНИС, которая должна иметь сопряжение с основной системой для обеспечения сохранности данных, прокладок и корректировок, выполненных в основной системе;
- в системе должны использоваться электронные картографические данные, выпущенные уполномоченной государством картографической службой и соответствующие стандартам (S-57 издание 3) Международной гидрографической организации; причем данные должны быть либо последним их изданием, либо изданием, в которое внесены все выпущенные этой службой корректуры.

В соответствии с Правилами по оборудованию морских судов (глава 5.16) Российского Морского Регистра Судоходства для обеспечения безопасности плавания при использовании ЭКНИС в составе навигационного оборудования судна должны быть предусмотрены дублирующие средства. В качестве дублирующих средств может использоваться комплект откорректированных бумажных навигационных карт на запланированный рейс или резервная электрон-

ная картографическая навигационная система (РЭКНС). Переключение с основной системы на РЭКНС должно осуществляться автоматически без потери навигационной информации.

Резервная электронная картографическая навигационная система, так же как и основная ЭКНИС, должна отвечать следующим требованиям:

- возможность изменять содержание ЭНК должна быть исключена;
- обеспечивать соответствующую индикацию, если:
 - информация отображается в более крупном масштабе, чем масштаб в ЭНК;
 - для местоположения судна имеется карта более крупного масштаба, чем та, которая отображена на дисплее;
- обеспечивать возможность ориентации изображения карты “по меридиану” и работу в режиме истинного движения. Допускаются другие ориентации изображения и режимы работы;
- при использовании режима истинного движения переход на отображение соседнего района и формирование его изображения должны выполняться автоматически при подходе отметки судна к заданному оператором расстоянию от границ экрана дисплея;
- обеспечивать возможность ручного изменения границ отображаемого района, охватываемого картой, и местоположения собственного судна по отношению к границам экрана;
- для отображения информации СЭНК должны использоваться цвета и размеры символов, цифр и букв, рекомендуемые МГО;
- для обозначения навигационных элементов и параметров должны использоваться цвета и символы, отличные от картографических символов;
- обеспечивать отображение информации, необходимой для:
 - выполнения предварительной прокладки и решения дополнительных навигационных задач;
 - ведения исполнительной прокладки;
- эффективный размер отображаемой на экране карты, по которой ведется контроль плавания по маршруту, должен быть не менее чем 270×270 мм;
- цветность экрана и его разрешающая способность должны соответствовать требованиям МГО;
- информация, отображаемая на экране индикатора, должна быть отчетливо видна не менее чем двум операторам в условиях естественной освещенности на мостике в дневное время;
- выполнение предварительной и исполнительной прокладки должно осуществляться простым и надежным способом, при

этом конструкция РЭКНС должна обеспечивать удобство выполнения оператором необходимых действий;

- при подаче тревожных и предупредительных сигналов в случае пересечения судном безопасной изобаты или границы района, запретного для плавания, а также районов с особыми условиями плавания, используемая картографическая информация должна быть наиболее крупного масштаба из всех имеющихся в СЭНК для данного района;
- обеспечивать индикацию в случае отказа системы местоопределения;
- обеспечивать дублирование тревожных и предупредительных сигналов, поступающих от системы местоопределения;
- подавать сигнал тревоги, если через промежуток времени или расстояние, установленное оператором, судно достигнет предварительно заданной критической точки;
- СЭНК и используемая система местоопределения должны работать в одной и той же системе координат, в противном случае должен подаваться сигнал тревоги;
- точность всех расчетов, выполняемых системой, не должна зависеть от характеристик внешних устройств и должна соответствовать точности СЭНК;
- точность пеленгов и расстояний, измеренных между элементами используемой карты и отображаемых на дисплее, должна быть не хуже той, которую позволяет иметь разрешающая способность индикатора;
- система не должна ухудшать характеристик используемых датчиков внешней информации; подключенное к системе оборудование не должно ухудшать ее характеристик;
- должна быть предусмотрена возможность подключения к системе оборудования, обеспечивающего непрерывное получение обсервованных координат судна;
- должна быть обеспечена сигнализация тревоги и индикации неисправности системы;
- переключение РЭКНС на другой источник питания или перерыв в его подаче продолжительностью не более 45 с не должны вызывать необходимость повторного ручного ввода системы в действие, при этом продолжение работы РЭКНС в период временного отсутствия питания не требуется;
- картографическая информация, используемая в РЭКНС, должна быть последним изданием, подготовленным уполномоченной гидрографической службой. Список имеющихся в РЭКНС карт должен представляться по запросу оператора;

- объем информации, отображаемой РЭКНС, должен соответствовать по крайней мере объему картографических данных стандартного отображения;
- должна быть предусмотрена возможность выполнения предварительной и исполнительной прокладок с обеспечением:
 - переноса предварительной прокладки, первоначально выполненной на основной системе;
 - внесения корректировок в запланированный маршрут;
 - автоматического или ручного нанесения на экран местоположения собственного судна;
 - отображения значений курсов, пеленгов, расстояний;
 - отображения линий запланированного и пройденного маршрутов;
 - нанесения отметок времени, путевых точек, линий пеленгов и расстояний;
 - установки значений безопасной изобаты и безопасной глубины;
- допускается использовать в качестве элемента дублирования наложение на определенные части ЭНК радиолокационного изображения, при этом радиолокационная станция должна отвечать Правилам по оборудованию морских судов классификационного общества;
- должна быть обеспечена возможность регистрации координат, времени, курса и скорости собственного судна с интервалом в 1 мин в течение не менее чем 4 ч.

ЭКНИС должна сохранять и иметь возможность воспроизведения информации — электронный журнал, достаточный для восстановления действий оператора и проверки официальных баз данных за период предыдущих 12 ч, в течение которых следующие данные должны фиксироваться с интервалом в 1 мин:

- координаты, время, курс и скорость собственного судна;
- ЭНК, на которых выполнялась прокладка, наименование выпустившей организации, дата их издания, отображающиеся на экране дисплея фрагменты карты, история корректуры.

В течение всего рейса ЭКНИС должна фиксировать координаты судна с относящимися к ним отметками времени с интервалом, не превышающим 4 ч.

Возможность внесения изменений в записанную информацию должна быть исключена.

В ЭКНИС должна быть предусмотрена защита данных, записанных за предыдущие 12 ч и за весь рейс.

МЕТОДЫ НАВИГАЦИИ В ОСОБЫХ УСЛОВИЯХ ПЛАВАНИЯ

Глава 28

ПЛАВАНИЕ В СТЕСНЕННЫХ ВОДАХ

28.1 Характеристика стесненных вод

Стесненными водами или узкостями называются районы, ограниченные в навигационном отношении различными опасностями (рифами, мелями, банками, камнями и т. п.), лежащими в непосредственной близости от фарватеров и рекомендованных курсов.

К узкостям относятся проливы, шхеры, фиорды, каналы, входы в порт, рейды, гавани, устья рек, районы с минными заграждениями и т. п.

Выбор маневра и плавание судна в узкостях очень затруднено и, как правило, осуществляется по единственно безопасным, весьма стесненным путям. Эти пути обычно хорошо изучены и оборудованы береговыми и плавучими средствами навигационного оборудования.

Каждый выход судна в море в большей или меньшей степени сопряжен с плаванием в узкостях, и поэтому каждый судоводитель для обеспечения безопасности плавания должен быть к этому тщательно подготовлен.

При плавании в узкостях судоводитель ограничен во времени для постоянного контроля за движением судна. Ввиду этого вся подготовка для предстоящего перехода в данном районе должна быть осуществлена заранее.

Навигационные условия в узкостях характеризуются следующими особенностями: наличием большого количества подводных

и надводных навигационных опасностей, ограничивающих плавание; извилистостью участков плавания; резкими изменениями глубин; переменными течениями и дрейфом судна.

Перечисленные навигационные особенности требуют от судоводителя в узкостях повышенной точности при ведении навигационной прокладки, а при обсервациях — использования наиточнейших способов быстрой обработки, графического построения и анализа места судна.

В настоящее время этим требованиям в наибольшей степени удовлетворяет автоматизированное судовождение, основанное на использовании специальной вычислительной техники и управляющих систем.

28.2 Подготовка к плаванию в узкостях

Важнейшим условием безопасного плавания судна в узкостях является тщательная подготовка к нему всего штурманского состава.

Изучение районов узкостей производят по лощиям, наставлениям для плавания, картам и атласам течений, а при плавании на подходах к порту и в портах — по специальным наставлениям (правилам порта).

Данные о *фарватерах и рекомендованных курсах* с соответствующими на них глубинами и колебаниями уровня воды при приливах и отливах нужно сопоставлять с действующей осадкой судна. С наибольшей точностью рассчитывается время полной воды, если проход узкости лимитирован глубинами.

При несовпадении времени прохода узкости с малыми глубинами с временем наступления полной воды заранее выбирают места якорной стоянки для ожидания полной воды.

Если проход узкости возможен при любом уровне воды, то лучше проходить данный район или участок в малую воду, так как в этом случае при отливе хорошо видна часть обнаженных навигационных опасностей.

При изучении *средств навигационного оборудования*, обеспечивающих безопасное плавание в узкостях, необходимо обратить особое внимание на их окраску, топовые фигуры, сектор освещения, период и цвет огней и различные признаки знаков ограждения, мимо которых будет проходить судно; подобрать створы — ведущие и секущие (для определения точек поворота). Для определения места судна в первую очередь необходимо использовать штат-

ное береговое ограждение, во вторую — ориентиры береговой черты и в последнюю очередь — плавучее ограждение.

При проработке *гидрометеорологических условий района* плавания необходимо получить полную информацию о господствующих ветрах, течениях, осадках, возможных колебаниях уровня воды и образовании льда при низких температурах.

Особое внимание уделяется изучению течений в узкостях. Течение может быть направлено под различными углами к линии истинного курса судна. Встречное течение увеличивает время прохождения узкости и значительно улучшает управляемость судна, а попутное уменьшает время плавания и ухудшает управляемость.

Если течение действует под некоторым углом к курсу судна, то для корректирования курса необходимо точное знание элементов течения. Такое течение усложняет плавание в узкости и требует от судоводителя особого внимания.

На карте стрелками наносят направление предполагаемого течения с указанием его скорости.

Такое всестороннее изучение течения позволяет рассчитать путь судна на всем протяжении узкости, времени его прохода и использовать эти данные в исполнительной прокладке. При этом необходимо учитывать следующие обстоятельства:

- при плавании против течения необходимо быть уверенным в том, что скорость судна больше скорости течения, в противном случае плавание судна невозможно. При расчетах поворотов необходимо учитывать снос судна от течения и отклонение судна от оси фарватера или рекомендованного курса с учетом глубин;
- при плавании на попутном течении необходимо рассчитать действительную скорость судна. Если поворот с помощью руля при таком течении невозможен, то на карте в этом месте делается отметка о необходимых реверсах машинами или отдаче якоря;
- для течения, действующего под каким-либо углом к истинному курсу судна, рассчитывается угол сноса и об этом делается указание на карте.

Наличие ветра представляет для судна некоторую опасность как при подходе к узкости, так и в самой узкости. Суда с малой осадкой, большой парусностью и слабой машиной подвержены значительному сносу и поэтому при сильном ветре и волне проход узкости для них весьма затруднителен, а иногда и невозможен.

В таких случаях судно должно стать на якорь или, дрейфуя перед входом в узкость, ждать улучшения погоды. Иногда для улучшения мореходных качеств судна принимают в танки или трюмы

балласт, при этом не следует забывать о влиянии дифферента и крена на управляемость судна.

Волнение моря, возникающее от воздействия ветра в узкостях, заливах, портах, усложняет удержание судна на курсе и в заданном расстоянии от окружающих опасностей.

Готовясь ко входу в узкость, необходимо учесть все неблагоприятные условия гидрометеорологической обстановки. Если ухудшение гидрометеорологической обстановки происходит в момент плавания в узкости и есть опасение, что возможна авария, рекомендуется стать на якорь и ждать улучшения обстановки.

Одновременно с детальным изучением района узкости производится *подбор и подъем карт*.

На карте отмечают приметные береговые ориентиры, необходимые для визуальных обсерваций и обсерваций с помощью радиотехнических средств. Наносят дуги дальности видимости маяков для высоты глаза наблюдателя, выделяют опасные секторы видимости и освещения, которые штрихуются. Наносят на свободных местах карт данные об огнях и ориентирах, изменении приливо-отливных явлений и глубин. Наносят ограждающие изолинии (пеленги, расстояния, окружности, вмещающие горизонтальные углы), ограничивающие участки акваторий, заходить за которые судну опасно.

Ограждающие изолинии должны быть по возможности параллельны направлению движения судна.

На особо опасные участки плавания в узкостях рекомендуется заблаговременно нанести сетки изолиний, если нет специальных карт с нанесенными сетками.

В зависимости от предполагаемых способов определения места судна сетки могут быть:

- *гониометрические* — для определения места судна по горизонтальным углам;
- *азимутальные* — для определения места по пеленгам;
- *стадиометрические* — для определения места по измеренным расстояниям;
- *азимутально-стадиометрические* — для определения места судна комбинированными способами.

Если плавание будет осуществляться по створам, намечают естественные и искусственные створы с соответствующими указаниями их направлений и использования в процессе плавания.

Все эти данные, собранные заранее, дают судоводителю в любой момент четкую интересующую его информацию о производ-

стве обсерваций, счисления и управления судном при плавании в узкости.

На базе изученного и подобранного материала с особой тщательностью выполняется предварительная прокладка для данного стесненного района плавания. Намеченные направления линии пути должны соответствовать курсам, рекомендованным лоциями, или совпадать с курсами, которые указываются створами, расположенными в узкостях. Над линией пути или под ней пишутся значения ПУ.

Точки начала и конца поворотов необходимо наносить с учетом наличия течения, возможного дрейфа и маневренных элементов судна.

Необходимо установить скорость судна на различных участках, руководствуясь шириной, глубиной и извилистостью фарватера, а также местными правилами плавания, рассчитать продолжительность плавания на каждом курсе.

На берегу выбираются приметные ориентиры, на траверзе которых начинают и заканчивают повороты с учетом радиуса циркуляции судна.

Если узкость в местах поворота не позволяет описывать циркуляцию, то прибегают к реверсам машин или отдаче якоря для осуществления поворота на новый курс.

При проходе узкости якорное устройство должно быть приведено к немедленному действию, а машина — к изменению режима работы или немедленной остановке. В районах, где судну придется следовать уменьшенным ходом, на карте делается пометка с указанием режима работы машины.

Особой пометкой выделяется плавучее ограждение опасностей, служащее не для обсерваций, а лишь для общей ориентации.

При перемене курсов на границе секторов освещения цветных огней не следует полагаться на то, что можно будет легко и быстро уловить момент перехода освещения огня от одного цвета к другому. Ввиду этого для таких поворотов нужно заранее проложить пеленги границ секторов освещения и записать их компасное значение. Поворот на новый курс необходимо начинать в момент прихода судна на данный пеленг.

В случаях невозможности прохода узкости в ночное время должно быть заранее предусмотрено место якорной стоянки. Выбор места ночной якорной стоянки может производиться в соответствии с указаниями лоции и с таким расчетом, чтобы до него можно было подойти до наступления темного времени суток.

Места якорных стоянок следует отметить пеленгами или расстояниями до ориентиров и сделать об этом отметку на карте.

При выполнении предварительной прокладки необходимо помнить, что чем тщательнее и подробнее она выполнена, тем надежнее и безопаснее будет осуществлен проход узкости или стесненного участка.

Перед проходом узкости (стесненного района) усиливают ходовую вахту, проверяют рулевое управление, исправность навигационных огней и средств сигнализации, якорное устройство изготавливают к немедленному действию, а машину переводят в маневренный режим.

Во время плавания на мостике, как правило, находится капитан. По его указанию судовождение может осуществлять также старший помощник капитана.

28.3 Использование сеток изолиний и ограждающих линий положения

Общие сведения. При плавании в узкостях для наиболее сложных участков на картах или планах наносятся сетки навигационных изолиний, как правило, относительно двух или трех ориентиров. Такие сетки существенно сокращают объем вычислительных и графических работ при определении места судна.

Изолинии выбранных ориентиров на заданном участке маршрута перехода должны пересекаться по возможности под углами, близкими к прямым. Каждое семейство изолиний наносится своим отличительным цветом с интервалом, не затеняющим обстановку на карте и обеспечивающим надежную интерполяцию на глаз.

В зависимости от необходимой точности определения места, наблюдаемости ориентиров и имеющихся на судне технических средств судовождения строятся, как было перечислено выше, следующие сетки навигационных изолиний: гониометрические, азимутальные, стадиометрические, комбинированные и ряд других.

Нахождение места судна по вспомогательным меткам изолиний заключается в следующем.

По измеренным горизонтальным углам между несколькими береговыми предметами на гониометрических сетках находят место судна между изолиний, соответствующих этим измеренным углам.

На азимутальных сетках по измеренным пеленгам на береговые ориентиры находят место судна между изолиний пеленгов. По измеренным расстояниям, определенным радиолокатором или рассчитанным по измерению секстаном вертикального угла и высоте

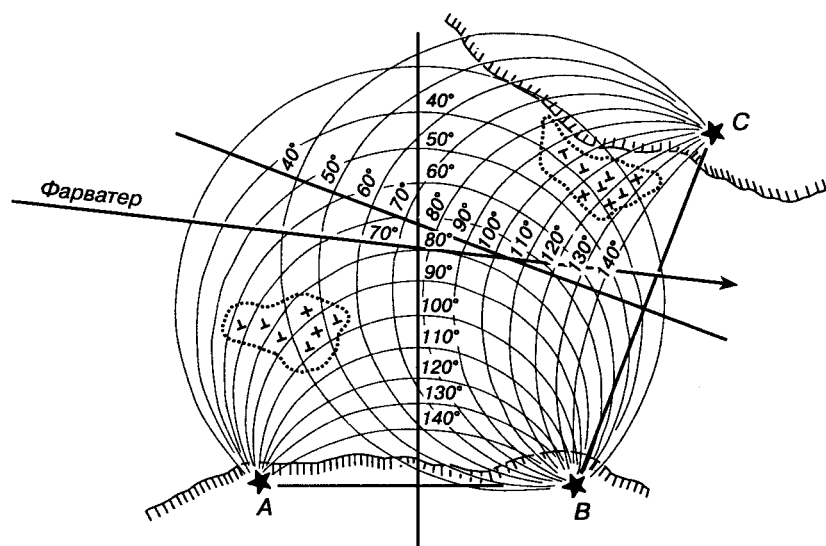


Рис. 28.1. Гониометрическая сетка

предмета на стадиометрических сетках также находят место между изолиний соответствующих расстояний.

На комбинированных сетках нахождение места судна выполняется аналогичным образом, используя соответствующие параметры.

Гониометрическая сетка. Такая сетка применяется для получения на карте места судна, определенного по двум горизонтальным углам, измеренным между двумя парами ориентиров. Для графического построения гониометрической сетки соединяют прямыми линиями точки *A* и *B* (рис. 28.1), соответствующие местам одной пары ориентиров на карте, и точки *B* и *C*, соответствующие местам положения второй пары ориентиров. При этом необходимо соблюсти условия, исключающие случай неопределенности.

Через середины прямых линий, соединяющих ориентиры, проводятся перпендикулярные линии. Задавшись рядом углов α_1 , α_2 , α_3 и т. д. с разностью между ними, равной постоянной величине, у одного из ориентиров строят углы $90^\circ - \alpha_1$; $90^\circ - \alpha_2$, $90^\circ - \alpha_3$ и т. д. Стороны углов, пересекаясь с перпендикуляром, дадут центры окружностей, вмещающие эти углы. Таким же образом строится и второе семейство окружностей, опирающихся на вторую пару ориентиров. Дуги изолиний необходимо проводить на карте только в

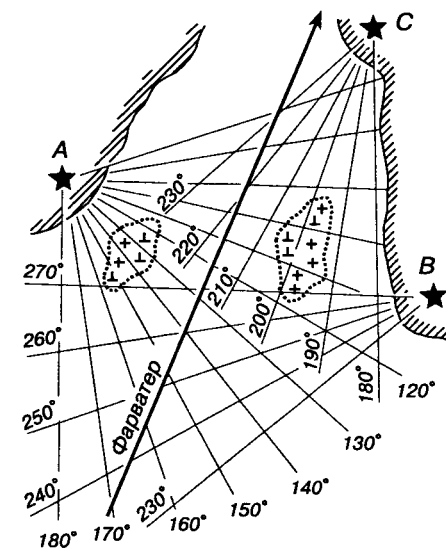


Рис. 28.2. Азимутальная сетка

районах, где возможно определение места судна. Вдоль каждой изолинии выполняется надпись соответствующего ей угла.

Азимутальная сетка. Если на карте нанесены два или три хорошо видимых на местности ориентира, то строят сетку из двух или трех семейств лучей, расходящихся от намеченных для пеленгования ориентиров *A*, *B* и *C* (рис. 28.2).

Направления лучей должны соответствовать истинным пеленгам на эти ориентиры, и, в зависимости от масштаба карты, проводятся через 2 – 3°. Линии истинных пеленгов наносятся разными цветами и у каждой линии пеленга надписывается его значение. Ориентиры следует выбирать так, чтобы пеленги пересекались под углом в пределах 30 – 150°.

Стадиометрическая сетка. Сетка изостадий проводится на карте в виде дуг двух или трех изолиний, являющихся окружностями. Изолинии (дуги окружностей) проводятся из мест видимых ориентиров, как из центров (рис. 28.3) радиусами, равными измеренным расстояниям до них. Если расстояния до ориентиров измеряются с помощью судового радиолокатора, то на изолиниях надписываются значения соответствующих расстояний.

Если расстояния до видимых ориентиров рассчитываются по измеренным секстаном вертикальному углу и высоте предмета, то на изолиниях указывается значение соответствующего им вертикального угла (рис. 28.4).

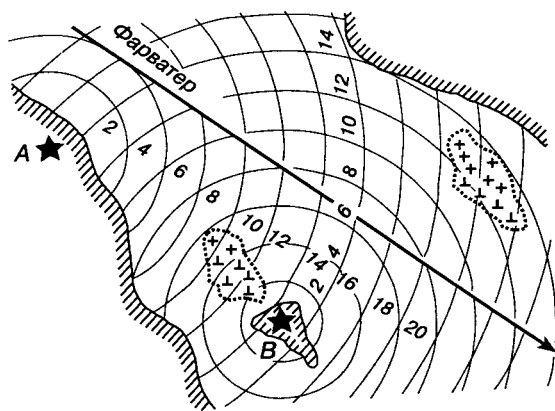


Рис. 28.3. Стадиометрическая сетка

Кроме рассмотренных сеток, на карту могут наноситься сетки, образованные комбинированными системами изолиний, например для обсерваций по пеленгу и расстоянию, по горизонтальному и вертикальному углам и т. п.

Ограждающие изолинии. При плавании среди опасностей, расположенных вблизи берега, когда нет возможности точно определить место судна, при неуверенности в поправке компаса, при отсутствии приметных мест на берегу, важно иметь уверенность, что судно пройдет подводную или надводную опасность в безопасном расстоянии.

В этом случае могут быть использованы ограждающие изолинии, положения которых подбирают с учетом ограждения опасных зон.

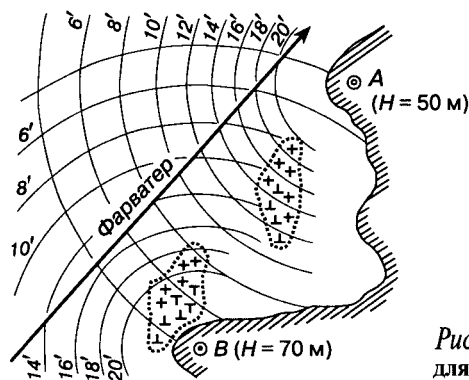


Рис. 28.4. Стадиометрическая сетка для вертикальных углов

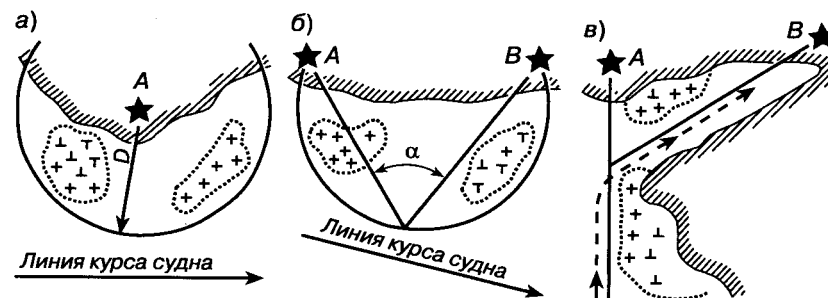


Рис. 28.5. Ограждающие изолинии: а — ограждающее расстояние; б — ограждающий горизонтальный угол; в — ограждающий пеленг

Навигационный параметр, которому соответствует ограждающая изолиния, называют *ограждающим параметром*.

В зависимости от расположения приметных ориентиров такими параметрами могут быть: ограждающее расстояние, ограждающий горизонтальный угол и ограждающий пеленг.

Если судно следует курсом вдоль берега, изобилующего надводными и подводными опасностями, а на берегу наблюдается всего один ориентир *A*, показанный на карте, может быть использовано ограждающее расстояние (рис. 28.5, а).

Для этого на карте из точки *A* места ориентира проводят окружность радиусом *D* с таким расчетом, чтобы все навигационные опасности и некоторая часть чистой водной поверхности оказались внутри этой окружности. Радиус данной окружности *D* и будет тем ограждающим расстоянием, ближе которого нельзя приближаться к ориентире. Измеряя расстояние до ориентира D_p , легко контролировать выполнение условия безопасности: $D_p > D$.

Если на берегу в пределах видимости с судна наблюдаются два ориентира, то можно провести ограждающую изолинию — окружность, вмещающую вписанный горизонтальный угол между ориентирами *A* и *B* (рис. 28.5, б). Периодически измеряя секстаном горизонтальный угол α между ориентирами, сравнивают его с ограждающим углом, контролируя тем самым выполнение условия безопасности.

Иногда пеленг какого-либо ориентира может ограждать опасности и непосредственно предупреждать судоводителя о приближении к опасности.

Чаще всего судоводители в узкостях используют ограждающий пеленг (рис. 28.5, в). Видно, что при использовании ориентира *A* условие безопасности следующее: $ИП > ИП_{огр}$.

Часто сведения об ограждающих пеленгах даются в лощиях. Ограждающий пеленг может быть заменен створом двух каких-либо объектов, нанесенных на карту.

В ночное время ограждающими пеленгами могут служить границы между секторами огней маяков, отличающихся по цвету.

Границы секторов имеют низкую точность и поэтому они должны обязательно проверяться по компасу.

При плавании вблизи берегов и в узкостях, особенно малоисследованных, большим подспорьем может оказаться ограждающая изолиния — изобата. Наблюдая за показаниями индикатора включенного эхолота несложно заметить выход судна на глубины, менее ограждающей.

В районах, требующих для безопасности судна точного плавания по фарватерам и рекомендованным курсам, устанавливаются створы. Для обеспечения безопасного плавания в узкости используют створы ведущие, секущие, ограждающие. Ведущие створы используются для удержания судна во время плавания точно по назначенной линии положения. Секущие створы дают линию положения, пересекающую ведущий створ, и указывают точки поворота на другой створ или дают пройденное расстояние по ведущему створу. Ограждающие створы ограждают какую-либо опасность, как и опасные пеленги.

Для обеспечения безопасности плавания в узкостях, особенно в ночное время и в условиях неудовлетворительной видимости, используются лазерные и телевизионные створы, береговые РЛС, а для ограждения навигационных опасностей, для обозначения линий рекомендованных путей, фарватеров, границ каналов и других безопасных проходов в различных условиях видимости устанавливается плавучее ограждение.

28.4 Навигационные особенности плавания в узкостях

Наличие и близость навигационных опасностей, а также частое изменение курсов придают судовождению в узкостях весьма сложный и напряженный характер.

Плавание в узкостях требует четкого и постоянного контроля за перемещением судна с заранее спланированными наблюдениями, которые должны выполняться наиболее быстрыми способами, обеспечивающими максимальную точность. Любой маневр в узкости должен выполняться только на основе предварительного расчета и измерений. Поэтому между судоводителями должны быть

четко распределены функциональные обязанности, обеспечивающие параллельную обработку навигационной информации, на основании которой капитан оценивает обстановку и принимает оптимальное решение по управлению судном.

Большое значение приобретает взаимоконтроль между помощниками капитана при решении задач судовождения, дублирование всех основных элементов контроля за местоположением и движением судна разными методами, различными техническими средствами.

Плавание в узкостях осуществляется только по фарватерам, каналам и рекомендованным курсам, точно по створам или придерживаясь правой стороны разрешенной полосы движения, так как любое небольшое отклонение от рекомендованного курса может быть опасным для судна. Плавание должно проходить в соответствии с предварительной прокладкой. Счисление пути судна должно вестись особенно тщательно на откорректированных и поднятых картах масштаба 1:50 000 и крупнее.

При плавании в узкостях руководствуются следующим.

1. При подходе к узкостям со стороны моря необходимо располагать курсы перпендикулярно линии, соединяющей наиболее узкие участки входа в стесненные для плавания районы. Вход в узкость начинается с подходного бую, которым обозначается начало рекомендованного пути. Выход судна к бую производится на основе надежной обсервации.

2. Место судна при подходе к узкости может быть уточнено по измеренным глубинам.

3. При следовании узкостью управление судном осуществляется на основе ускоренных (лоцманских) методов контроля за местоположением и движением судна — использование ведущей, ограждающей, контрольной изолиний, применение методов визуальной или радиолокационной глазомерной проводки судна. По радиотелефону необходимо прослушивать два канала — дежурный канал и канал СУДС.

4. Все проходимые ориентиры отмечаются по времени на линии пути, а ориентиры плавучего ограждения сличаются с указанными на карте или в лощиях и пособиях “Огни и знаки”, проверяются названия, окраска, вид топовых фигур, характер и цвет огня. В ночное время ориентиры освещаются прожектором. При расположении ориентира на траверзных курсовых углах на него измеряется пеленг, а при острых курсовых углах — дистанция до ориентира.

5. Контроль за безопасностью плавания производится вахтенным помощником капитана по обсервациям с использованием всех имеющихся на судне навигационных и радиотехнических средств,

с применением сеток изолиний и ограждающих линий положения. Обсервации производятся как можно чаще и для этого в первую очередь используются искусственные береговые ориентиры, во вторую очередь — естественные ориентиры береговой черты и лишь затем — плавучие маяки и плавучее ограждение. О результатах обсерваций, положении судна относительно линии пути, направлении и скорости сноса, пеленге и дистанции на точку очередного поворота вахтенный штурман докладывает капитану.

6. Точка и время поворота на новый очередной курс рассчитывается по обсервации с таким расчетом, чтобы после нанесения ее на карту последующими определениями можно было уточнить время начала поворота.

7. При поворотах на новый курс обязательно учитывается циркуляция судна с учетом сноса течением и воздействия ветра с таким расчетом, чтобы после поворота судно точно находилось на новой намеченной линии пути или на линии створа.

8. При поворотах близи подводных опасностей не допускается “срезать углы” для сокращения расстояний и заходить за изолинию, ограждающую опасности.

9. При прохождении около стенок каналов, причальных линий, плавдоков, земснарядов и вблизи стоящих судов и т. д. необходимо уменьшать ход до минимума, чтобы избежать явления присоса.

10. При уменьшении видимости и неисправном радиолокаторе не рекомендуется входить в узкость, а если судно находится в узкости, необходимо стать на якорь. В плохую видимость не входят в узкость, если ее ширина меньше двойной минимальной рабочей дальности действия радиолокационной станции.

Глава 29

ПЛАВАНИЕ В РАЙОНАХ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ СУДОВ

29.1 Транспортный поток судов

Увеличение плотности и интенсивности движения судов на основных морских путях, в международных проливах, на подходах к крупным портам привело к формированию мощных судопотоков, усилению взаимосвязей между движущимися судами, переходу от плавания одиночного судна к групповому плаванию судов. Это, в свою очередь, потребовало изучения закономерностей группового плавания, методов управления потоками судов, а также

обучения судоводителей методам обеспечения безопасности мореплавания в условиях интенсивного судоходства.

Транспортный поток судов (судопоток) — это совокупность судов, движущихся на определенном участке морского пути по определенному маршруту в условиях динамического взаимодействия друг с другом. Судопоток — сложная динамическая система, обладающая такими свойствами, которых не имеют отдельные суда, составляющие этот поток.

Распределение судов в потоке по ширине судоходного пространства зависит от степени стесненности этого пространства и установленной организации движения судов. Так, на фарватере с односторонним движением ось судопотока обычно совпадает с осью фарватера (створом), максимальные отклонения не выходят за пределы безопасной полосы. На фарватерах с двусторонним движением встречные судопотоки разделены, т. е. наблюдается два распределения судов относительно оси фарватера. Если ось фарватера четко обозначена на местности (например, осевыми буями), то вероятность выхода судна на полосу встречного движения мала и судопотоки практически не пересекаются. Если же осевая линия не обозначена, вероятность выхода судов на полосу встречного движения повышается. Наконец в районах без навигационных ограничений судопотоки наиболее “размыты” и не имеют четких границ.

На маршрутах открытого моря ось судопотока совпадает с рекомендованными наивыгоднейшими путями. При этом высокоточные навигационные (в том числе спутниковые) системы уменьшают отклонения судов от предварительной прокладки и тем самым способствуют концентрации судов на рекомендованных и оптимальных путях, повышая частоту встреч и опасность столкновений в открытом море.

В прибрежном плавании центрами, формирующими судопоток, являются узловые точки — выступающие в море “поворотные” мысы (острова) и/или расположенные около них системы разделения движения, где плотность судов наибольшая. При малых расстояниях между узловыми точками суда следуют вдоль побережья довольно плотными, узкими потоками, однако при больших расстояниях судопоток начинает постепенно “размываться”. Плавание ближе к левой (внутренней) кромке судопотока более опасно, так как повышается вероятность встретить судно, идущее в левой части встречного судопотока. Если правая (внешняя) кромка судопотока обращена к побережью, то при плавании в правой части судопотока повышается вероятность встречи с каботажными, рыбо-

ловными, прогулочными судами. В средней части судопотока плотность движения судов наибольшая.

Потоки судов различают по продолжительности функционирования (постоянные и временные), по составу судов (однородные и смешанные), по значению (местные, региональные, межконтинентальные), по структуре (однорядные, двухрядные, многорядные), по взаимному расположению (односторонние, двусторонние, пересекающиеся), по организации движения (регулируемые и нерегулируемые) и т. д.

Система организационных и технических мероприятий для упорядочения движения судов в потоке с целью повышения безопасности мореплавания, достижения наибольшей надежности и эффективности транспортной системы в заданном районе называется управлением потоком судов. Потребность в управлении потоком возникает прежде всего там, где наиболее интенсивное движение судов, сложные условия плавания, часты навигационные аварии.

Методы управления потоком судов подразделяются на активные и пассивные. Активные методы заключаются в регулировании и управлении движением судов в районе с помощью береговых РЛС, постов регулирования движения судов, систем управления движением судов. Пассивные методы предполагают целенаправленное воздействие на судопоток с помощью системы правил, введения установленных путей, запретных для плавания районов, системы радиолокационного контроля за судоходством и информации о движении судов в районе.

29.2 Плавание в системах разделения движения судов

Общие принципы установления путей движения судов (Routing) приняты Ассамблеей ИМО [Резолюции А.378(X) от 14.11.1977 г. и А.428(XI) от 15.11.1979 г.] и изложены в руководствах ГУНиО № 9036 и № 9037.

Эффективным средством пассивного управления судопотоками является система разделения движения (СРД) — разделение встречных потоков судов посредством установления зон и/или линий разделения и полос движения. Наиболее часто используются СРД линейного типа (рис. 29.1).

Установленная зона прибрежного плавания удерживает суда местного плавания на достаточном расстоянии от СРД, а транзитные суда — от приближения к берегу и навигационным опасностям.

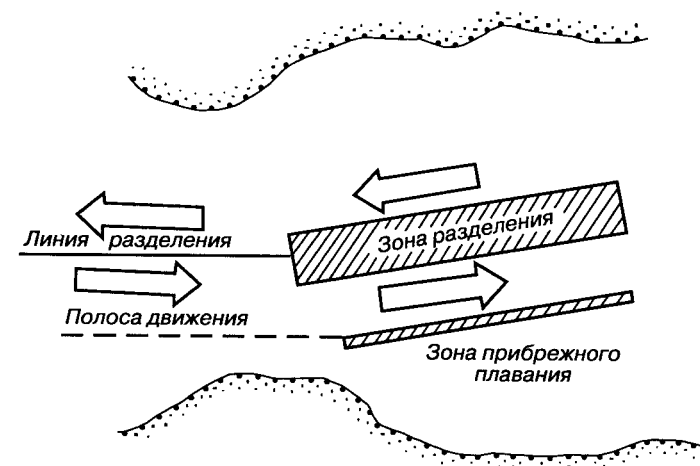


Рис. 29.1. СРД линейного типа

Секторное разделение движения используется там, где сходятся потоки судов, идущих с различных направлений (рис. 29.2).

В узловых точках схождения потоков вводятся районы кругового движения или районы повышенной осторожности плавания. Там, где соединяются или пересекаются пути, также вводятся районы пересечения, районы соединения, районы повышенной осторожности плавания. Полосы движения должны прокладываться так, чтобы оптимально использовать имеющиеся глубины; максимальная ширина полос движения и зон разделения должна уста-

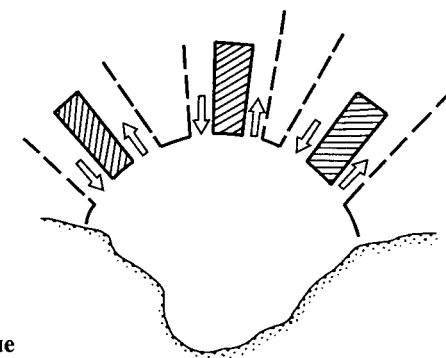


Рис. 29.2. Секторное разделение движения

навливаться исходя из точностных возможностей способов определения места судна в соответствии с требованиями к техническим средствам судовождения.

Единственным международным органом, ответственным за установление СРД, является ИМО. Однако правительства прибрежных государств вправе самостоятельно вводить СРД в водах, находящихся под их юрисдикцией, информируя об этом ИМО и заблаговременно оповещая всех через систему “Извещений мореплавателям”. Плавание по СРД, одобренным ИМО, регламентируется Правилем 10 МППСС-72. Правила плавания в национальных СРД устанавливает прибрежное государство и они могут существенно отличаться от Правила 10. Даже если объявленная СРД не одобрена ИМО и не является обязательной для исполнения, хорошая морская практика требует от судоводителя следовать в соответствии с этой системой до тех пор, пока другие более важные обстоятельства не заставят его изменить это решение.

В соответствии с Правилем 10 судно должно в общем случае входить в полосу движения СРД или покидать ее на конечных участках, но если судно покидает полосу движения или входит в нее с любой стороны, оно должно делать это под возможно меньшим углом к общему направлению потока движения. При плавании вблизи конечных участков СРД необходимо соблюдать особую осторожность, так как движение судов здесь не является упорядоченным, выбор ими курсов может быть достаточно произвольным, а изменения курсов — неожиданными. Судно, не использующее СРД, должно держаться от нее на возможно большем расстоянии.

Судно, использующее СРД, должно следовать в соответствующей полосе движения в принятом на ней общем направлении потока движения и держаться, насколько это практически возможно, в стороне от линии (зоны) разделения движения. Учитывая это обстоятельство, при предварительной прокладке пути судна рекомендуется прокладывать по середине полосы движения, если справа по ходу за границей полосы движения находится зона прибрежного плавания или опасный район. Если же за правой границей полосы движения опасности нет, то путь судна лучше располагать в 2/3 ширины полосы движения от зоны разделения. При фактическом плавании путь судна может быть скорректирован в зависимости от обстановки.

Судно, если оно не пересекает СРД, не входит в полосу движения или не выходит из нее, не должно, в общем случае, входить в

зону разделения или пересекать линию разделения движения, кроме ситуаций крайней необходимости:

- для избежания непосредственной опасности;
- при лове рыбы;
- при гидрографических работах в пределах зоны разделения.

Судно должно, насколько это практически возможно, избегать пересечения полос движения, но если оно вынуждено пересекать полосу движения, то должно делать это, насколько возможно, курсом под прямым углом к общему направлению потока движения.

Существует широко распространенное убеждение о привилегированном статусе судов, использующих СРД для транзитного прохода. Однако в соответствии с Правилем 10(а) плавание по СРД “не освобождает никакое другое судно от его обязанностей, вытекающих из любого другого Правила”.

При плавании в судопотоке оптимальной (с точки зрения минимума обгонов) является скорость судна, равная средней скорости ближайших судов, следующих в той же полосе движения. Скорость судна, несколько превышающая это значение, более предпочтительна, чем несколько меньшая, так как отводит своему судну активную роль при обгонах, однако в любом случае скорость должна быть безопасной. При ограничении или запрещении обгона скорость судна подбирается такой, чтобы не допустить чрезмерного сближения с судном, идущим впереди.

Безопасной дистанцией до впереди идущего судна, считают такую дистанцию, которая позволяет избежать столкновения при экстренном его торможении.

Важнейшим фактором является своевременное обнаружение торможения впереди идущего судна. Порог замечаемого изменения скорости цели может быть принят равным 20—30% от исходной. Более надежные результаты дает контроль дистанций по РЛС. В большинстве случаев безопасной считается дистанция до попутного судна по носу не менее десяти корпусов судна.

Достаточным считается расстояние до судна-попутчика около 4 — 8 кбт справа, 3 — 6 кбт слева, 3 — 4 кбт по корме. Следует, однако, иметь в виду, что в теневом секторе близко идущего попутчика может скрываться опасная цель. Особого внимания требуют судно-попутчики, дистанция до которых монотонно уменьшается, а также приближение к повороту СРД.

Учитывая, что точность плавания по СРД зависит от точности применяемых методов контроля за местом и движением судна, возможны случаи выхода судна на полосу встречного движения.

Судно-нарушитель должно быть проинформировано о нарушении правил плавания любым другим судном как по радиотелефону, так и по МСС. Предусмотрен сигнал “YG” — “Вы, кажется, не соблюдаете правила плавания в системе разделения движения”.

Существенным элементом разделения движения судов является жесткий контроль за соблюдением правил со стороны прибрежного государства — с помощью береговых РЛС, патрульных кораблей, авиации. Предусматриваются информация о судах-нарушителях и определенные санкции по отношению к ним. Если обстоятельства вынуждают судно нарушить правила плавания (например, для избежания непосредственной опасности), необходимо немедленно сообщить об этом по радиотелефону на береговую станцию контроля.

Если в СРД предусматривается периодическая подача радиоинформации на береговой центр о местоположении и движении судна, то пометки об этом должны быть заранее нанесены на путевую карту в соответствующих точках, а тексты сообщений подготовлены заранее.

Суда по возможности не должны становиться на якорь в районах СРД или вблизи конечных участков СРД, чтобы не мешать движению судов и не подвергаться опасности столкновения.

29.3 Плавание в районах регулирования движения судов

Плавание судов на подходах к портам и в портовых водах часто осуществляется на предельно малых глубинах, при малых отношениях сечения канала к площади мидельшпангоута судна, на малых скоростях, при которых в наибольшей степени сказывается снос от ветра и течения, ухудшается управляемость судна. Как правило, подходы к портам и портовые акватории находятся во внутренних или территориальных водах, где установлены местные правила плавания, имеется лоцманское обслуживание, а в крупных портах — береговые радиолокационные станции (БРЛС), посты регулирования движения судов (ПРДС) или системы управления движением судов (СУДС). Местные правила, учитывающие специфику местных условий, могут существенно отличаться от МППСС-72. Особого внимания требует плавание вблизи границы зоны действия местных правил из-за опасности различной трактовки ситуации на судах в процессе расхождения.

Контроль и регулирование движения судов необходимы для сокращения простоев судов по метеорологическим причинам, пре-

дотвращения навигационных аварий, обеспечения безопасного плавания судов и координации их действий в стесненной навигационной обстановке. Зона действия ПРДС (СУДС), процедуры контроля и регулирования движения судов, правовые взаимоотношения и ответственность четко оговариваются в местных правилах плавания. В отечественной практике разработано “Типовое положение о СУДС”, на основе которого в портах разрабатываются собственные “Положения о СУДС (ПРДС)”, учитывающие специфику местных условий.

Различают радиолокационный контроль, радиолокационную проводку судов, регулирование движения судов, управление движением судов в контролируемом районе.

Радиолокационный контроль — постоянный систематический обзор рабочей зоны РЛС с целью заблаговременного обнаружения возникновения опасной ситуации (сближение контролируемого судна с опасностью, сближение контролируемых судов между собой, появление судна, нарушающего правила, и др.) и своевременного предупреждения ее развития в нежелательном направлении.

Радиолокационная проводка — инструментальное (с помощью БРЛС) определение текущих координат судна (маршрутных или полярных) и передача их на судно с необходимой частотой. Полярными координатами называют пеленг на судно и дистанцию до него от БРЛС либо от оговоренного навигационного ориентира (мыса, маяка, входного мола порта и др.), по которым текущее место судна наносится судоводителем на навигационную карту. Погрешность определения текущего места судна при этом составляет порядка 0,5 кбт.

Маршрутными координатами называют текущее боковое отклонение судна от оси канала (фарватера) и расстояние до ближайшей поворотной точки. Для судоводителя маршрутные координаты более информативны и оперативны. Они не требуют прокладки пеленгов и дистанций на карте, поэтому при радиолокационной проводке маршрутные координаты используются чаще, чем полярные, хотя при этом на лоцмана-оператора возлагается дополнительная обязанность — определять боковое отклонение судна от линии заданного пути (ЛЗП). Полученные данные лоцман-оператор передает на судно для управления им: “Вы в 5 м левее оси канала... Вы в 8 м левее оси канала, возьмите 2° вправо...”. В сложных условиях плавания информация передается обычно 2 раза в минуту, а при большом отклонении судна — вдвое чаще, то есть каждые 15 с. Если лоцман-оператор оценивает смещение судна с ЛЗП глазомерно, относительно нанесенной на дисплей БРЛС “электрон-

ной” оси фарватера, то погрешность определения смещения судна с ЛЗП зависит от используемой шкалы БРЛС.

В автоматизированных БРЛС, где предусмотрено аналитическое преобразование измеренных полярных координат судна в маршрутные, СКП определения отклонения судна с ЛЗП $m_y = 0,9$ кбт.

Высокоточные БРЛС обеспечивают возможность радиолокационной проводки судов на дистанциях до 6 – 7 миль по фарватерам шириной до 200 м при одностороннем движении и до 300 м – при двустороннем. В конкретной обстановке возможность и безопасность радиолокационной проводки определяются технико-эксплуатационными параметрами БРЛС и СУДС, профессиональными качествами лоцмана-оператора и судоводителя, размерениями и маневренными возможностями судна, характеристиками фарватера, гидрометеорологической обстановкой и др. Компьютерная вторичная обработка радиолокационной информации повышает ее точность, а возможность наложения этой информации на электронную карту облегчает оператору оценку складывающейся ситуации.

Важно помнить, что в БРЛС обработка информации осуществляется относительно центра эхосигнала от судна. Лоцман-оператор фиксирует на экране отклонение эхосигнала относительно “электронной линии” оси фарватера. Но центру эхосигнала соответствует, как правило, центр одной из оконечностей судна – носовой или кормовой – в зависимости от курсового угла судна. Неучет данного эффекта нередко становился причиной касания грунта при радиолокационной проводке судна по узкому открытому фарватеру.

На основе информации о месте, передаваемой лоцманом-оператором БРЛС, судоводители управляют судном, корректируют его курс и/или скорость с учетом навигационной обстановки. Такой метод проводки называется пассивным. Активный метод дистанционной радиолокационной проводки предполагает управление всеми маневрами судна лоцманом-оператором СУДС по радиотелефону. Этот метод, обеспечивающий высокую точность проводки на прямолинейных каналах, не дает хороших результатов на извилистых фарватерах, так как лоцман-оператор не знает маневренных характеристик и особенностей поворотливости судна, особенно в условиях сильного ветра.

Регулирование движения судов предусматривает выдачу им решений на вход в зону действия системы, отход от причала, съему с якоря, движение по контролируемой акватории, а также назначение очередности, порядка и маршрута движения в зависимо-

сти от конкретных обстоятельств, установление определенных скоростей судов и дистанций между ними.

Судно, стоящее на якоре или у причала, входящее в зону действия СУДС или проходящее через нее, должно до начала движения (либо при подходе к зоне) установить связь с Центром СУДС (ЦСУДС), запросить разрешение на движение и в дальнейшем нести постоянную радиовахту на рабочем канале центра (поста). Радиообмен центра (поста) с судами и текущая навигационная обстановка документируются.

Центр (пост) дает разрешение на вход в свою зону только после надежного опознавания эхосигнала судна на экране БРЛС (по полярным координатам относительно определенного ориентира, по выполнению судном обусловленного маневра, по радиопеленгу судна и другими указанными в Правилах плавания методами). Полученное разрешение на движение или вход в зону действия СУДС действует, как правило, в течение 30 мин и в случае задержки должно быть возобновлено. Судно обязано репетовать все относящиеся к нему указания центра (поста).

Плавание в зоне действия СУДС (как с лоцманом, так и без лоцмана на борту) не снимает с капитана ответственности за все действия по управлению судном и безопасность судна. Информация, выдаваемая лоцманом-оператором ЦСУДС, носит рекомендательный характер.

Однако в быстроменяющейся ситуации и оператор ЦСУДС, и капитан судна должны учитывать множество обстоятельств. В силу большей информированности оператор ЦСУДС лучше капитана знает текущую обстановку, действия и намерения других судов, правила плавания в районе, степень нарастания опасности ситуации. Его единственное решение будет, по-видимому, всегда лучше двух (или нескольких) противоречивых решений капитанов сближающихся судов. Именно поэтому международными и местными правилами оператору СУДС предоставлено право управления движением судов. Обычно обязательными для выполнения являются указания оператора СУДС, касающиеся очередности и маршрута движения, порядка расхождения судов, действий для предотвращения опасного сближения, якорной стоянки. Капитан, не выполнивший указание СУДС, несет ответственность за это как за нарушение обязательных постановлений по порту и правил плавания.

Капитан судна вправе не выполнить указание оператора ЦСУДС, если это невозможно, либо связано с непосредственной опасностью для судна, сообщив незамедлительно причину отказа оператору. Центр СУДС несет ответственность за переданную ин-

формацию в пределах точности используемых технических средств, известных капитану. Аварийные убытки, происшедшие по вине СУДС, должны возмещаться по тому же принципу, что и в случае аварии судна во время лоцманской проводки.

Глава 30

ПЛАВАНИЕ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОЙ ВИДИМОСТИ

30.1 Навигационные особенности плавания в условиях ограниченной видимости

При судовождении, особенно в открытом море, необходимо учитывать гидрометеорологические условия плавания. Это объясняется тем, что на безопасность плавания могут оказывать внимание такие условия, как ветер и волнение моря, туман, дымка, парение моря и осадки, облака, приливные явления и характер течений в районе плавания судна. Особое внимание судоводителей должно быть обращено на плавание в условиях ограниченной видимости.

В практике принято называть малой видимостью видимость не более 2 миль. Дальность видимости объектов в море зависит от прозрачности атмосферы. В туман дальность видимости может уменьшаться до нуля. Осадки, дождь и снег, также уменьшают дальность видимости. Особенно сильное влияние на дальность видимости оказывает падающий в тихую погоду снег.

Осадки при сильном ветре выпадают зарядами и дальность видимости в самое короткое время может измениться очень резко. Наличие дождя и снега уменьшает также радиолокационную наблюдаемость объектов.

Плавание в условиях малой видимости, особенно в прибрежной зоне, наиболее сложно и требует от судоводителей большого напряжения.

При приближении тумана, мглы, снегопада и других явлений, снижающих дальность видимости, следует:

- предупредить капитана;
- уменьшить ход судна до умеренного в соответствии с требованиями МППСС; выбранная скорость не является постоянной и должна корректироваться при изменении условий и обстоятельств плавания;
- начать подачу туманных сигналов, согласно действующим в районе плавания правилам;

- включить РЛС и САРП, начать радиолокационное наблюдение;
- перевести работу УКВ-радиостанции в “Дежурный прием”;
- включить ходовые огни, выключить или затенить огни, мешающие наблюдению;
- определить место судна наиболее точным способом;
- перейти с автоматического на ручное управление рулем;
- проинструктировать и выставить впередсмотрящего, обеспечив его надежной связью с мостиком;
- предупредить вахтенного механика о возможных реверсах;
- согласовать показания часов мостика и машинного отделения;
- сделать отметку на курсограмме;
- сличить показания ГК и МК;
- сличить направления, измеренные на один и тот же ориентир, по ГК и РЛС;
- включить внутрисудовую трансляционную сеть;
- при необходимости включить эхолот;
- по указанию капитана вызвать на мостик подвахтенных судоводителей для усиления ходовой вахты;
- до прибытия капитана на мостик руководствоваться МППСС-72 и местными правилами плавания;
- записать в вахтенный журнал время входа в зону ограниченной видимости, дальность видимости и принятые меры предосторожности.

При плавании в условиях ограниченной видимости следует:

- вести систематическое зрительное, слуховое, радиолокационное наблюдение за окружающей обстановкой, другими судами и местом судна;
- использовать методы судовождения, обеспечивающие безопасность плавания;
- тщательно вести счисление пути судна с учетом влияния всех временных факторов и маневренных качеств судна;
- определять место судна с необходимой частотой;
- усилить контроль за работой навигационных приборов;
- маневр для расхождения выполнять на основе полной информации с учетом маневренных элементов судна;
- уменьшить ход до минимального, достаточного для удержания судна на курсе, и следовать с крайней осторожностью, а если необходимо — остановить движение, если слышен туманный сигнал другого судна, находящегося по-видимому впереди своего траверза, и имеется опасность столкновения;

- контролировать эффективность выполняемого маневра до тех пор, пока другое судно не будет окончательно пройдено и оставлено позади;
- расхождение с встречными плавающими объектами в открытом море следует производить на расстоянии не менее 2 миль.

Если принятые меры предосторожности не обеспечивают безопасное плавание судна, следует стать на якорь или лечь в дрейф.

30.2 Подход к берегу в условиях ограниченной видимости

При плавании в условиях малой видимости вблизи берегов необходимо применять методы судовождения, основанные на комплексном использовании визуальных методов, РЛС, эхолота, звукосигнальных средств, навигационного ограждения, радиопеленгаторных станций.

При подходе к берегу в условиях ограниченной видимости необходимо:

- выполнить все мероприятия, которые производятся при плавании в малую видимость;
- при плавании в прибрежной зоне курсы судна следует прокладывать так, чтобы минимальные расстояния до навигационных опасностей превышали РСКП счислимого места на подходе к этим опасностям не менее чем в три–пять раз;
- курсы судна следует выбирать так, чтобы линии путей не приближались к берегу ближе назначенной ограждающей изобаты;
- определять место судна всеми доступными способами и оценивать их РСКП;
- назначить курс подхода, перпендикулярный линии берега;
- соблюдать все меры предосторожности при плавании в узкостях и прибрежных районах;
- непрерывно измерять глубину под килем и сравнивать ее с глубинами с карты;
- с максимальной точностью учитывать влияние дрейфа и течения.

30.3 Выбор морских путей с учетом гидрометеорологических условий

При выборе морских путей необходимо учитывать гидрометеорологические условия, которые в соответствии с учетом мо-

реходных качеств и скорости хода судна могут создать благоприятные условия для плавания.

Особо важными гидрометеорологическими условиями, способными оказать влияние на условия плавания, являются средняя сила и преобладающее направление ветра и волнения, повторяемость штормов и туманов, направления и скорость течений, ледовые условия.

При выборе морских путей следует определить оптимальные гидрометеорологические условия, которые обеспечат наименьшую потерю скорости судна за счет волнения, ветра и течения.

Выбор морского пути судна следует осуществлять на основе прогноза повторяемости штормов, видимости и туманов, а также ледовых условий. При этом следует учитывать, что чем больше заблаговременность прогноза, тем меньше его достоверность. Поэтому целесообразно выбор морских путей производить на основе краткосрочных прогнозов, имеющих значительно большую оправдываемость.

Глава 31

ПЛАВАНИЕ В ВЫСОКИХ ШИРОТАХ И ВО ЛЬДАХ

31.1 Навигационные условия плавания в высоких широтах

К району высоких широт относится Северный Ледовитый океан и прилегающие к нему моря Арктического бассейна, расположенные севернее параллели 70°. Навигационные условия плавания в высоких широтах определяются географическими условиями. Для высокоширотных районов характерно наличие полярного дня и полярной ночи длительностью до полугода. Малые высоты Солнца и продолжительное его отсутствие над горизонтом определяют суровость климата, постоянные отрицательные температуры воздуха и воды в поверхностном слое и, как результат, наличие мощного ледяного покрова. Многолетний паковый лед может достигать толщины 20 м, а плавающие айсберги могут иметь осадку до 100 м. Ледяной покров и плавающие айсберги находятся в постоянном движении под воздействием ветров и течений. Наличие мощного ледового покрова определяет сезонность навигации в данном районе, ограничивает мореплавание. До недавнего времени тяжелые паковые льды для судов считались непроходимыми. Поход отечественного ледокола "Арктика" к Северному

полюсу в августе 1977 г. доказал возможность и перспективу освоения этого района. Высокие широты доступны для плавания ледоколов с ядерными энергетическими установками.

Ледовые условия существенно затрудняют плавание судов и увеличивают опасность столкновения с айсбергами.

Для высоких широт характерно наличие частых туманов, сплошной многоярусной облачности, что затрудняет наблюдение ледовой и надводной обстановки и значительно ограничивает возможности определения координат места судна по небесным светилам.

Недостаточная изученность рельефа дна, течений, ледовых образований, магнитного склонения и других геофизических элементов делает условия плавания в высоких широтах исключительно сложными.

Высокие широты — район недостаточно оборудованный береговыми средствами навигационного оборудования. Наличие полярных сияний и магнитных бурь вносит помехи в работу радионавигационных систем, средств связи и магнитных курсоуказателей.

Географические и геофизические факторы определяют невозможность использования при плавании в широтах более 85° традиционных навигационных средств и методов.

С увеличением широты уменьшается направляющий момент гирокомпаса, вызываемый полезной составляющей суточного вращения Земли:

$$\omega_{\Pi} = \omega \cos \varphi \sin \alpha,$$

где ω — угловая скорость вращения Земли; φ — географическая широта места судна; α — отклонение главной оси гирокомпаса от меридиана.

В широтах около 87° направляющий момент настолько мал, что гирокомпас перестает быть курсоуказателем. Кроме того, с увеличением широты у гирокомпасов возрастают почти все методические и инерционные погрешности.

С увеличением географической широты уменьшается горизонтальная составляющая магнитного поля Земли

$$H = T \cos J,$$

где T — напряженность магнитного поля; J — магнитная широта.

Следовательно, уменьшается и направляющая сила магнитного компаса λH . На магнитном полюсе при $J = 90^\circ$ картушка магнитного компаса занимает относительно меридиана безразличное положение.

Для пояса широт более 85° невозможно создание карт в прямой равноугольной цилиндрической проекции Меркатора, поскольку с увеличением широты беспредельно увеличивается частный масштаб карты:

$$M = M_{\Gamma\Pi} \frac{\cos \varphi_{\Gamma\Pi}}{\cos \varphi},$$

где $M_{\Gamma\Pi}$ — масштаб по главной параллели; $\varphi_{\Gamma\Pi}$ — широта главной параллели.

Действительно, при $\varphi = 90^\circ \cos \varphi = 0$ и $M = \infty$.

При $\varphi > 85^\circ$ неудобна и сама географическая система координат, так как незначительная погрешность в пройденном расстоянии (отшествии) вызывает значительную погрешность в определяемой долготе. Действительно, дифференцируя формулу аналитического счисления для расчета долготы и переходя к конечным приращениям, получим:

$$\Delta(\Delta\lambda) = \Delta w \sec \varphi_{\text{ср}},$$

или

$$\Delta(\Delta\lambda) = \Delta S \sin IK \sec \varphi_{\text{ср}}.$$

При $\varphi = 90^\circ \Delta(\Delta\lambda)$ приближается к бесконечности.

Таким образом, высокие широты не только усложняют условия плавания, но и ставят перед судовождением проблему в части определения средств и методов навигации. Эта проблема успешно решается созданием навигационных систем и комплексов, обеспечивающих как курсоуказание, так и счисление в высоких широтах, а также наблюдение за ледовой обстановкой. Решена проблема выбора картографических проекций для прокладки пути судна в высоких широтах, в том числе и в приполярных районах.

Для курсоуказания и счисления пути судна в приполюсных районах применяются гироазимуты и инерциальные навигационные системы, ориентированные в системе квазигеографических координат, а также системы электронной картографии, решающие задачу счисления в этой же системе координат.

Для ведения графической прокладки в высоких широтах используются карты равноугольной поперечной цилиндрической проекции Меркатора, а для отдельных расчетов — карты в центральной (гномонической) проекции.

Успешно решаются при плавании в высоких широтах и проблемы коррекции координат места и систем курсоуказания.

31.2 Навигационные особенности плавания во льдах

Плавание в ледовых условиях является наиболее ответственным, сложным и напряженным. Оно требует тщательной подготовки судна в зависимости от поставленной задачи, знания общей характеристики ледовых условий в районе перехода и состояния погоды.

Судовождение во льдах осложняется следующими факторами:

- частая смена курсов и скорости для маневрирования с целью обхода наиболее тяжелых ледовых препятствий;
- отсутствие плавучих средств ограждения навигационных опасностей;
- затрудненная ориентировка по береговой черте, даже с использованием судовой РЛС;
- невозможность во многих случаях использования некоторых конструкций лагов;
- несвоевременность навигационных расчетов, связанная с частым маневрированием, требующим обеспечения безопасности корпуса судна;
- трудности в определении и учете дрейфа судна при различных метеорологических условиях.

Путь следования в ледовых районах выбирают с расчетом плавания по чистой воде или в местах наиболее слабого и разреженного льда. Лучше выбрать путь более длинный, но свободный ото льда. Следует по возможности избегать форсирования даже на первый взгляд узких ледовых перемычек. Общее направление цепи разводий должно быть возможно ближе к генеральному курсу судна. Радиолокационное наблюдение за горизонтом не всегда дает возможность обнаружения отдельно плавающих льдин, но является хорошим средством ориентировки для выбора пути во льдах.

Проходя сплоченным льдом, не следует входить в места торошения во избежание сжатия во льду. Сплоченные торошенные льды лучше обходить, чем их форсировать. Около айсбергов следует проходить на значительном расстоянии, опасаясь их опрокидывания.

Вход в лед осуществляется по направлению, перпендикулярно к кромке льда, а при волнении — со стороны чистой воды.

При дрейфе льда в сторону отмели или других опасностей входить в него нельзя, особенно при широкой дрейфующей полосе. Не следует входить даже в разреженный мелкобитый лед во время снегопада, так как в этом случае снеговой покров может способствовать связыванию льдин.

В практике ледового плавания считается, что неледokoльному судну не рекомендуется осуществлять плавание, если сплоченность льда превышает 6 баллов.

31.3 Счисление во льдах

Счисление пути судна при плавании в ледовых условиях осуществляется по тем же правилам, что и в обычных случаях. Однако очень частые изменения курса и скорости, а также совместный учет дрейфа судна и льда делают графическую прокладку очень громоздкой и сложной. Это вынуждает судоводителей применять некоторые особые приемы счисления.

Если изменение курсов происходит редко, а скорость судна остается более или менее постоянной на каждом частном курсе, то применяется письменное счисление.

При частых изменениях курса и скорости используется графическое счисление, выполняемое на миллиметровой бумаге в крупном масштабе.

Генеральный курс, генеральное плавание и счислимая точка наносятся на карту каждый час.

Когда изменения направления движения судна незначительны, то применим метод моментных наблюдений для определения среднего курса и средней скорости за определенный промежуток времени. Запись курса и скорости производят через 5–6 мин и через эти промежутки времени откладывают отрезки плавания по замеченному курсу. Эта работа выполняется на чистом листе бумаги в крупном масштабе. Средний курс, среднее плавание и счисляемое место определяют и наносят на карту каждый час. Однако осреднение резко различающихся курсов за час может привести к значительным ошибкам.

Для ведения счисления при ледовом плавании обработку наблюдений и нанесение места выполняют в следующем порядке:

- рассчитывают плавание судна через каждые 5–6 мин и сводят их в таблицу;
- если в таблице есть повторяющиеся курсы, их сводят в один, а соответствующие плавание суммируют;

- курсы, разнящиеся на $5-10^\circ$ в обе стороны, сводят в средние, а плавания суммируют;
- все полученные курсы исправляют поправкой ΔK ;
- в сводной таблице обработанных наблюдений учитывают наблюдаемый дрейф.

На листе бумаги в выбранном масштабе или на специальных сетках прокладывают осредненные курсы, а по ним откладывают соответствующие плавания.

По координатам конечной точки или по генеральному курсу и плаванию на рабочей карте наносится счислимая точка.

Погрешность в счислимом месте зависит от погрешностей в истинном курсе, определения скорости, проложенного по курсу плавания, от погрешности при учете ледового дрейфа.

Погрешность в истинном генеральном курсе, кроме перечисленных погрешностей, содержит систематическую погрешность самого метода счисления пути при ледовом плавании. Округленные и приведенные к средним 5–6-минутные курсы имеют систематическую погрешность, которая тем больше, чем грубее осредняются курсы. Поэтому счислимое место всегда получается в стороне от истинного.

Суммарное расстояние, пройденное по нескольким курсам и принятое за плавание по среднему курсу, всегда дает счислимую точку, которая будет находиться впереди истинного места судна.

Наиболее простым способом ведения прокладки является использование систем автоматического счисления, в которые периодически изменения курса и скорости вводятся вручную.

Если с судна наблюдаются береговые ориентиры и возможно использование радиотехнических средств, то используется обсервационное счисление, при котором обсервации производят через каждые 5–20 мин. Полученные места соединяют прямыми линиями и находят фактический путь судна между обсервациями. Предпочтительнее использование в этих целях космических навигационных систем.

При плавании вдали от береговых средств навигационного оборудования счисление ведется с помощью судовой РЛС по местам, наносимым на карту относительно наблюдаемых на экране РЛС айсберга, приметных льдин или торосов (рис. 31.1). Предположим, что на экране РЛС видна четкая отметка от льдины или тороса A_1 . В момент выполнения надежной обсервации измеряются пеленг и дистанция до этого хорошо различимого на экране РЛС объекта A_1 и этот ориентир наносится на карту по пеленгу и дистанции от обсервованного места M .

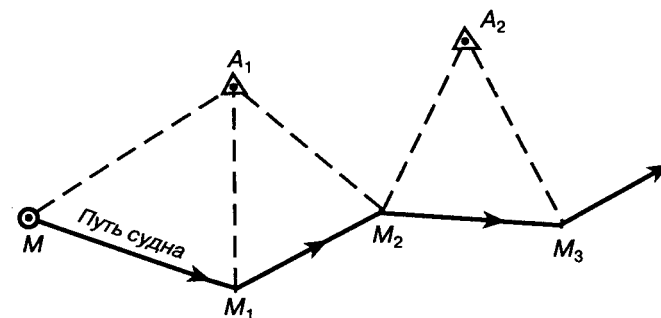


Рис. 31.1. Счисление с помощью РЛС относительно наблюдаемых объектов

В дальнейшем счисление ведется относительно этого ориентира. Через каждые 5–20 мин по измеренным пеленгам и расстояниям относительно ориентира A_1 наносятся точки M_1 , M_2 , которые соединяются прямыми линиями. По мере удаления от ориентира A_1 на карту от последнего счислимго места M_2 по пеленгу и расстоянию наносится новая хорошо различимая на экране РЛС льдина или торос A_2 и дальнейшее счисление ведется относительно этого ориентира. При таком счислении необходимо учитывать дрейф от ветра и течение, если они известны.

Скорость судна во льдах при невозможности использования лага может быть определена несколькими способами:

- с помощью судовой РЛС;
- по обсервациям;
- способом “планширного лага”;
- глазомерной оценкой.

При определении скорости с помощью судовой РЛС на экране выбирается хорошо видимый ориентир (торос, стамуха), расположенный по носу или корме. Через некоторый промежуток времени последовательно производят измерения двух расстояний до наблюдаемого объекта и рассчитывают скорость судна по формуле

$$V = \Delta D / \Delta t.$$

Разновидностью данного способа является определение скорости судна по относительным определениям места судна. На экране РЛС выбирается хорошо различимый сигнал от ориентира A на

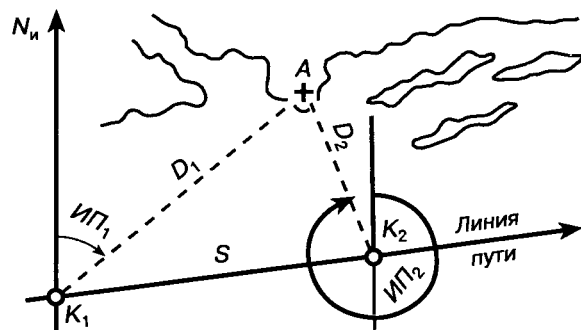


Рис. 31.2. К определению скорости судна во льдах по относительным определениям места

льду и измеряются пеленг и расстояние до него (рис. 31.2). Через интервал времени 5–10 мин производится повторное измерение пеленга и расстояния до этого же ориентира. На карте или планшете относительно точки A по пеленгам и расстояниям наносятся точки K_1 и K_2 . По измеренному расстоянию между полученными точками и промежутку времени плавания между ними рассчитывается скорость судна.

При подвижном ориентире A вычисленная скорость судна будет относительной и в нее не входят составляющие сноса от воздействия течения и ветра.

Точность способа зависит от точности измерения радиолокационных пеленгов и расстояний.

При определении скорости судна способом “планширного лага” измеряется промежуток времени, в течение которого судно проходит расстояние, равное его длине, мимо выброшенного на лед предмета или приметной льдины. По длине судна L в метрах и времени t в секундах определяют скорость судна в узлах по формуле

$$V = \frac{3600L}{1852t} = 1,944 \frac{L}{t}.$$

Так как для данного судна значение длины остается постоянным, то можно заранее составить таблицу, из которой затем по аргументу времени в секундах можно будет выбирать скорость в узлах.

При плавании в сплошном льду для определения скорости судна могут быть применимы и другие способы, в том числе и глазо-

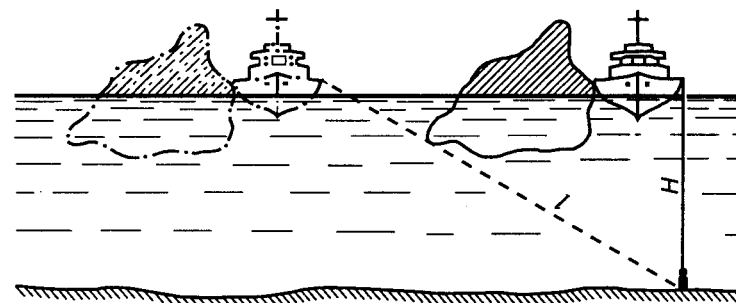


Рис. 31.3. К определению суммарного сноса судна с помощью ручного лота

мерный. При этом учитываются скорость изменения направления на льдину, сила ощущаемого ветрового потока, число оборотов движителей и характер льда. Скорость судна, определенная на глаз при достаточном опыте и навыке, часто совпадает с ее действительным значением.

Совершая плавание в сплошном льду, судно, кроме относительного движения, вместе со льдом имеет переносное движение, которое, как и течение, необходимо учитывать при счислении.

При невозможности определения места судна вдали от берегов с помощью РЛС, по РНС или астрономическими способами суммарный приближенный снос судна определяется с помощью ручного лота на глубинах до 50 м. Для этого судно прижимается к дрейфующей льдине подветренным бортом и стопорит ход (рис. 31.3).

С наветренного борта выбрасывается лот и лотлинь вытравливается до грунта. Измеряется глубина H и включается секундомер. При дрейфе судна лотлинь потравливается без ослабления его натяжения. Через 120–180 с секундомер останавливается и измеряется вытравленная за борт длина лотлиня l . Скорость сноса в узлах определится из выражения

$$v_{\text{др}} = \frac{1,94}{t\sqrt{l^2 - H^2}},$$

а направление сноса определится по направлению лотлиня.

Глава 32

ТРЕБОВАНИЯ К ТОЧНОСТИ СУДОВОЖДЕНИЯ

32.1 Стандарт точности судовождения Международной морской организации

Штурманская служба на судне организуется и возглавляется капитаном судна и предназначена для обеспечения навигационной безопасности плавания.

Нахождение судна в море постоянно связано с его пребыванием в тех или иных сложных в навигационном отношении районах. В любой момент времени плавания судна должна быть обеспечена навигационная безопасность плавания, т. е. должно выполняться условие

$$D_{\text{но}} > 0,$$

где $D_{\text{но}}$ — расстояние до навигационной опасности.

Для обеспечения навигационной безопасности судна при плавании от момента выхода до момента прихода должна постоянно вестись навигационная прокладка, которая включает в себя счисление, определение места судна и расчеты маневров для расхождения с другими судами.

Процесс измерения и обработки навигационных параметров сопровождается погрешностями, которыми будут отягощены и координаты места судна. Поэтому для обеспечения навигационной безопасности плавания, обоснования маневра судна с целью расхождения с навигационной опасностью необходимо производить оценку точности определения места судна.

Оценка точности места судна должна производиться:

- при выполнении предварительной прокладки;
- при подходе к берегу, навигационной опасности, стесненным водам;
- в случаях, когда невязка обсервованного места превышает допустимую величину.

Интервал между обсервациями в зависимости от навигационных условий плавания устанавливает капитан судна.

Для предупреждения навигационных происшествий, связанных с посадками на мель, подкомитет Международной морской

организации (ИМО) выработал стандарт точности судовождения и принял его в Резолюции А.529(13) 17.11.83 г. Стандарт предназначен для выработки требований к точности судовождения, обеспечения навигационной безопасности плавания с заданной вероятностью ($P_{\text{бп}} = 0,95$), оценки эффективности работы систем и средств навигационного оборудования (СНО) и технических средств навигации (ТСН), а также оценки работы судоводителей.

Факторами, влияющими на требования к точности судовождения, являются: скорость судна, расстояние до ближайшей навигационной опасности, район плавания.

Плавание судна осуществляется в трех специфических, с точки зрения наличия навигационных опасностей, районах:

- открытого моря;
- прибрежного плавания;
- стесненного плавания.

В соответствии с требованиями стандарта точности при плавании в районах открытого моря со скоростью до 30 узлов погрешность счислимого (текущего) места с вероятностью $P = 0,95$ не должна превышать 4% от дистанции до навигационной опасности:

$$M_{\text{т}} < 0,04 D_{\text{но}}.$$

В стандарт ИМО включена таблица, содержащая требования к точности определения места M_0 , допустимое время плавания по счислению $t_{\text{д}}$ в зависимости от $D_{\text{но}}$ при условии, что гирокомпас и лаг соответствуют требованиям ИМО, счисление не корректировалось, погрешности имеют нормальное распределение, а течение и дрейф учитываются с возможной точностью (табл. 32.1).

Требования данного стандарта имеют ориентировочный характер, так как основаны на усредненных оценках точности счисления.

Рекомендации ИМО позволяют реализовать единый подход к определению требований к точности плавания и способствуют повышению безопасности плавания судов.

В районах прибрежного и стесненного плавания, где место судна контролируется с помощью обсерваций по береговым ориентирам и радионавигационным системам, требования к точности судовождения зависят от конкретных обстоятельств плавания.

Для обеспечения навигационной безопасности плавания необходимо произвести следующие расчеты:

- оценить вероятность безопасного плавания $P_{\text{бп}}$ для конкретных условий плавания;

Таблица 32.1. Международные стандарты точности судовождения

Минимальное расстояние до ближайшей навигационной опасности D , мили	Допустимая радиальная погрешность места судна R_d с вероятностью 95%, мили	Радиальная погрешность обсервованного места судна R_o с вероятностью 95%, мили					
		<0,1	0,1	0,25	0,5	1,0	2,0
		Максимально допустимый интервал времени между обсервациями t_d , мин					
10	0,4	12	12	9	—	—	—
20	0,8	28	28	27	22	—	—
30	1,2	48	48	47	44	27	—
40	1,6	72	72	71	68	56	—
50	2,0	100	100	99	97	87	—
60	2,4	132	132	131	129	120	73
70	2,8	168	168	167	165	157	118
80	3,2	208	208	207	206	198	162
90	3,6	252	252	251	250	242	210
100	4,0	300	300	300	298	291	260

- в том случае, когда $P_{бп} < P_{зад}$, необходимо рассчитать допустимую РСКП счислимого места M_d в зависимости от $P_{зад}$;
- выбрать способы определения места судна, удовлетворяющие условию $M_o < M_d$;
- рассчитать t_d для конкретных способов определения места судна;
- рассчитать дискретность обсерваций $\Delta t_o = t_d - 2t_{обс}$;
- построить график изменения M_d и M_T по времени для отдельных участков маршрута перехода.

Навигационная безопасность плавания $P_{бп}$ оценивается вероятностью прохода судна по чистой воде без соприкосновения с надводными и подводными препятствиями с известными координатами.

Для расчета $P_{бп}$ при плавании среди навигационных опасностей, расположенных на различных направлениях в прибрежной зоне, используется функция кругового распределения Релея:

$$P_{бп} = 1 - \exp\left(-\frac{D}{M}\right)^2,$$

где D — кратчайшее расстояние до ближайшей навигационной опасности; M — РСКП счислимого места судна в точке кратчайшего расстояния до ближайшей навигационной опасности.

Расчет $P_{бп}$ производится с помощью табл. 4.18 МТ-2000 по аргументам D и M .

Табл. 4.18 может быть использована для расчетов M_d при заданном $D_{мин}$ по заданной вероятности безопасного плавания $P_{бп}$, а также для определения минимального допустимого расстояния до навигационной опасности $D_{мин}$ при известной РСКП счислимого места судна M и заданной вероятности безопасного плавания $P_{бп}$.

Если навигационные опасности расположены по одному борту, то вероятность безопасного плавания рассчитывается по формуле

$$P_{бп} = 0,5[1 + (\Phi_Z)],$$

где Φ_Z — функция Лапласа, определяемая по аргументу

$$z = \frac{D\sqrt{2}}{M},$$

И в этом случае для расчетов можно использовать сборник МТ-2000, входя в табл. 4.19 по аргументам D и M .

32.2 Требования Международной ассоциации маячных служб

При плавании в стесненных районах, в узкостях, по системам разделения движения (СРД), каналам, фарватерам требования к точности судовождения повышены и более детальны, чем требования ИМО.

Международная ассоциация маячных служб (МАМС) регламентирует расчет $P_{бп}$ производить с помощью нормированной функции Лапласа, которая может быть выбрана из табл. 4.20 МТ-2000.

1. В общем случае, когда линия заданного пути (ЛЗП) проложена на расстояниях D_1 и D_2 от границ полосы, по которой следует судно, вероятность безопасного плавания рассчитывается по формуле

$$P_{бп} = 0,5 [\Phi(z_1) + \Phi(z_2)],$$

где $\Phi(z_i)$ — нормированная функция Лапласа;

$$z_i = \frac{D_i}{0,7M_T} \quad \text{— нормированное расстояние до опасности, выра-$$

женное в средних квадратических отклонениях;

D_i — расстояние до ближайшей границы полосы движения;
 $0,7M_T$ — средняя квадратическая погрешность места судна по направлению, перпендикулярному к линии пути.

2. В случае, когда ЛЗП проложена посередине полосы, т. е. $D_1 = D_2 = 0,5H$ (H — ширина полосы следования судна по системе разделения движения, фарватеру, каналу)

$$\Phi(z_1) = \Phi(z_2) = \Phi(z),$$

где
$$z = \frac{0,5H}{0,7M_T} = 0,7 \frac{H}{M_T},$$

$$P_{\text{бп}} = \Phi(z).$$

Использование табл. 4.20 МТ-2000, может облегчить решение и обратной задачи, когда для обеспечения заданной вероятности безопасного плавания $P_{\text{бп}}$ требуется рассчитать допустимую РСКП места судна M_d .

Прокладка ЛЗП посередине узкости наиболее предпочтительна, так как в этом случае $P_{\text{бп}} = \text{тах}$.

3. В соответствии с правилами 9 и 10 МППСС-72 при плавании судна в узкости, по СРД, на фарватерах, по каналам судоводитель должен, насколько это возможно, держаться внешней границы прохода с правого борта.

Если при плавании посередине узкости $P_{\text{бп}} = 1$ или $P_{\text{бп}} > P_{\text{зад}}$, то следует рассчитать то минимальное расстояние $D_{\text{мин}}$, на котором может быть проложена ЛЗП относительно внешней границы узкости.

При плавании вдоль одной навигационной опасности (одной границы прохода), когда расстояние до другой навигационной опасности $D_2 > 3M_T$ и $P_2 = 1$, вероятность безопасного плавания может быть рассчитана по формуле

$$P_{\text{бп}} = 0,5(P_1 + 1),$$

где
$$P_1 = \Phi(Z_1) = \Phi\left(1,4 \frac{D_1}{M_T}\right),$$

При решении подобной задачи работа упрощается, если воспользоваться табл. 4.23 МТ-2000.

32.3 Российские национальные требования к точности судовождения

Наша страна традиционно принимает активное участие в разработке международных стандартов точности судовождения и российские национальные нормы в этой области полностью соответствуют международным. Отечественные нормативы точности более детальны и приведены в Инструкции по навигационному оборудованию (ИНО-89) (табл. 32.2).

Таблица 32.2. Отечественные нормативы точности судовождения

Зона плавания	Допустимая средняя квадратическая погрешность определения места судна M_d	Частота определений места судна t_d	Допустимое время измерения и обработки навигационных параметров, мин
Зона стесненного плавания: — акватории портов, гаваней	5–20 м	Непрерывно лоцманским методом, с применением высокоточных РНС 1–5 мин	0,5–1
— узкие (шириной 100–200 м) каналы и фарватеры	0,15 ширины канала, фарватера		
Прибрежная зона: — фарватеры шириной 2–20 кбт — системы разделения движения	0,2 ширины фарватера 0,2 ширины полосы одностороннего движения	1–5 мин 10–30 мин	0,5–1 1–3
— рекомендованные пути в расстоянии до 25 миль от берега	1–5 кбт	20–30 мин	1–3
— рекомендованные пути в расстоянии свыше 25 миль от берега	2% от расстояния до берега, но не более 2 миль	1–2 ч	5–10
Зона открытого моря	2% от расстояния до опасности, но не более 2 миль	2–4 ч	10–15

На основании рекомендаций МАМС, Российских наставлений по штурманской службе на судах следует придерживаться точностей места судна и частоты обсерваций в зависимости от ширины полосы следования. При этом точность определения места и частота обсерваций должны обеспечить $R_{\text{бп}}$ не менее:

0,997 — в каналах с $H \leq 100$ м;

0,993 — на фарватерах с $H \leq 250$ м;

0,950 — на фарватерах, в полосе с $H > 0,2$ мили.

Перевод известных радиальных средних квадратических погрешностей места судна M в радиальные погрешности R_p заданной вероятности $P_{\text{зад}}$ производится по формуле:

$$R_p = Mk_p,$$

где k_p — коэффициент, выбираемый из табл. 4.15 МТ-2000.

Глава 33

НАВИГАЦИОННАЯ ПОДГОТОВКА К РЕЙСУ СУДНА

33.1 Международные требования, регламентирующие подготовку к рейсу

В соответствии с требованиями Уставов службы на судах морского и речного флотов РФ капитан судна организует вахтенную и штурманскую службы, обеспечивает выполнение требований организационно-распорядительных документов и органов надзора за безопасностью плавания, систематически передает помощникам свой опыт и знания, заботится о повышении их квалификации, способствует внедрению на судне передовых методов судовождения.

Получив рейсовое задание, капитан совместно со штурманским составом прорабатывает маршрут предстоящего плавания, определяет меры по обеспечению безопасности плавания в рейсе.

При подготовке к рейсу для участков, требующих применения методов морской навигации, капитан выполняет предварительную прокладку или поручает ее одному из помощников с последующим контролем. При этом для плавания в сложных условиях он назначает конкретные методы и приемы судовождения, обеспечивающие безопасность плавания в этих условиях и обстоятельствах.

Требования Международной Морской Организации к планированию рейса изложены в главе VIII, разделе A-VIII/2 Международной Конвенции ПДМНВ-78/95. Согласно этим требованиям предстоящий рейс должен планироваться заранее, принимая во внимание всю имеющую к этому отношение информацию, а любой проложенный курс должен быть проверен до начала рейса.

До начала каждого рейса капитан судна должен обеспечить, чтобы предполагаемый путь из порта отхода до первого порта захода планировался, используя соответствующие карты и другие навигационные пособия, необходимые для предстоящего рейса, содержащие точную, полную и откорректированную информацию в отношении тех навигационных ограничений и опасностей, которые имеют постоянный или предсказуемый характер, и которые имеют отношение к безопасности плавания судна.

По завершении проверки запланированного пути, принимая во внимание всю относящуюся к нему информацию, запланированный путь должен быть проложен на соответствующих картах и быть постоянно доступен для вахтенного помощника капитана, который, до того как лечь на соответствующий курс, обязан его проверить.

Если в ходе рейса принято решение об изменении следующего порта захода или если необходимо существенно отклониться от запланированного пути по другим причинам, измененный путь должен прорабатываться заранее, до того как он будет существенно изменен.

33.2 Национальные требования к выполнению предварительной прокладки

После получения рейсового задания, изучения района плавания и ознакомления со всеми особенностями предстоящего рейса капитан лично или по его указанию один из его помощников должен составить графический план рейса.

Графический план рейса на морской участок пути выполняется на откорректированной генеральной карте (картах) полностью на весь рейс. В качестве графического плана рейса для внутренних водных путей, как правило, используется схема ВВП.

После утверждения графического плана рейса выполняется предварительная прокладка.

Предварительная прокладка выполняется на откорректированных путевых, частных картах и планах, на которых будет вестись

фактическая (исполнительная) прокладка в данном рейсе до выхода судна в рейс не менее чем на двухсуточное плавание. Для дальнейшего плавания она выполняется поэтапно на переходе, но тоже не менее чем на двое суток вперед.

Корректур карт, руководств и пособий должна быть закончена до выхода судна в рейс. При кратковременной стоянке в порту и невозможности выполнить корректуру до выхода судна в рейс разрешается по усмотрению капитана проводить корректуру отдельно, по этапам перехода. В последнем случае до выхода судна из порта корректура должна быть выполнена в таком объеме, чтобы обеспечить плавание судна на первые трое суток. Оставшаяся корректура выполняется на переходе морем, но не менее чем на трое ходовых суток вперед.

При сравнении требований ПДМНВ-78/95 и НШСМ-86 видно, что международные требования к планированию рейса и выполнению предварительной прокладки гораздо жестче, чем национальные, так как предполагают выполнение корректуры карт и пособий и выполнение предварительной прокладки до выхода в рейс на весь переход до первого порта захода.

В соответствии с требованиями ИМО национальные требования могут отличаться от международных требований, но только в сторону их ужесточения.

33.3 Проработка перехода

Общие сведения. Основанием для планирования рейса служат:

- рейсовое задание (задание на рейс);
- рейсовый план-график, который выдается не позднее, чем за сутки до начала рейса;
- указания капитана.

В целях обеспечения подготовки судна к предстоящему рейсу экипажу заблаговременно сообщаются сведения о предстоящей работе. Эти сведения содержат задания по объему (наименование, род и количество) груза, портам отправления и назначения, дате подачи судна в порт погрузки.

Штурманская подготовка к рейсу в полном объеме осуществляется перед первым выходом в рейс по данному маршруту, выполняется заблаговременно, с получением рейсового задания, и включает в себя следующие мероприятия:

- расчет протяженности и продолжительности рейса;
- подбор и корректура карт, руководств и пособий, получение данных о путевой, навигационной, ледовой, гидрометеорологической и минной обстановках;
- изучение и оценка района плавания;
- составление графического плана рейса;
- выполнение предварительной прокладки;
- составление справочных материалов на рейс;
- подготовка технических средств судовождения и связи.

Требования и рекомендации при выполнении штурманской подготовки к рейсу изложены в главе 3 НШСМ-86, поэтому рассмотрим особенности некоторых из них.

Расчет протяженности и продолжительности рейса. Расчет выполняется для целей рейсового планирования и определения необходимых запасов топлива, воды, провизии и других видов судового снабжения.

Расстояния, необходимые для расчета протяженности рейса, выбираются из Таблиц морских расстояний для судов смешанного плавания (1992 г.).

Приближенное ходовое время морской части рейса рассчитывается по установленной протяженности рейса без учета прохождения узкостей и каналов и по средней скорости судна. Затем прибавляется время на прохождение узкостей, каналов, лоцманскую проводку и швартовные операции.

Расстояния, выбранные из таблиц, в дальнейшем уточняются при составлении графического плана рейса. Допуск $S_{\text{таб}} - S_{\text{карт}} < 5\%$.

Подбор и корректура карт, руководств и пособий. Карты, руководства и пособия на морской участок пути подбираются по откорректированным Католам карт и книг, в которых ведется учет судовой коллекции.

При подборе карт необходимо учитывать требование о ведении навигационной прокладки на картах самого крупного масштаба в зависимости от района плавания:

- планы — на порты, бухты, рейды и якорные места ($M = 1:500$ 1:25000);
- частные карты — при плавании вблизи берегов, в шхерах и узкостях ($M = 1:25000$ 1:100000);
- путевые карты — при плавании на значительном удалении от берега (1:100000 1:1 000000);
- генеральные карты — для общего изучения района и составления графического плана рейса.

Все подобранные карты, руководства и пособия должны быть откорректированы в соответствии с требованиями Правил корректуры морских карт и руководств для плавания.

Источниками информации для корректуры карт и пособий являются:

- ИМ ГУНиО МО флотов и приложения к ним;
- районные предупреждения НАВАРЕА по обширным районам Мирового океана, передаваемые на английском языке;
- навигационные предупреждения НАВИП по прибрежным водам иностранных государств и водам открытого моря, передаваемые на русском языке;
- прибрежные предупреждения ПРИП и COASTAL WARNING на ограниченные прибрежные участки, передаваемые на русском и английском языках;
- местные предупреждения об изменениях в акваториях портов, передаваемые на национальном языке.

Изучение и оценка района плавания. Изучение района плавания выполняется по подобранным и откорректированным картам и пособиям, рекомендациям служб безопасности судоходства, прогнозам погоды.

Цель изучения — оценка условий плавания, обеспеченность картами, руководствами и пособиями и выявление факторов, влияющих на выбор маршрута перехода и на обеспечение навигационной безопасности плавания.

Изучение района плавания предусматривает:

- уяснение общей навигационно-географической характеристики маршрута;
- определение участков пути, проходимых:
 - открытым морем;
 - вблизи берегов;
 - в стесненных районах;
 - по внутренним водным путям;
- оценку возможностей определения места судна.

Затем для относительно самостоятельных участков пути подробно изучаются и в тезисной форме записываются основные сведения:

- навигационно-географические;
- гидрометеорологические;
- правовые и информационные вопросы;
- описания портов отхода, промежуточных и прихода;
- сведения о портах и местах укрытия.

Составление графического плана рейса. На основании результатов изучения района плавания составляется графический план рейса (лично капитаном или под его руководством одним из помощников).

Графический план рейса на морской участок пути выполняется на откорректированной генеральной карте (картах) на весь рейс полностью в системе судового или оперативного времени и предназначен для:

- наглядного представления сведений о районе плавания, маршруте судна, условиях и особенностях перехода;
- уточнения общей протяженности и продолжительности рейса, времени прохода отдельных его участков;
- получения исходных данных для предварительной прокладки.

Оформление графического плана рейса. На свободном месте карты помещается заголовок, в котором указывается:

- № рейса;
- порты выхода и назначения;
- даты выхода и прибытия;
- время, по которому составлен план (№ часового пояса).

В нижней части карты ставится дата и подпись капитана.

Затем производится “подъем” карты, т. е. выделение на карте сведений, имеющих важное значение для обеспечения навигационной безопасности плавания:

- на участках маршрута, расположенных в непосредственной близости от навигационных опасностей, выделяется цветным карандашом опасная изобата, соответствующая минимальной безопасной глубине, и обводятся окружностями отдельно лежащие навигационные опасности;
- наносятся или выделяются запретные, опасные и сложные для плавания районы, места интенсивного движения судов и паромные переправы;
- отмечаются границы территориальных вод и других зон с установленным режимом плавания в них;
- наносятся (выделяются) порты и места возможного укрытия судна в случае ухудшения гидрометеорологической обстановки;
- отражаются другие сведения по усмотрению капитана.

Затем на карте наносятся:

- все генеральные курсы судна;
- над линией каждого пути надписывают направление и скорость;

- под линией пути подписывается длина каждой линии пути и в скобках (нарастающим итогом) общая длина пути от начальной точки (порта) плавания;
- у точек поворота указывается судовое или оперативное время;
- для участков рейса, где отдельные курсы из-за мелкого масштаба проложить затруднительно, показываются время входа и выхода, а также суммарное пройденное расстояние;
- отмечаются точки:
 - начала суток и указывается дата;
 - перевода часов;
 - восхода и захода Солнца;
- намечаются точки и моменты донесений о своем месте, изменении видов и адресатов связи;
- приводятся сведения о наиболее важных гидрометеорологических условиях плавания для различных участков пути на свободном участке карты.

На отдельные участки маршрута перехода рассчитываются:

- допустимая точность счислимого места судна;
- ожидаемая точность обсерваций доступными способами;
- необходимая периодичность обсерваций.

Выбор курсов судна. При выборе курсов судна необходимо строго руководствоваться:

- ограничениями, установленными Регистром;
- рекомендациями для плавания судов данного класса;
- руководящими документами Департаментов морского (речного) флота Минтранса РФ и указаниями служб безопасности судовождения;
- указаниями для плавания, приведенными в лоциях, на морских навигационных картах, в Правилах и Руководствах для плавания.

В общем случае при выборе курсов руководствуются следующими положениями:

- курсы следует прокладывать на таком расстоянии от берега, которое позволяет надежно определять место судна с заданной точностью и требуемой частотой;
- не следует без крайней необходимости прокладывать курсы через территориальные воды иностранных государств, если только там не проходят международные морские пути;
- проход через узкости должен осуществляться по фарватерам и

- рекомендованным путям и по возможности в светлое время суток;
- расстояние между линией пути и навигационными опасностями должны превышать предельную погрешность места судна, рассчитанную для ожидаемых условий плавания.

При выборе курсов для плавания в стесненных районах и на подходах к портам должны быть учтены все требования местных правил, лоций и особенностей плавания по системам разделения движения.

Выполнение предварительной прокладки. Предварительная прокладка выполняется на всех путевых, частных картах и планах, на которых будет вестись исполнительная прокладка в данном рейсе, наиболее удобного для данного района масштаба. При этом необходимо использовать информацию карт и планов наиболее крупного масштаба, которая может содержать важные навигационные данные.

Предварительная прокладка в общем должна соответствовать графическому плану рейса.

В процессе разработки предварительной прокладки производится уточнение и конкретизация расчетов, выполненных при разработке графического плана перехода.

Особое внимание обращается на детализацию прокладки частных курсов. Кратчайшее расстояние между линией пути, проложенной на карте, и ближайшей навигационной опасностью должно обеспечить безопасность плавания с заданной вероятностью.

При выполнении предварительной прокладки необходимо:

- выполнить “подъем” карты;
- выполнить прокладку частных курсов, надписать вдоль каждой линии пути их направления и составить в виде таблицы “Перечень курсов предварительной прокладки”;
- наметить точки начала и конца поворотов, провести и надписать линии поворотных пеленгов и дистанций;
- измерить расстояния по каждому курсу и рассчитать время плавания с учетом предполагаемой скорости;
- у точек поворота надписать время;
- отметить точки открытия и скрытия наиболее важных маяков и других СНО;
- провести на карте ограждающие линии положения относительно ближайших навигационных опасностей;
- рассчитать элементы приливных уровней для стесненных районов и портов с приливными явлениями;

- рассчитать элементы приливных течений для прибрежных районов;
- обосновать расчетами и выбрать способы определения места судна на основные участки плавания.

По результатам проработки маршрута составляются следующие таблицы:

- список карт и пособий;
- перечень номеров извещений мореплавателям;
- перечень выполненной корректуры;
- сведения о портах и местах укрытия;
- перечень курсов предварительной прокладки;
- сведения о маяках;
- сведения о радиомаяках и радиолокационных маяках-ответчиках;
- сведения о РНС;
- астрономические явления;
- таблица приливов в основных пунктах маршрута;
- таблица элементов течения;
- оценка точности места и оценка обеспечения безопасности плавания.

Приведенный перечень таблиц носит рекомендательный характер и не является обязательным.

Составление справочных материалов на рейс. Справочные материалы на рейс (штурманская справка) составляются по результатам изучения района плавания, выполнения предварительных расчетов и предварительной прокладки, а также с учетом полученных на судно прогнозов, извещений и распоряжений.

Количество и объем справочных материалов определяется службой безопасности судовождения, капитаном, а также задачами и условиями плавания. Часть из них может быть представлена на картах в виде таблиц, схем и условных обозначений, ссылок на страницы руководств и пособий для плавания.

Объем штурманской справки может быть следующим:

- графический план рейса;
- справки о навигационно-гидрографических и других условиях и особенностях плавания для относительно самостоятельных участков рейса;
- справочные таблицы;
- наставления и рекомендации для плавания.

Наставления и рекомендации для плавания составляются на основании обобщения анализа и выводов, сделанных в ходе проработки маршрута перехода.

В тексте Наставления должны быть отражены:

- способы и дискретность определения места судна на каждом курсе и оценка их точности;
- навигационные опасности по пути перехода судна и меры по обеспечению заданного уровня навигационной безопасности плавания;
- способы обеспечения поворота судна на новый курс в заданной точке;
- необходимые меры безопасности по подготовке судна к плаванию в стесненных условиях и в условиях ограниченной видимости;
- меры безопасности, предусмотренные местными правилами плавания и другими нормативными документами;
- требования по ведению наблюдения и организации связи;
- действия при получении неблагоприятного прогноза погоды или при внезапном ухудшении погоды;
- места приема, смены и высадки лоцмана;
- личный опыт капитана и его помощников.

33.4 Анализ навигационной прокладки

Невязки являются обобщенной информацией, характеризующей точность ведения навигационной прокладки. Причины появления невязок — погрешности или промахи (грубые ошибки) в счислении и погрешности обсерваций. При надежных обсервациях анализ невязок способствует выявлению характера погрешностей счисления.

Счисление ведется правильно, если учитываются верные элементы счисления. В этом случае счислимые места должны совпадать с обсервованными. Все невязки — следствие погрешностей предыдущей (исходной) и данной обсерваций.

Примем гипотезу, суть которой в том, что счисление ведется правильно и невязки обусловлены только случайными погрешностями обсерваций. Предположим при этом, что средние квадратические погрешности обсерваций достоверны. Нормированная невязка C_n в этом случае определяется отношением

$$C_H = \frac{C_i}{0,7\sqrt{M_{0,i-1}^2 + M_{0,i}^2}},$$

где C_i — модуль невязки; $M_{0,i-1}$, $M_{0,i}$ — радиальные средние квадратические погрешности предыдущей и данной обсерваций.

Нормированная невязка распределяется по круговому закону Релея. Ее критические значения, численно равные k_p , выбирают из табл. 4.15 МТ-2000 по заданной вероятности безопасного плавания P . Для $P = 0,95$ $k_p = 1,73$.

Анализ невязок производят сравнением их нормированных значений с критическими:

а) если $C_H < k_p$ или $C_i < 0,7k_p\sqrt{M_{0,i-1}^2 + M_{0,i}^2}$, то гипотеза о случайности невязки не отвергается. Можно считать, что невязка произошла за счет неточности обсерваций, а счисление ведется надежно, все элементы счисления учитываются правильно, и их погрешности не проявляются на фоне погрешностей обсерваций.

б) если $k_p\sqrt{M_{0,i-1}^2 + M_{0,i}^2} < C < k_p\sqrt{M_{0,i-1}^2 + M_{0,i}^2 + M_{C(i)}^2}$,

где $M_{C(i)}$ — радиальная средняя квадратическая погрешность счисления на интервале между предпоследней и данной обсервациями, то делается вывод о том, что невязка обусловлена не только случайными погрешностями обсерваций, но и случайными погрешностями счисления. В этом случае счислимое и обсервованное места осредняются с учетом их весов. Несмотря на отсутствие грубых ошибок в счислении, принимаются меры к уточнению элементов счисления. Прежде всего выявляется наличие неучтенной систематической составляющей сноса;

в) если $C_i > 0,7k_p\sqrt{M_{0,i-1}^2 + M_{0,i}^2 + M_{C(i)}^2}$,

то гипотеза о случайности невязки не подтверждается. В счислении содержится грубая ошибка или систематическая погрешность. Объединение счислимого и обсервованного места недопустимо. Принимаются срочные меры к уточнению элементов счисления.

Следует иметь в виду, что выводы статистического анализа имеют вероятностный характер. Их достоверность зависит от точности знания средних квадратических погрешностей обсервации.

Не меньшее значение для выявления промахов в счислении имеет знание достоверной величины коэффициента точности счисления. Поэтому анализ надежности счисления производится комплексно, совместно с анализом отдельных элементов счисления.

Для выявления источников невязок, направленных примерно в одну сторону, может быть применен логический анализ:

- если с изменением курса судна направление невязок не изменяется, то причина их — неправильный учет течения;
- если с изменением курса судна курсовой угол невязок остается прежним, то причина их — или погрешности системы курсоуказания (при траверзном направлении невязок), или погрешности приборов, вырабатывающих пройденное расстояние (при направлении невязок по линии курса).

33.5 Типичные промахи штурманов при решении навигационных задач

Опытные судоводители утверждают, что нет аварийности оправданной и неизбежной. Аварии и условия для их возникновения создают люди своей неорганизованностью и безграмотностью, а иногда и безответственным отношением к своим обязанностям по обеспечению безаварийного плавания судна.

Наиболее часто приводили к авариям следующие действия судоводителей:

- определение места по недостаточно надежно опознанным ориентирам;
- определение места судна по двум линиям положения, что не позволяет обнаружить ошибки и промахи в наблюдениях;
- принятие для дальнейшего счисления пути судна из нескольких обсерваций той, которая оказалась ближе к счислимому месту, без дополнительной проверки другими способами;
- выполнение расчетов, связанных с определением места судна и элементов его движения, без контрольной проверки этих расчетов для исключения возможных ошибок и промахов;
- ведение счисления пути судна по приборам, поправки которых длительное время не определялись;
- принятие решения на выполнение маневра судна курсом или скоростью без предварительной проверки их безопасности по навигационной карте;
- плавание на глаз в районах со сложными навигационно-гидрографическими условиями без тщательного ведения счисления и

производства обсерваций с дискретностью, обеспечивающей безопасное плавание;

- нарушение установленного (объявленного) режима плавания в специальных районах, расположенных вблизи маршрута перехода судна;
- непринятие надлежащих мер предосторожности при проходе вблизи навигационных опасностей;
- отсутствие контроля за глубиной под килем судна, особенно вблизи берегов, мелей, в малоизученных в навигационном отношении районах, в зонах повышенной вулканической деятельности;
- неучет сведений, передаваемых по радио об изменении навигационной обстановки в районе плавания судна;
- невыполнение правил и рекомендаций МППСС-72 или допущение неоправданного риска при выполнении маневра расхождения со встречными судами, особенно в тумане или при пониженной видимости;
- неучет прогнозируемой и фактической погоды штормового характера и др.

Перечисленные упущения, безрасчетные действия и неоправданный риск при управлении судном — главные причины аварий и аварийных происшествий навигационного характера.

Из ошибок, обусловленных психофизиологическими факторами, наиболее распространены:

- отсчет направлений по пеленгатору и транспортиру в обратном направлении (выполняется стереотипный отсчет: слева — направо);
- ошибки в долготе на 30 или 1° при нанесении места на карту по координатам и в знаке долготы при вычислениях;
- ошибки чтения расстояний, измеренных с помощью РЛС, за счет неучета диапазона шкал и их оцифровки (километры, кабельтовы, мили);
- ошибки в определении поправок секундомеров, равные 1 мин или 30 с;
- ошибки в переносе счислимого места с одной карты на другую.

Для профилактики появления подобных промахов в работе штурмана необходимо исключить спешку и нервозность. На ходовом мостике и в штурманской рубке ограничивается пребывание лиц, не связанных с несением вахты, и запрещаются посторонние разговоры. На рабочем столе штурмана не должно быть ничего лишнего, мешающего работе.

Глава 34

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ И МЕТОДОВ НАВИГАЦИИ

34.1

Основные направления развития и совершенствования средств навигации

Перспективы развития средств и методов навигации определяются исходя из:

- требований к точности выработки навигационных параметров при решении задач судовождения;
- национальных планов развития технических средств навигации;
- резолюций ИМО по конвенционному оборудованию судов.

С 1 июля 2002 г. вступила в действие резолюция MSC 99(73) от 05.12.2000 г., определяющая состав обязательного навигационного оборудования судов различного водоизмещения и назначения. Среди оборудования, впервые требуемое к установке как обязательное или соответствующее новым стандартам, следует выделить: ЭКНИС и РЭКНС; приемник ГНСС или наземных РНС (“Лоран-С”, “Декка”) с учетом района плавания; радиолокационный отражатель, позволяющий обнаружить его РЛС диапазона 3 и 10 см; система для приема звуковых сигналов; средство электронной радиолокационной прокладки (СЭП-ЕРА); устройство для передачи информации о курсе; средство автосопровождения радиолокационных целей (САС-АТА); судовой транспондер АИС; средство автоматического управления по курсу или траектории и др.

Являясь базовым данное оборудование может быть дополнено новыми системами и средствами, по мере развития науки и техники.

Анализ задач судовождения и требований к навигационному обеспечению их решения показал, что в обозримой перспективе они не будут подвержены существенным изменениям. Исключение представляет специальная группа задач по поиску и добыче полезных ископаемых на шельфе, которые не относятся к навигационным.

В табл. 34.1 приведены современные требования к точности определения места судна. Удовлетворение столь жестких требований представляется возможным за счет использования средне-орбитальных спутниковых навигационных систем и их функциональных дополнений — дифференциальных подсистем. Осталь-

ные системы радионавигации по своим возможностям на порядок и более уступают спутниковой навигации. Кроме того, содержать в эксплуатации менее эффективные системы одного предназначения стало нецелесообразным. По этим причинам были закрыты секторные и круговые радиомаяки, РНС “Омега” (1996 г.), РНС “Декка” (2000 г.) и др.

Таблица 34.1. Требования к точности координат места судна

Типы судов	Погрешность определения места ($P = 0,95$), м	Доступность, %	Частота определения, с
<i>Внутренние водные пути</i>			
Все суда и буксиры	2–5	99,9	1–2
Маломерные суда	5–10	99,9	5–10
Речные суда для производства работ	0,1–5	99,5	1–2
<i>Акватории портов и подходы к ним</i>			
Крупнотоннажные суда и буксиры	8–20	99,7	6–10
Маломерные суда	8–20	99,9	В зависимости от местных условий
Суда для поиска и добычи полезных ископаемых	1–5	99,0	1
Суда для производства работ	0,1–5	99,0	1–2
Рыболовные суда	8–20	99,7	2
<i>Прибрежная зона</i>			
Все суда	460	99,7	120
Маломерные суда	460–3700	99,0	300
Рыболовные суда	460	99,0	60
Суда для поиска и добычи полезных ископаемых	1,0–100	99,0	1
Научно-исследовательские суда	460	99,7	60
<i>Океанская зона</i>			
Все суда	3700–7400	99,0	900
Большие суда максимальной эффективности	185–460	99,0	300
Суда для поиска и добычи полезных ископаемых	10–100	99,0	300
Научно-исследовательские суда	185–460	99,0	60

Таким образом, качественный облик перспективных систем радионавигации будут определять спутниковые навигационные системы, которые продолжают интенсивно развиваться и совершенствоваться, предоставляя все новые и новые услуги потребителям в космосе, воздухе, на воде и земле.

В обозримой перспективе (2008–2010 гг.) в мире будет находиться в эксплуатации три спутниковые навигационные системы: GPS, ГЛОНАСС и “Галилео”, а также дифференциальные дополнения к ним. Рассмотрим перспективы развития каждой из них.

Global Position System (GPS). Учитывая возрастающие возможности спутниковых технологий и национальные интересы, в США принят в 1996 г. долгосрочный план модернизации системы GPS, которая обусловлена:

- необходимостью обеспечения для гражданских потребителей более высокой точности, надежности и целостности навигационного сигнала. Код C/A на частоте L1 не полностью удовлетворяет перспективные требования гражданских потребителей к навигационному обеспечению;
- необходимостью повышения для военных потребителей помехозащищенности сигнала, а также предотвращения использования GPS противником.

Модернизация предполагает:

1) введение дополнительных общедоступных кодированных сигналов. Второй гражданский сигнал будет транслироваться на частоте 1227,6 МГц, известной как частота L2. В настоящее время эта частота модулируется только с помощью P(Y) кода, используемого военными потребителями. Третий гражданский сигнал L5 будет передаваться на частоте 1176,45 МГц в диапазоне служб авиационной радионавигации (ARNS – Aeronautical Radionavigation services). Расположение сигнала в диапазоне ARNS необходимо для использования всех доступных сигналов при обеспечении безопасности полетов авиации. Сигнал на частоте L5 был разработан с целью улучшения характеристики существующего C/A-кода на частоте L1. Мощность сигнала L5 будет больше на 6 дБ, чем у сигнала L1. Составляющая нового сигнала, в которой отсутствуют навигационные данные, позволит обеспечить наиболее устойчивое слежение за фазой. Полоса пропускания передающего канала составляет минимум 20 МГц и при высокой скорости передачи позволит достичь более высокой точности даже при наличии шума и многолучевости. Предполагается, что использование кода, более длинного, чем C/A-коды на частотах L1 и L2, уменьшит внутрен-

ние помехи системы, обусловленные внутренней взаимной корреляцией;

2) проведение мероприятий, направленных на предотвращение использования системы GPS противником, так чтобы США и союзники сохраняли военное преимущество без нарушения работы гражданских потребителей GPS.

Модернизация сводится к вводу новых военных кодов (М-код), которые будут применять тот же спектр радиосигнала, который используется сигналами, передаваемыми на частотах L1 и L2. Новый военный сигнал будет иметь криптозащиту и изменения в формате навигационных данных. НКА следующего поколения будут передавать при необходимости М-кодированные сигналы в требуемом регионе с мощностью на 20 дБ больше, чем у существующего сегодня P(Y)-кода.

Следует заметить, что для гражданских потребителей первый реальный шаг по модернизации GPS был сделан 1 мая 2000 г. с отмены режима селективного доступа.

В результате модернизации существенно повысится точность навигационных определений. В табл. 34.2 приведены данные, характеризующие новые возможности модернизированной GPS.

Программа модернизации сигналов GPS неразрывно связана с модернизацией орбитальной группировки КА и наземного контура управления системы.

Модернизация орбитальной группировки должна быть выполнена до 2010 г. (когда будут запущены все 12 спутников серии Block IIF).

Таблица 34.2. Точностные характеристики модернизированной GPS

Источники ошибок	С/А на L1 с SA	С/А на L1 без SA	С/А на L1 и L2 и/или L5 без SA
Атмосферная задержка распространения сигнала в ионосфере, с	7,0	7,0	0,1
Атмосферная задержка распространения сигнала в тропосфере, с	2,0	0,2	0,2
Суммарная ошибка измерения дальности НАП, м	25,0	7,5	2,8
Точность определения координат в автономном режиме (в плане 95%), м	100,0	22,5	8,5

С запуском этих спутников будет реализована межспутниковая линия связи и измерений, что позволит довести автономность НКА GPS до полугода. Для обеспечения гражданских и военных задач в период до 2030 г. приняты рекомендации Министерства Обороны по разработке нового поколения спутников (серии Block III) и соответствующей наземной сети управления для использования ее после 2010 г. Цель программы GPS Block III – добиться создания такой архитектуры GPS, которая будет удовлетворять существующие и перспективные требования военных и гражданских потребителей.

Модернизация наземного контура управления направлена на:

- обеспечение возможности отслеживания всех сигналов, передаваемых орбитальной группировкой GPS;
- техническую модернизацию существующих станций мониторинга системы GPS;
- замену компьютеров главной станции управления на сеть с распределенной архитектурой;
- интеграцию с сетью спутникового контроля ВВС США и обеспечение полной совместимости со спутниками серии Block IIR;
- ввод в действие дублирующей станции оперативного контроля (AMCS – Alternate Master Control Station) на авиабазе Ванденберг (Vandenberg);
- обеспечение функций управления и контроля для спутников серии Block IIF.

Модернизация GPS позволит:

- улучшить точность местоопределения в стандартном режиме со 100 до 8 м (95%);
- обеспечить разрешение неоднозначности при выполнении высокоточных фазовых измерений;
- уменьшить влияние любых случайных помех на систему и аппаратуру потребителей.

Все это создаст возможности для появления новых вариантов применения GPS.

Глобальная навигационная спутниковая система (ГЛОНАСС). В настоящее время космический сегмент системы ГЛОНАСС состоит из восьми спутников, из них только семь используются по целевому назначению. К недостаткам существующей системы ГЛОНАСС следует отнести:

- малый срок активного существования ее НКА (гарантийное время активного существования – 36 мес.);

- неполный состав орбитальной группировки (7 НКА), что приводит к перерывам в обсервациях до 2,5–4 ч;
- невозможность определения потребителями поправки системы курсоуказания;
- отсутствие необходимого количества аппаратуры потребителей ГЛОНАСС;
- недостаточная помехоустойчивость системы, в том числе и аппаратуры потребителей.

С целью восстановления состава системы ГЛОНАСС и ее развития в России принята и реализуется обширная программа по модернизации космического и наземного сегментов системы.

Основные положения этой программы сводятся к следующему:

- система будет находиться под государственным контролем и управлением и обеспечивать интересы гражданских и военных потребителей, в том числе и зарубежных;
- система будет совместимой (на уровне аппаратуры пользователей) с другими спутниковыми навигационными системами (GPS, “Галилео”), но независимой от них;
- в системе будет реализован режим, исключающий несанкционированное использование высокоточных навигационных каналов;
- в системе будет реализован комплекс мероприятий, обеспечивающих ее защищенность от несанкционированного внедрения в управление, искусственных и преднамеренных помех, атак террористов;
- восстановление орбитальной группировки до штатного состава будет обеспечено в сроки, сопоставимые со сроками развертывания систем GPS IIF и “Галилео”;
- система будет удовлетворять перспективным требованиям потребителей и обладать характеристиками (табл. 34.3), которые, по крайней мере, не уступят характеристикам проектируемых систем GPS Block IIF и “Галилео”;
- в системе будет обеспечен переход навигационного сигнала в новый частотный диапазон (литеры от минус 7 до плюс 6) с подавлением внеполосных помех.

Развитие ГЛОНАСС непосредственно связано с развитием спутниковой навигации за рубежом.

Европейская СНС “Галилео”. Системы GPS и ГЛОНАСС разрабатывались главным образом для военного применения, однако в последнее время наметилась тенденция все более широкого и ин-

Таблица 34.3. Эксплуатационные характеристики среднеорбитных ГНСС

Показатель	Значение показателя для	
	ГЛОНАСС	ГЛОНАСС-М
Зона обслуживания	Глобально Не ограничено	
Количество обслуживаемых потребителей		
Точность навигационных определений:		
по координатам, м	20–30	10–15
по скорости, см/с	3–5	1–2
Оперативность, мин	0,5–4	0,5–4
Целостность (время оповещения об отказе)	0,5–12 ч	До 10 с
Доступность	0,99	0,99

тенсивного их использования гражданскими потребителями. Тем не менее, указанные системы остаются и будут оставаться под военным управлением, что означает отсутствие гарантий для гражданских пользователей в постоянном доступе к системам, в частности в периоды международных кризисов. Кроме того, по мере накопления гражданскими пользователями опыта работы с системами GPS и ГЛОНАСС выявились серьезные их ограничения, а именно:

1) недостаточная точность решения навигационных задач для обеспечения:

- управления воздушным движением в районе аэропорта, при заходе на посадку и посадке;
 - управления и навигации морского (речного) транспорта в гаванях, узкостях, проливах, реках;
 - управления железнодорожным и автомобильным транспортом;
- 2) недостаточная целостность из-за неспособности систем быстро обнаружить свое неправильное функционирование и оперативно оповещать об этом пользователей;

3) невозможность использования GPS и ГЛОНАСС в стандартном режиме для управления движением подвижных объектов, передачи координатно-временной информации, сигналов бедствия, опознавания и др.

В этой связи в Европе проводят работы по созданию ГНСС нового поколения, базирующихся на современных технологиях связи и навигации, а также на имеющемся промышленном потенциале. Европейская ГНСС получила название “Галилео”.

В Европейском союзе:

- считают, что многие проблемы его суверенитета и безопасности будут под угрозой, если критическая в этом плане GPS останется вне его контроля и управления;
- опасаются, что союз может оказаться под угрозой чрезмерных требований по оплате услуг со стороны монопольной американской GPS и вынужден будет полностью принять диктат США;
- учитывают, что рынок НАП ГНСС только в Европе уже в 1997 г. составил 230 млн долларов и ожидается его рост к 2004 г. до 960 млн долларов, а выгоды за период 2005 – 2023 гг. могут составить около 85 млрд долларов, в то время как возможность Европы конкурировать на этом прибыльном рынке может быть серьезно ограничена, если не будет равного доступа к технологическим достижениям непосредственно в ГНСС;
- считают, что спутниковая навигация будет играть все более фундаментальную роль в будущем, заменяя обширную наземную инфраструктуру других средств и давая существенную экономию.

Предполагается, что ГНСС “Галилео” должна быть:

- независимой от GPS, но взаимодействующей с ней;
- управляемой под международным контролем;
- более точной и доступной, быстро обнаруживать и оповещать о неисправности элементов системы;
- рентабельной;
- открытой для участия других партнеров, в частности, России, что выгодно Европе.

В систему должны войти по крайней мере 21 спутник на орбитах наклонением 55–60° и высотой 23000–24000 км, соответствующая наземная инфраструктура и региональные и местные расширения. Аппараты будут передавать три типа навигационных сигналов: бесплатный общедоступный, платный сигнал повышенной точности (фактически – дополнительный поток данных, модулирующий основной сигнал) и высокоточный сигнал, применяемый в государственных службах безопасности и управления системами транспорта. Заявленная погрешность определения положения в режиме общего доступа – 4 м, с использованием высокоточного сигнала – 0,45 м, время оповещения пользователя об отказе НКА – 6 с. Предполагается сделать систему “Галилео” совместимой по аппаратуре пользователя с GPS и ГЛОНАСС, чтобы для определе-

ния местоположения он мог использовать любую комбинацию НКА всех трех систем. Запуски НКА планируются с 2004 г., начало передачи навигационного сигнала – с 2005 г., начало эксплуатации в полном объеме – с 2008 г.

Спутниковую группировку планируется развернуть полностью к 2007 г. В случае привлечения партнеров, не входящих в Европейский союз, ее численность может быть доведена до 30 аппаратов, включая 27 рабочих и 3 резервных. Среднеорбитную группировку могут дополнять несколько геостационарных НКА. Наземный сегмент будет включать примерно 14 станций, связанных специальной сетью связи для мониторинга положения НКА и точности их бортовых часов и вычисления поправок.

Параллельно с ГНСС “Галилео” в Европе разрабатывается другой проект – EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service -Европейская дополнительная геостационарная навигационная служба). Его суть состоит в передаче с геостационарного спутника данных дифференциальной коррекции и другой дополнительной информации для пользователей существующих спутниковых навигационных систем. В 2000 и 2001 г. с помощью аппаратуры EGNOS на спутниках Inmarsat 3 уже были проведены тесты, показавшие возможность определения положения движущегося объекта с погрешностью до 1 м. Система EGNOS будет завершена в 2003 г. и войдет в строй в начале 2004 г. В ней будет задействовано три спутника. В последующем (до 2015 г.) ее предполагается интегрировать в систему “Галилео”.

Появление среднеорбитных спутниковых навигационных систем, дифференциальных методов определения места по ним, электронных карт и прецизионных средств курсоуказания открыли принципиально новые возможности в судовождении. Ниже остановимся на рассмотрении некоторых из них.

34.2 Комплексное использование спутниковых и геоинформационных технологий

Современный этап развития навигационно-гидрографического обеспечения судовождения характеризуется значительным увеличением потоков разнородной информации, необходимой для принятия оптимальных управленческих решений, в том числе и в экстремальных ситуациях.

Для охвата всего объема информации она должна быть представлена в удобном и обозримом виде, позволяющем из всего мно-

жества данных выбирать только важные и необходимые. Кроме того, обоснованность управленческих решений во многом зависит от применения для этих целей математических методов оптимизации, реализованных в виде машинных методик, что в целом дает возможность автоматизировать этот процесс и существенно повысить производительность труда.

Решение указанных проблем становится уже невозможным без привлечения автоматизированных информационно-управляющих систем с использованием геоинформационных технологий. Одним из основных средств геоинформатики являются географические информационные системы (ГИС), под которыми понимается совокупность компьютерного оборудования, программного обеспечения, географических данных и произвольного проектирования пользователем хода работ для накопления, хранения, видоизменения, обработки, анализа и визуализации всех форм информации.

Основой любой ГИС является цифровая карта. ГИС позволяет создавать карты в разных масштабах и проекциях с разнообразной окраской, определять пространственные связи между объектами карты. При этом ГИС позволяет создать любую нужную географическую картину, удовлетворяющую требованиям потребителя. Таким образом, главное назначение ГИС – оперативное представление пользователю достоверной и обработанной пространственно-распределенной информации, необходимой для решения управленческих задач, что делает ее незаменимым аналитическим инструментом в повседневных и экстремальных условиях.

Успешность функционирования ГИС во многом обусловлена соблюдением следующих основных требований, предъявляемых к ним. ГИС должна быть:

- *полной*, т. е. охватывать все стороны информационного, программного и технологического обеспечения, которые встречаются в процессе эксплуатации системы;
- *комплексной*, т. е. иметь возможность совместного анализа больших групп параметров в их взаимосвязи;
- *открытой*, т. е. обеспечивать легкость модификации и перенастраивания с целью поддержания ее на уровне современности, что необходимо как для обеспечения эволюционности, так и для решения разнообразных задач;
- *защищенной*, т. е. обеспечивать защиту информации, предназначенной для различных уровней управления.

Кроме того, ГИС должна обеспечить решение следующих частных задач:

- создание и ведение баз пространственно-распределенных данных;
- создание и редактирование цифровых карт в различных проекциях и масштабах;
- отображение различных данных в виде карт, графиков, диаграмм и т. п.;
- анализ картированных данных;
- измерение геометрических характеристик природных объектов, расстояний от географических точек до районов с теми или иными условиями и т. д.;
- изменение масштабов отображения, форм и вида представления графической и картированной информации;
- привязку информации из баз данных к географическим объектам на цифровых картах;
- интерполяцию и построение векторных и скалярных полей по информации из баз данных;
- выполнение запросов на многообразные выборки из баз данных, на отображение и пространственный анализ картированных данных (по параметрам, периодам времени, районам и т. д.);
- документирование информационной продукции;
- применение приложений для выполнения специальных видов обработки, хранения информации и др.

Одной из сложнейших проблем в ГИС-технологии является оперативный сбор и хранение исходных данных, съемка которых представляет собой трудоемкий и дорогостоящий процесс. В настоящее время наибольшее распространение в качестве основы для создания цифровых карт получили традиционные морские навигационные карты. Однако при их отсутствии или при необходимости получить оперативную информацию большого пространственного охвата представляется целесообразным использовать дистанционные средства. Особая роль здесь отводится спутниковой информации в ГИС, где результаты дистанционного зондирования поверхности Земли (океана) из космоса являются регулярно обновляемыми источниками данных, необходимых для формирования информационных слоев электронных карт в широком спектре масштабов (от 1:10000 до 1:10000000). При этом информация от дистанционных средств зондирования позволяет не только оперативно оценивать, но главным образом, производить обновление и корректуру использующихся графических

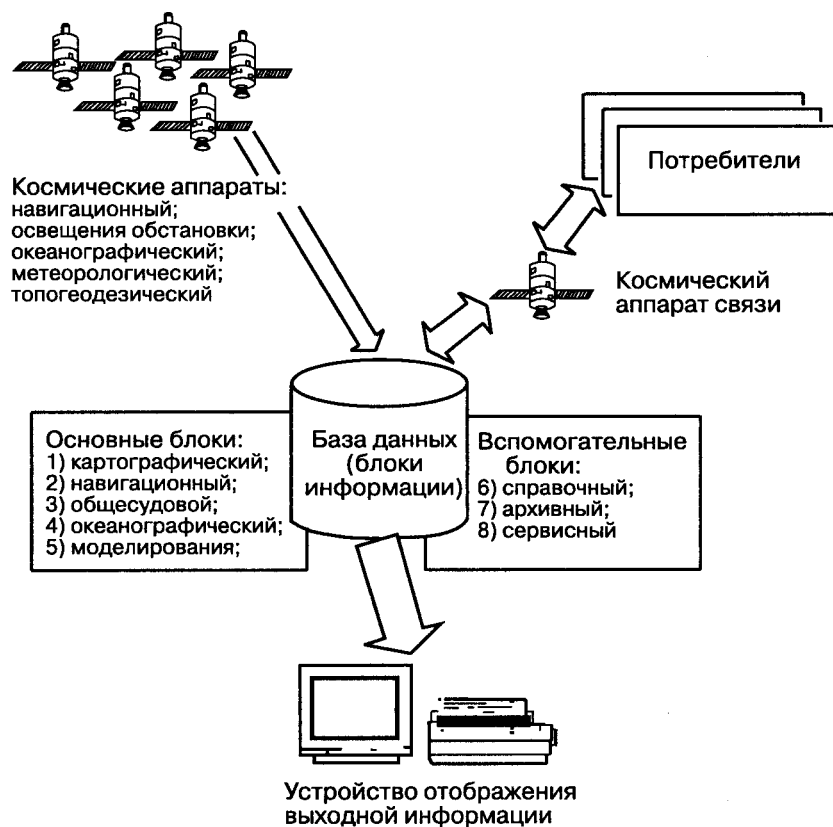


Рис. 34.1. Схема информационного взаимодействия морского подвижного объекта со спутниками и пользователями различного уровня

слоев. Также отметим, что в ГИС важны не только слои информации, но и точная привязка объектов на них к географической системе координат.

С учетом изложенного, для формирования графических слоев может быть полезной комплексная информация от следующих спутниковых систем: навигационных (ГЛОНАСС, GPS, ГЛОНАСС + GPS); освещения обстановки; океанографической; метеорологической; топогеодезической и др.

При этом для осуществления связи между морским подвижным объектом и пользователями различного уровня предусматривается использование космических аппаратов — спутников-ретрансляторов (рис. 34.1).

Основные системы, обеспечивающие сбор данных для ГИС, — спутники с дистанционными средствами зондирования, работающими в оптическом диапазоне. Для оперативности передачи спутниковой информации предлагаются качественно новые подходы, которые предусматривают применение векторного квантования изображений или непосредственное преобразование изображений в цифровой вид на борту космического аппарата для дальнейшей передачи их потребителю.

Интегрирование спутниковой информации и ГИС-технологий открывает принципиально новые возможности в создании автоматизированных информационно-управляющих систем. Новая технология имеет следующие достоинства, которые выводят ее в лидеры:

- комплексность информации;
- оперативность ее получения и представления в компактном виде;
- наглядность представления;
- анализ совокупной разнородной информации и выработка обоснованных управленческих решений;
- мобильность системы.

Рассмотрим возможность использования новой технологии в автоматизированных информационно-управляющих системах на судах (АИУС-С).

Система предназначена для автоматизированной подготовки обоснованных управленческих решений при повседневной деятельности судов.

Структура АИУС-С должна соответствовать штатной информационно-управляющей структуре судна.

При этом АИУС-С строится на базе локально-вычислительной сети (ЛВС), которая обеспечивает информационную поддержку для принятия управленческих решений в рамках компетенции различных звеньев командования судна, включая вахтенного на мостике. В такой системе должны быть предусмотрены алгоритмы ввода-вывода, фильтрации, анализа и корректуры данных, а также возможность наращивания числа рубрик, удаления ненужных и переименования имеющихся. Доступ к информации осуществляется по технологии «Клиент-сервер».

Основной элемент любой АИУС-С — автоматизированное рабочее место (АРМ) специалиста. Типовое АРМ состоит из персонального компьютера с источником бесперебойного питания, программного обеспечения с базами данных и использует текущую информацию датчиков.

Одной из проблем при создании АРМ конкретного пользователя (в нашем случае — вахтенного помощника капитана) является разработка интерфейса. Среди существующих наиболее удобен для непрофессиональных (с точки зрения специалистов в области компьютерных технологий) пользователей интерфейс типа иерархического меню, который предоставляет схему обработки информации по принципу “смотри и выбирай”. Это значительно упрощает взаимодействие пользователя с компьютером, поскольку использование меню не требует изучения языка общения с системой.

Принцип построения интерфейса целесообразно осуществлять в соответствии с функциональными обязанностями штурмана. Система должна оперировать с восемью группами данных, структурно объединенных в основные блоки (картографический, навигационный, океанографический, тактический, моделирования) и вспомогательные (справочный, архивный, сервисный).

Картографический блок предназначен для выработки электронных карт различных масштабов и проекций, являющихся ядром ГИС. Содержит следующие рубрики (разделы): электронные карты; специальные карты; справочные карты; вспомогательные карты.

Блок позволяет:

- осуществлять выбор нужной карты, автоматическую ее загрузку и перемещение карты на экран;
- управлять масштабом и нагрузкой карты (базовой, стандартной, полной);
- осуществлять просмотр карты на любой географический район с увеличением (уменьшением) изображения в целом или отдельной области;
- выбрать объект на карте и выдать по нему справку;
- выбрать нужные информационные слои (локальные места) и составить из них мозаику;
- произвести смену экранной палитры.

Навигационный блок предназначен для ведения навигационных прокладки и журнала (документирования обстоятельств плавания). Включает следующие рубрики: средства навигационного оборудования; навигационные расчеты; предварительная прокладка; исполнительная прокладка; автоматическое документирование текущих навигационных параметров и обстоятельств плавания; выработка сигналов предупреждений.

Блок позволяет:

- обосновать выбор и отобразить основной и резервный маршруты перехода судна в порт назначения; наложить на них слои ге-

ографической, океанографической, справочной и др. информации;

- вести исполнительную прокладку и производить навигационные расчеты;
- формировать “мозаику” из различных информационных слоев или их фрагментов.

Блок океанографических данных предназначен для сбора, хранения и анализа данных о внешней среде в интересах обеспечения безопасности плавания. Блок включает гидрографические сведения, океанографические данные, метеорологические данные.

Блок позволяет:

- подготавливать исходные данные для машинных методик блока моделирования по оценке воздействия внешней среды на эффективность выполнения рейса;
- прогнозировать состояние внешней среды и учесть ее влияние на безопасность плавания;
- использовать информацию для предварительной оценки возможности применения радионавигационных средств и различных полей Земли в интересах навигации;
- выдавать океанографическую информацию другим пользователям.

Общесудовой блок предназначен для:

- учета состояния судна (наличия и состояния механизмов, груза, топлива, запасов пресной воды и др.);
- планирования общесудовых мероприятий и работ и проведения общесудовых и других расчетов;
- учета требований руководящих документов по действиям судна в различных ситуациях и др.

Блок моделирования предназначен для оперативного принятия обоснованных управленческих решений за счет автоматизации процесса и применения математических моделей, основанных на аппарате исследований операций, математической статистике, теории игр, имитационного моделирования и др.

Важным достоинством блока является то, что он позволяет производить оценки действий судна в динамике, а также в реальном времени или с использованием временного масштаба. Кроме того, блок позволяет моделировать различные экстремальные и повседневные ситуации для выработки управленческих решений.

Блок справочной информации предназначен для поддержки функционирования основных блоков информацией долгосрочного хра-

нения, которая имеет вспомогательное значение. Содержит следующие рубрики: руководства для плавания; наставления и правила; справочные и вычислительные пособия; правовые вопросы; приказы и директивы.

Блок позволяет оперативно найти и использовать в различных целях нужную разноплановую информацию.

Архивный блок предназначен для архивации информационных ресурсов и их описаний, потерявших свою актуальность. Блок позволяет вести архив и предоставлять доступ к сохраненной информации для ее восстановления или осуществления выборки данных. В блоке могут содержаться материалы, которые не входят в состав информационных ресурсов судоводителя.

Блок "Сервисные функции" предназначен для предоставления судоводителю различных услуг, в том числе электронной почты и автоматического секретаря. Поддерживает администрирование системы и реализует доступ к любым материалам, входящим в состав информационных ресурсов АИУС-С. Блок обеспечивает подключение и доступ к информационным ресурсам общего пользования или открытым ресурсам других пользователей, позволяет выполнить выборку собственных информационных ресурсов и их отправку по электронной почте.

В блоке предусмотрены рубрики, содержащие необходимые сведения и формы для составления заявок на ремонт и получение со складов технических средств, карт, ЗИПа, а также для их учета и списания. Отдельная рубрика включает вопросы делопроизводства.

Для осуществления ежемесячного, недельного и суточного планирования деятельности в рамках судовой СУБ предусматривается использование специальной программы, которая позволяет отслеживать технические и организационные мероприятия и вести документооборот в электронном виде.

Учитывая вышеизложенное, нам представляется, что оснащение судов подобными системами с возможностью получения разнородной информации в реальном времени от спутниковых навигационных и других систем с одновременным использованием математических моделей для оценки эффективности действий носителя позволит осуществлять управление безопасной эксплуатацией судна и предотвращение загрязнения окружающей среды самым эффективным образом. По предварительным оценкам производительность работы судоводителя может вырасти на порядок и более. При этом резко повышается обоснованность принятых им решений и отпадает необходимость в выполнении ру-

тинной работы по ручному оформлению карт, составлению пояснительных записок, ведению документов и переписки.

Созданные предпосылки позволяют перейти к разработке качественно новых технических средств навигации и способов их использования.

34.3 Интегрированные навигационные системы

В настоящее время в мировой практике судовождения все большее распространение получают интегрированные навигационные системы, основанные на комплексном использовании разнородных данных. Это связано со стремлением получения максимальной эффективности от имеющихся средств навигации путем автоматизации их управлением, оптимизации процессов комплексной обработки навигационной информации, сокращения числа обслуживающего персонала. Внедрение ГНСС второго поколения (GPS + ГЛОНАСС) открыло новые возможности в этой области. Наиболее перспективным направлением считается интеграция инерциальных и спутниковых данных.

На судах устанавливаются так называемые бесплатформенные инерциальные навигационные системы (ИНС), специфика которых состоит в том, что блок чувствительных элементов (акселерометры и гироскопические датчики, измеряющие кажущиеся ускорения и угловые скорости) жестко связан с корпусом, а все необходимые преобразования осуществляются посредством вычислителя. Отсутствие гиростабилизированной платформы, на которой размещаются чувствительные элементы, приводит к существенному упрощению конструкции навигационной системы и снижению ее стоимости, что обусловило большое их распространение.

Достоинства и недостатки ИНС и ГНСС приведены в табл. 34.4.

Совместное использование данных ИНС и ГНСС в интегрированных системах позволяет сохранить достоинства и снизить недостатки каждой из них. ИНС в этом случае служит в качестве интерполятора, корректируемого по данным ГНСС при наличии сигналов от НКА и вырабатывающего навигационные параметры при их отсутствии. При наличии сигналов от спутников продолжительность времени интерполяции совпадает с интервалом поступления навигационной информации от ГНСС, а при пропадании — совпадает со временем их отсутствия. Так как эти интервалы времени незначительны (единицы минут), то в интегрированной системе могут быть использованы менее точные и, следовательно, менее

Таблица 34.4. Сравнительный анализ свойств ИНС и ГНСС

Системы	Достоинства	Недостатки
ИНС	Автономность. Высокий темп выдачи координат и углов ориентации. Возможность выработки динамических параметров. Аппаратурное дублирование.	Накопление погрешностей. Проблема начальной выставки и калибровки. Проблема определения курса у полюса. Зависимость точности от гравитационных аномалий.
ГНСС	Нет накапливающихся погрешностей. Нет зависимости от гравитационных аномалий. Малое время готовности. Нет зависимости от широты. Возможность измерения времени.	Низкая помехозащищенность. Возможность потери сигналов (затенение). Проблема целостности. Начальная неоднозначность фазовых измерений. Возможность потери целого числа периодов.

дорогие чувствительные элементы. При наличии сигналов от НКА легко решается проблема выставки ИНС и происходит непрерывная калибровка чувствительного элемента, в том числе и в период маневрирования судна. Кроме того, используя внешнюю информацию о параметрах движения судна в НАП удастся снизить полосу ее пропускания, что снижает шумы приемника и повышает точность спутниковых измерений. Наличие этой же информации существенно сокращает время, необходимое для восстановления приема спутниковых сигналов после их пропадания. Использование данных от ИНС облегчает решение проблемы целостности, а также решение задачи исключения неоднозначности и восстановления потерянного числа периодов при работе с фазовым каналом.

34.4 Интегрированная система ходового мостика

Идея интеграции систем управления, контроля, радиотехнического и навигационного оборудования судов появилась в середине 60-х годов прошлого века. Ее появление было обусловлено возникшими противоречиями: с одной стороны — поступлением в эксплуатацию большого числа новых технических средств судовождения, с другой — наметившейся тенденцией по сокращению обслуживающего их персонала на фоне возросших скоростей судов и интенсивности морских перевозок, а также появления судов, перевозящих особо опасные грузы. Разрешение этого противоречия в условиях нарастающего дефицита времени на принятие

правильного решения стало возможным за счет внедрения процессов автоматизации судовождения и интеграции множества пультов управления техническими средствами в единый пульт.

Первые попытки интеграции были предприняты на боевых кораблях по принципу размещения на одном пульте дистанционного управления и сигнализации различных систем (навигации, связи, общекорабельных и т. д.). Однотипные технические средства управлялись посредством их коммутации.

Такой подход имел существенный недостаток — низкую модернизационную способность. При замене даже одного централизованно управляемого технического средства на однотипное новое, требовалась значительная доработка всего интегрированного пульта.

С середины 70-х годов начались работы по созданию интегрированных пультов управления на базе вычислительной техники, основные особенности которых заключались в следующем:

- обмен информацией (сигналами управления и данными) между пультом и техническими средствами осуществлялся по единому интерфейсу;
- управление каждым техническим средством осуществлялось с одного рабочего места;
- при подключении к пульту новых технических средств взамен старых аналогичного предназначения доработке подлежало только программное обеспечение.

Реализация всех достижений в этой области была осуществлена в начале 80-х годов в морской системе автоматизации процессов судовождения “Бирюза”. В ней обеспечивалось решение основных задач навигации и управления движением судна, включая числение и прокладку пути; определение географических и маршрутных координат по данным радионавигационных систем, радиолокационных и астрономических измерений; определение элементов движения целей; оценку опасности сближения судов и выработку рекомендаций по безопасному расхождению; регистрацию навигационной информации. В системе также обеспечивался режим автоматизированных расчетов планирования и контроля грузовых операций, расчет прочностных и иных характеристик судна для различных вариантов плавания.

В 90-е годы окончательно оформилась концепция изготовления всего комплекса связного, навигационного оборудования и технических средств управления судном от одного поставщика в едином дизайнерском исполнении. Производители электронных карт и систем автоматической радиолокационной прокладки к этому

времени уже перешли на обработку, решение и выдачу информации на основе компьютерных технологий и оказались готовы к распространению своих локальных сетей на весь ходовой мостик.

Необходимость интеграции технических средств в целях повышения безопасности судовождения юридически оформлена в ряде регламентирующих документов:

- новой редакции главы V Конвенции СОЛАС-74/88;
- циркулярном письме Комитета по безопасности на море ИМО MSC/Circ. 982 “Руководство по эргономическим критериям оборудования мостика и его расположению”;
- требования сертификационных обществ, например, “German Lloyd” и “Det Norske Veritas” к оборудованию мостика на судах под классификацию “Один человек на мостике”;
- Правилах по оборудованию морских судов Российского морского Регистра судоходства (Общие требования к ходовому мостику судов, управляемых одним человеком);
- Кодексу к безопасности высокоскоростных судов.

Таким образом, к 2002 г. в мировом морском сообществе сложилась полная готовность перехода к интегрированным мостиковым системам на судах гражданской постройки.

Создание интегрированной мостиковой системы позволяет не только успешно реализовать функции, которые ранее выполнялись с помощью набора отдельных технических средств, но и обеспечить более оперативное и оптимальное решение “пограничных” задач на стыке нескольких, ранее разделенных (а часто и разнесенных по расположению) систем.

К органам управления, контроля и приборам индикации интегрированной мостиковой системы относятся органы и приборы, предназначенные:

- для изменения хода судна (органы дистанционного управления главными двигателями, тахометры гребного винта, указатели положения лопастей и др.);
- для передачи и регистрации команд об изменении хода судна электромеханическими средствами (машинные телеграфы, реверсографы и др.);
- для наблюдения за окружающей обстановкой в районе плавания (индикаторы РЛС, указатели глубин, гидролокаторы, индикаторы длины вытравленной якорной цепи и др.);
- для индикации величин, относящихся к элементам движения судна (указатели курса, скорости, пройденного расстояния, положения пера руля, скорости поворота, осадки и др.);

- для ведения радиосвязи по УКВ (органы дистанционного управления и переговорные устройства);
- для внешней звуковой и световой сигнализации (органы ручного управления свистками, программные устройства автоматической подачи звуковых и световых сигналов, органы дистанционного управления электромегафонами, ключи проблесковых ламп и лампы дневной сигнализации, коммутаторы сигнально-отличительных фонарей и др.);
- для внутренней связи и звуковой сигнализации (телефоны парной связи, коммутаторы служебной телефонной связи, телефоны судовой АТС, коммутаторы командной громкоговорящей связи и трансляции, замыкатели авральной сигнализации и др.);
- для обеспечения живучести судна и для других ответственных операций (закрытие водонепроницаемых и противопожарных дверей, пуск систем пожаротушения, управление якорным устройством, вентиляцией жилых и служебных помещений и трюмов, подруливающим устройством, активным рулем и т. д.);
- для звуковой и световой сигнализации о неисправностях и исполнительной сигнализации о выполнении заданных команд (обобщенная и индивидуальная сигнализация о неисправностях ответственных механизмов, систем и устройств, сигнализация о достижении предельно допустимых значений отдельных параметров, например, температуры, давления, частоты вращения, глубин и т. п.);
- для автоматизированного и автоматического управления судном и для решения задач по расхождению и предупреждению столкновений судов.

Интегрированная навигационная система должна объединять отдельные навигационные приборы и устройства для непрерывного контроля за навигационной обстановкой и обеспечения соответствующих сигнализаций.

Интегрированные навигационные системы, в зависимости от объема выполняемых функций, подразделяются на три категории (А, Б, В):

А — системы, обеспечивающие обработку и отображение информации о курсе, скорости и координатах судна, а также о текущем времени;

Б — системы, обеспечивающие автоматическую обработку и отображение информации о курсе, скорости, текущих координатах судна, а также о глубине с формированием предупредительно-

го сигнала об известных по запланированному маршруту и обнаруженных опасностях;

В — системы, обеспечивающие, в дополнение к функциям категории Б, автоматическое управление судном по курсу, траектории или скорости, и осуществляющие контроль за параметрами управления.

Управление интегрированной навигационной системой должно осуществляться с единого пульта управления, включающего в себя органы управления системой, средства отображения информации и сигнализации.

Список литературы

1. Баранов Ю.К., Гаврюк М.И., Логиновский В.А., Песков Ю.А. Навигация. Учебник для вузов — 3-е издание, переработанное и дополненное. — СПб.: Издательство “Лань”, 1997. — 512 с.
2. Земляновский Д.К. Лоция внутренних водных путей. Учебное пособие для вузов. — М.: Транспорт, 1982. — 216 с.
3. Наставление по штурманской службе на судах Минречфлота РСФСР (НШС-86). — Л.: Транспорт. Ленингр. отд-ние, 1987. — 144 с.
4. Правила плавания по внутренним водным путям. — М.: Рконсульт, 2003. — 80 с.
5. Практическое кораблевождение / Под ред. А.П.Михайловского. Кн. 1. Л.: ГУНиО МО, 1988. — 896 с.
6. Рекомендации по организации штурманской службы на судах (РШС-89). — СПб.: ЗАО ЦНИИМФ, 1999. — 152 с.
7. Удачин В.С., Шереметьев Ю.Н. Навигационные знаки и огни, судовая сигнализация: Справ. пособие. — М.: Транспорт, 1988. — 255 с.
8. Мореходные таблицы (МТ-2000). № 9011. — СПб.: ГУНиО МО РФ, 2002. — 576 с.

Введение	3
Раздел 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ НАВИГАЦИИ	5
Глава 1. Ориентирование наблюдателя на земной поверхности	5
1.1. Форма Земли и ее модели	5
1.2. Основные точки, линии и плоскости на поверхности Земли	9
1.3. Основные линии и плоскости наблюдателя	10
1.4. Географические координаты. Разность широт, разность долгот	11
1.5. Сечения земного эллипсоида. Длина одной минуты меридиана и параллели	14
1.6. Преобразование координат	17
1.7. Ортодромия	18
1.8. Локсодромия	21
1.9. Ортодромическая поправка	24
Глава 2. Определение направлений в море	25
2.1. Системы деления горизонта	25
2.2. Истинные направления	28
2.3. Принципы измерения направлений	30
2.4. Компасные направления. Поправка компаса	31
2.5. Способы определения поправки компаса	33
2.6. Земной магнетизм. Магнитные направления	35
2.7. Компасные направления по магнитному компасу	38
Глава 3. Определение расстояния, пройденного судном	42
3.1. Единицы длины и скорости в судоководении	42

3.2. Принципы измерения скорости и пройденного судном расстояния	44
3.3. Определение пройденного судном расстояния по относительному лагу	47
Раздел 2. КАРТОГРАФИЯ	49
Глава 4. Основы теории картографических проекций	49
4.1. Картографическая проекция	49
4.2. Масштаб	50
4.3. Характеристика искажений проекции	53
4.4. Классификация картографических проекций	55
Глава 5. Нормальная равноугольная проекция Меркатора	60
5.1. Общие формулы цилиндрических проекций	60
5.2. Принцип построения меркаторской проекции	62
5.3. Уравнения проекции и их анализ	64
5.4. Изменение масштаба. Полоса широт практически постоянного масштаба	68
5.5. Единица карты	71
5.6. Меридиональные части	72
5.7. Меркаторская миля	73
5.8. Главная параллель карты	73
5.9. Расчет и построение картографической сетки меркаторской проекции	75
Глава 6. Равноугольная поперечная цилиндрическая проекция Гаусса	79
6.1. Сферические и плоские прямоугольные координаты	79
6.2. Принцип построения картографической сетки. Уравнения проекции	81
6.3. Определение направлений и расстояний на карте в проекции Гаусса	86
Глава 7. Перспективные азимутальные проекции	90
7.1. Общая теория перспективных проекций	90
7.2. Решение основных задач на картах в гномонической проекции	95
7.3. Плавание по дуге большого круга	98

Раздел 3. ОСНОВЫ МОРСКОЙ И РЕЧНОЙ ЛОЦИИ	103
Глава 8. Навигационное оборудование морей	103
8.1. Навигационные опасности	103
8.2. Принципы навигационного оборудования	104
8.3. Характеристики и классификация средств навигационного оборудования	106
8.4. Зрительные средства навигационного оборудования	107
8.5. Звукосигнальные системы	122
8.6. Дальность видимости предметов в море	125
Глава 9. Морские карты	132
9.1. Требования к морским картам	132
9.2. Общая характеристика морских изданий	135
9.3. Содержание морской навигационной карты	136
9.4. Классификация морских карт	141
9.5. Система адмиралтейских номеров морских карт	152
9.6. Степень доверия к морской навигационной карте	155
9.7. Классификация руководств и пособий для плавания	157
9.8. Система адмиралтейских номеров руководств и пособий для плавания	163
Глава 10. Основные понятия о лоции внутренних водных путей	164
Глава 11. Навигационное оборудование внутренних водных путей	167
11.1. Назначение и виды навигационного оборудования	167
11.2. Береговые навигационные знаки обозначения положения судового хода	168
11.3. Береговые информационные знаки	172
11.4. Плавающие навигационные знаки	174
Глава 12. Навигационные пособия внутренних водных путей	176
12.1. Карты и атласы	176
12.2. Руководства и справочные пособия для плавания	178
Глава 13. Навигационная информация	179
13.1. Необходимость получения в море печатной и оперативной информации	179
13.2. Навигационная информация, распространяемая в виде изданий	180

13.3. Оперативная навигационная и гидрометеорологическая информация	184
Глава 14. Корректурa морских навигационных карт и пособий	191
14.1. Основные принципы корректуры навигационных карт и пособий	191
14.2. Организация корректуры карт на судах	192
14.3. Корректурa карт на судах	195
14.4. Корректурa руководств и пособий на судах	197
14.5. Обязанности штурманского состава судов по сбору и передаче навигационной информации	199
Раздел 4. СЧИСЛЕНИЕ ПУТИ СУДНА	203
Глава 15. Графическое счисление пути судна	203
15.1. Назначение, сущность и разновидности счисления	203
15.2. Ручное графическое счисление	205
15.3. Графическое счисление с учетом дрейфа	211
15.4. Графическое счисление с учетом течения	220
15.5. Совместный учет дрейфа и течения	226
15.6. Графическое счисление с учетом суммарного течения	228
15.7. Точность счисления пути судна	233
Глава 16. Аналитическое счисление пути судна	235
16.1. Аналитический способ расчета счислимых координат	235
16.2. Учет дрейфа и течения при аналитическом счислении	240
16.3. Аналитический расчет направления и длины локсодромии	241
Раздел 5. ВИЗУАЛЬНЫЕ СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА СУДНА В МОРЕ	243
Глава 17. Основные понятия и определения	243
17.1. Основные понятия, связанные с определением места судна	243
17.2. Сущность определения места судна по навигационным параметрам	246
17.3. Влияние и учет неодновременности измерения навигационных параметров	249

17.4. Оценка точности обсерваций по двум навигационным изолиниям (линиям положения)	252
17.5. Последовательность действий при обсервации	256
Глава 18. Определение места судна по пеленгам и горизонтальным углам	257
18.1. Определение места судна по пеленгам двух навигационных ориентиров	258
18.2. Определение места судна по пеленгам трех навигационных ориентиров	261
18.3. Определение места судна по двум горизонтальным углам	266
Глава 19. Определение места судна по расстояниям	272
Глава 20. Определение места судна по разновременным линиям положения	281
20.1. Определение места судна по крьюс-пеленгу	284
20.2. Определение места судна по крьюс-расстоянию	287
20.3. Расчет кратчайшего расстояния до ориентира по двум разновременным пеленгам на него	288
Глава 21. Комбинированные способы определения места судна ..	289
21.1. Определение места судна по пеленгу и вертикальному углу	290
21.2. Определение места судна по пеленгу и горизонтальному углу	291
21.3. Определение места судна по горизонтальному и вертикальному углам	294
21.4. Определение места судна по створу и измеренным навигационным параметрам	295
Раздел 6. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ В НАВИГАЦИИ	300
Глава 22. Определение места судна с помощью круговых радиомаяков и разностно-дальномерных радионавигационных систем	300
22.1. Классификация радионавигационных систем	300
22.2. Принципы радиопеленгования. Радиокурсовой угол. Истинный радиопеленг	302

22.3. Определение места судна по РНС "Лоран-С" и "Чайка"	306
Глава 23. Использование судовых радиолокационных станций ...	312
23.1. Назначение и принцип действия судовых навигационных РЛС	312
23.2. Способы определения места судна с помощью РЛС ...	315
23.3. Определение места судна с использованием радиолокационных маяков-ответчиков и отражателей	321
23.4. Средство автоматической радиолокационной прокладки	326
23.5. Особенности использования РЛС при плавании по внутренним водным путям	332
Глава 24. Определение места судна с использованием глобальных навигационных спутниковых систем	335
24.1. Структура глобальных навигационных спутниковых систем	335
24.2. Методы определения места судна с помощью навигационных спутников	340
24.3. Среднеорбитные навигационные спутниковые системы GPS и ГЛОНАСС	344
24.4. Дифференциальная подсистема ГНСС	352
24.5. Точность определения места по среднеорбитной ГНСС	358
Раздел 7. ЭЛЕКТРОННАЯ КАРТОГРАФИЯ	363
Глава 25. Электронные навигационные карты и картографические системы	363
25.1. Международные стандарты и формат электронных картографических систем	363
25.2. Основные определения и сокращения	366
25.3. Картографическая информация, используемая в ЭКНИС	367
25.4. Структура данных в ЭКНИС и используемая информация	370
Глава 26. Функции электронных картографических систем	372
26.1. Отображение ЭК на экране дисплея ЭКНИС	372

26.2. Предварительная и исполнительная прокладки	374
26.3. Сигнализация и индикация в электронных картографических системах	377
26.4. Корректурa электронных навигационных карт	378
26.5. Некоторые рекомендации по практическому использованию ЭКНИС	382
Глава 27. Международные и национальные требования к ЭКНИС	384
<i>Раздел 8. МЕТОДЫ НАВИГАЦИИ В ОСОБЫХ УСЛОВИЯХ ПЛАВАНИЯ</i>	388
Глава 28. Плавание в стесненных водах	388
28.1. Характеристика стесненных вод	388
28.2. Подготовка к плаванию в узкостях	389
28.3. Использование сеток изолиний и ограждающих линий положения	393
28.4. Навигационные особенности плавания в узкостях	398
Глава 29. Плавание в районах регулирования движения судов	400
29.1. Транспортный поток судов	400
29.2. Плавание в системах разделения движения судов	402
29.3. Плавание в районах регулирования движения судов	406
Глава 30. Плавание в условиях ограниченной видимости	410
30.1. Навигационные особенности плавания в условиях ограниченной видимости	410
30.2. Подход к берегу в условиях ограниченной видимости	412
30.3. Выбор морских путей с учетом гидрометеорологических условий	412
Глава 31. Плавание в высоких широтах и во льдах	413
31.1. Навигационные условия плавания в высоких широтах	413
31.2. Навигационные особенности плавания во льдах	416
31.3. Счисление во льдах	417
Глава 32. Требование к точности судовождения	422
32.1. Стандарт точности судовождения Международной морской организации	422

32.2. Требование Международной ассоциации маячных служб	425
32.3. Российские национальные требования к точности судовождения	427
Глава 33. Навигационная подготовка к рейсу судна	428
33.1. Международные требования, регламентирующие подготовку к рейсу	428
33.2. Национальные требования к выполнению предварительной прокладки	429
33.3. Проработка перехода	430
33.4. Анализ навигационной прокладки	437
33.5. Типичные промахи штурманов при решении навигационных задач	439
Глава 34. Перспективы развития средств и методов навигации	441
34.1. Основные направления развития и совершенствования средств навигации	441
34.2. Комплексное использование спутниковых и геоинформационных технологий	449
34.3. Интегрированные навигационные системы	457
34.4. Интегрированная система ходового мостика	458
<i>Список литературы</i>	463

Учебное издание

**Дмитриев Владимир Иванович
Григорян Вагинак Леонидович
Катенин Владимир Александрович**

НАВИГАЦИЯ И ЛОЦИЯ

Редактор *А.С. Яновский*
Художник *А.С. Скорород*
Дизайнер обложки *О.Ю. Ильина*
Дизайнер *Г.Л. Лозинев*
Компьютерный дизайн и верстка *Г.Л. Лозинев*

ИД № 04284 от 15.03.2001.
Подписано в печать 05.07.2004. Формат 60×90/16. Гарнитура NewtonC.
Печать офсетная. Печ. л. 29.5 + цв. вкл. Тираж 2000 экз. Тип. зак. 1177

Международная академическая
издательская компания «Наука/Интерпериодика»
Издательско-книготорговый центр «Академкнига»
117997, Москва, Профсоюзная ул., 90

*По вопросам поставок обращаться
в отдел реализации ИКЦ «Академкнига»
Тел./факс: (095) 334-73-18
e-mail: bookreal@maik.ru, web-site: <http://www.maik.ru>*

Отпечатано в ООО «Внешторгиздат—полиграф»
127576, Москва, ул. Илимская, 7