

Г.Г. Ермолаев, Е.С. Зотеев

**Основы морского
судовождения**

**Издание 5-е, переработанное и
дополненное**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 656
ББК 39.1
Г11

Г11 **Г.Г. Ермолаев**
Основы морского судовождения: Издание 5-е, переработанное и дополненное
/ Г.Г. Ермолаев, Е.С. Зотеев – М.: Книга по Требованию, 2013. – 270 с.

ISBN 978-5-458-49579-0

В учебнике "Основы морского судовождения" изложены основы основ. Книга поделена на 2 части: в первой содержится информация о навигации, во второй - управление морскими путями. В книге излагаются основы дисциплин, составляющих науку судовождения: лоции (морские опасности, их ограждения, карты и руководства для плавания, выбор морского пути и т.п.); навигации (определение пройденного расстояния и направлений в море, счисление пути судна, определения его места в море и т.д.), навигационной гидрометеорологии и морской практики (снабжение судов, управление ими, регламентирующие судоходство документы, организация обеспечения безопасности мореплавания и т.п.). Предназначена в качестве учебника для учащихся эксплуатационных факультетов высших морских учебных заведений; может быть использована как справочное пособие механиками, радистами и другими специалистами транспортного и промыслового флота. Издание содержит 199 иллюстраций, 18 таблиц, 31 библиографическое название.

ISBN 978-5-458-49579-0

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2013

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2013

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

Широта — угол между плоскостью экватора и линией, соединяющей место наблюдателя (точка M) на поверхности Земли с центром O земного шара. Так, широта точки M выражается центральным углом $МОК$, измеряемым дугой меридиана $КМ$. Широта φ измеряется в пределах от 0 до 90° от экватора в сторону географических полюсов и имеет наименование N — *северная* или S — *южная* в зависимости от того, в каком полушарии находится наблюдатель. Таким образом географическая параллель $ММ'M''$ является геометрическим местом точек, имеющих одну и ту же широту. Широта точек, расположенных на экваторе, равна 0 ; широта северного полюса $90^\circ N$; широта южного полюса $90^\circ S$.

Долгота — двугранный угол между плоскостями нулевого (Гринвичского) меридиана и меридиана наблюдателя (точка M). Этот угол λ измеряют меньшей дугой экватора (но не параллели), заключенной между меридианами, от 0 до 180° в обе стороны от гринвичского меридиана. Так, долгота точки M (см. рис. 2) измеряется дугой экватора GK . Долгота λ имеет наименование E — *восточная* или W — *западная* в зависимости от того, в каком полушарии находится наблюдатель. Таким образом, географический меридиан P_NMP , является геометрическим местом точек, имеющих одну и ту же долготу.

Долгота точек, расположенных на Гринвичском меридиане (см. P_NGP_S на рис. 2 или P_NG на рис. 3), равна 0 ; долгота точек, расположенных на меридиане $P_NG'P_S$ (см. рис. 2), равна $180^\circ E$ или $180^\circ W$.

Морские карты крупных масштабов, предназначенные для плавания вблизи берегов, позволяют снимать с них географические координаты точки с точностью до десятых долей минуты дуги. Так, например, Одесский маяк имеет координаты $\varphi = 46^\circ 30,2' N$, $\lambda = 30^\circ 46,3' E$.

§ 2. Разность широт. Разность долгот. Отшествие

Совершая плавание из точки на земной поверхности A (φ_1 , λ_1 — пункт отхода) в точку B (φ_2 , λ_2 — пункт прихода), судно изменяет свою широту и долготу; при этом образуется разность широт и разность долгот (рис. 5).

Разность широт (РШ) — меньшая из дуг любого меридиана, заключенная между параллелями пунктов отхода и прихода (дуга CB на рис. 5), измеряется в пределах от 0 до 180° и имеет наименование к N , если северная широта увеличивается или южная широта уменьшается, и к S , если северная широта уменьшается или южная широта увеличивается. Если северной широте условно приписать знак плюс, а южной — знак минус, то РШ и ее наименование определяются по формуле

$$\text{РШ} = \varphi_2 - \varphi_1. \quad (1)$$

В примерах 1, 2 и 3 для простоты рассуждений пункты отхода и прихода расположены на одном географическом меридиане, т. е.

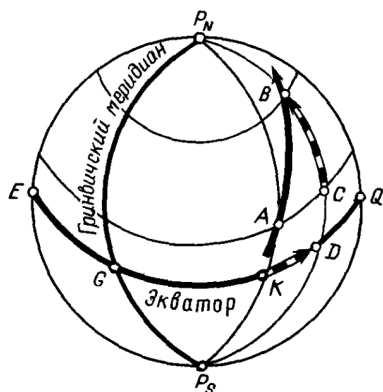


Рис. 5. Разность широт и долгот

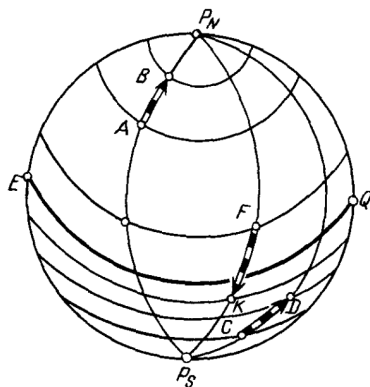


Рис. 6. Разность широт

имеют одну и ту же долготу. На рис. 6 стрелкой показаны направления движения судов и сделанные ими разности широт.

Пример 1

Пункт отхода A: $\varphi_1 = 14^\circ 46,0'N$ по формуле (1)

$$- \varphi_2 = + 57^\circ 18,5'$$

Пункт прихода B: $\varphi_2 = 57^\circ 18,5'N$

$$\varphi_1 = + 14^\circ 46,0'$$

Плавание AB: $РШ = 42^\circ 32,5' \text{ к } N$

$$РШ = + 42^\circ 32,5'$$

Пример 2

Пункт отхода C: $\varphi_1 = 43^\circ 27,8'S$ по формуле (1)

$$- \varphi_2 = - 23^\circ 17,6'$$

Пункт прихода D: $\varphi_2 = 23^\circ 17,6'S$

$$\varphi_1 = - 43^\circ 27,8'$$

Плавание CD: $РШ = 20^\circ 10,2' \text{ к } N$

$$РШ = + 20^\circ 10,2'$$

Пример 3

Пункт отхода F: $\varphi_1 = 25^\circ 49,2'N$ по формуле (1)

$$- \varphi_2 = - 4^\circ 17,5'$$

Пункт прихода K: $\varphi_2 = 4^\circ 17,5'S$

$$\varphi_1 = + 25^\circ 49,2'$$

Плавание FK: $РШ = 30^\circ 06,7' \text{ к } S$

$$РШ = - 30^\circ 06,7'$$

Разность долгот (РД) — меньшая из дуг экватора, заключенная между меридианами пунктов отхода и прихода (дуга KD на рис. 5), измеряется в пределах от 0 до 180° и имеет наименование к Е, если восточная долгота увеличивается или западная долгота уменьшается, и к W, если западная долгота увеличивается или восточная долгота уменьшается. Если восточной долготы условно приписать знак плюс, а западной — минус, то РД и ее наименование определяются по формуле:

$$РД = \lambda_2 - \lambda_1. \quad (2)$$

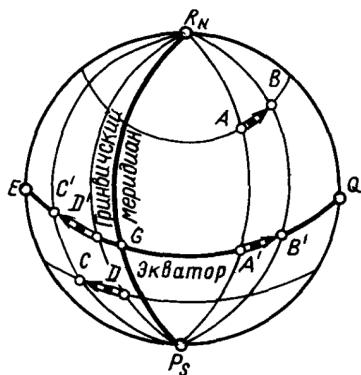


Рис. 7. Разность долгот (на плоскости меридиана)

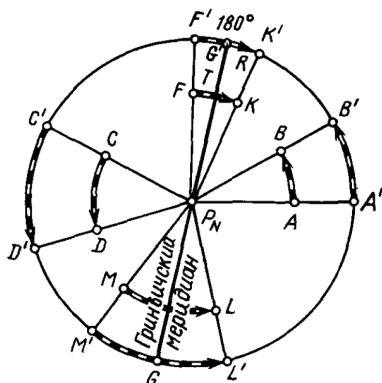


Рис. 8. Разность долгот (на плоскости экватора)

В примерах 4, 5, 6 и 7 для простоты рассуждений пункты отхода и прихода выбраны расположенными на одной географической параллели, т. е. имеющими одну и ту же широту. На рис. 7 и 8 стрелками показаны направления движения судов и сделанные ими разности долгот.

Разность долгот (как и сама долгота) не может быть больше 180° , так как представляет собой меньшую из дуг экватора. Однако при решении задач по формуле (2) величина РД (или долготы) может получиться более 180° . В этом случае полученный результат вычитают из 360° и изменяют наименование РД на обратное (см. пример 7).

Пример 4

Пункт отхода А: $\lambda_1 = 18^\circ 14,7' \text{ E}$ по формуле (2)

$$\lambda_2 = +42^\circ 56,8'$$

Пункт прихода В: $\lambda_2 = 42^\circ 46,8' \text{ E}$

$$\lambda_1 = +18^\circ 14,7'$$

Плавание АВ: РД = $A'B' = 24^\circ 42,1' \text{ к E}$

$$\text{РД} = +24^\circ 42,1'$$

Пример 5

Пункт отхода С: $\lambda_1 = 117^\circ 20,5' \text{ W}$ по формуле (2)

$$\lambda_2 = -93^\circ 17,4'$$

Пункт прихода D: $\lambda_2 = 93^\circ 17,4' \text{ W}$

$$\lambda_1 = -17^\circ 20,5'$$

Плавание CD: РД = $C'D' = 24^\circ 03,1' \text{ к E}$

$$\text{РД} = +24^\circ 03,1'$$

Пример 6

Пункт отхода М: $\lambda_1 = 42^\circ 11,8' \text{ W}$ по формуле (2)

$$\lambda_2 = +23^\circ 16,7'$$

Пункт прихода L: $\lambda_2 = 23^\circ 16,7' \text{ E}$

$$\lambda_1 = -42^\circ 11,8'$$

Плавание ML: РД = $M'L' = 65^\circ 28,5' \text{ к E}$

$$\text{РД} = +65^\circ 28,5'$$

Пример 7

Пункт отхода F : $\lambda_1 = 173^\circ 46,2' \text{ W}$ по формуле (2)	$\lambda_2 = +167^\circ 03,1'$
Пункт прихода K : $\lambda_2 = 167^\circ 03,1' \text{ E}$	$\lambda_1 = -173^\circ 46,2'$
Плавание до 180° FT : $РД = F'R = 6^\circ 13,8' \text{ к W}$	$РД = +340^\circ 49,3'$ т. е.
Плавание после 180° TK : $РД = RK' = 12^\circ 56,9' \text{ к W}$	$РД = -19^\circ 10,7'$
Плавание FK : $РД = F'K' = 19^\circ 10,7' \text{ к W}$.	

Непосредственно из рис. 7 видно, что $(AB)^\circ = (A'B')^\circ$, но длины этих дуг не равны, т. е. $\cup AB \neq \cup A'B'$. Таким образом, длина окружности географической параллели в широте φ короче длины экватора, так как радиус r такой параллели меньше радиуса R экватора, связанных соотношением:

$$R = r \sec \varphi. \quad (3)$$

Поэтому $\cup A'B' = \cup AB \sec \varphi$ или

$$РД = \text{ОТШ} \sec \varphi, \quad (4)$$

где ОТШ — *отстояние* — длина дуги параллели (но не экватора) в широте φ , заключенная между меридианами пунктов отхода и прихода.

§ 3. Меры длины и скорости на море. Определение пройденного расстояния

Длина дуги географической параллели изменяется с изменением широты наблюдателя и не может быть принята за меру длины. В то же время длина дуги в $1'$ меридиана наблюдателя на поверхности земного шара является величиной постоянной во всех его точках. Поэтому за единицу измерения расстояний на море принимается длина дуги меридиана земного шара в $1'$. Такую единицу, равную 1852 м, называют *морской милей*. Кроме морской мили, а также метра и дециметра, для измерения расстояний на море приняты следующие единицы длины: *кабельтов* — 185,2 м (607 футов); *морская сажень* — 1,83 м (6 футов); *ярд* — 0,914 м (3 фута); *дюйм* — 0,0254 м (0,0833 фута).

При решении вопросов повышенной точности следует помнить, что Земля не шар, а сфероид. Длина дуги в $1'$ эллиптического меридиана такого сфероиды — величина переменная; на экваторе, например, она равна 1842,9 м, а на полюсе — 1861,6 м. Стандартная единица длины на море — морская миля — соответствует длине дуги в $1'$ эллиптического меридиана на широте примерно 44° N и, как было отмечено выше, равна 1852 м; ошибкой ± 10 м на практике пренебрегают.

Скорость морского судна измеряют *узлами*, т. е. числом морских миль, которое оно проходит за 1 ч. Так, например, скорость судна в 20 уз соответствует его скорости 20 миль/ч. При плавании по внутренним водным путям часто применяют метрические единицы

измерения расстояния и скорости Перевод морских миль в километры и обратно осуществляется по формулам:

$$\left. \begin{aligned} S_{\text{км}} &= 1,852 S_{\text{миль}}, \\ S_{\text{миль}} &= 0,54 S_{\text{км}} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

По аналогичным формулам делают перевод узлов в километры в час, в метры в секунду и обратно:

$$\left. \begin{aligned} V_{\text{км/ч}} &= 1,852 V_{\text{уз}}, & V_{\text{уз}} &= 0,54 V_{\text{км/ч}}, \\ V_{\text{м/с}} &= 0,5145 V_{\text{уз}}, & V_{\text{уз}} &= 1,943 V_{\text{м/с}} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

В Мореходных таблицах (далее — МТ) помещают сравнительные таблицы длин и скоростей, облегчающие указанные переводы.

Скорость судна и пройденное расстояние определяют в море с помощью специальных приборов, называемых *лагами*, которые измеряют указанные параметры либо относительно неподвижного грунта (абсолютные лаги), либо относительно подвижной массы воды (относительные лаги). Из относительных лагов в настоящее время на судах морского флота применяются индукционные, гидродинамические и радиодоплеровские лаги.

Вне зависимости от вида и конструкции лага все они дают показания, отягощенные погрешностью, значительную долю которой составляет ее систематическая инструментальная часть. Величина такой погрешности, взятая с обратным знаком, называется *поправкой лага*. На практике под поправкой лага подразумевают относительную величину, выраженную в процентах следующим выражением:

$$\Delta л = (S - \text{рол}) 100 / \text{рол}, \quad (7)$$

где $\Delta л$ — поправка лага к пройденному расстоянию, %,

S — истинное расстояние, пройденное судном,

$\text{рол} = ол_2 - ол_1$ — разность отсчетов по счетчику пройденного расстояния, со ответствующего действительно пройденному расстоянию S

Из формулы (7) можно определить истинное расстояние

$$S = \text{рол} + \text{рол} \Delta л / 100 \quad (8)$$

Вместо поправки лага $\Delta л\%$ иногда употребляют *коэффициент лага*:

$$K_l = S / \text{рол} = 1 + \Delta л / 100, \quad (9)$$

используя который получают

$$S = \text{рол} K_l \quad (10)$$

Пример 8. Пользуясь лагом, поправка которого $\Delta л\% = +5,0\%$, в $21^{\circ}30'$ отметили $ол_1 = 37,5$, а в $23^{\circ}20'$ — $ол_2 = 64,8$ Определить пройденное расстояние и коэффициент лага

Решение

$$S = \text{рол} + \frac{\text{рол}}{100} \Delta л\% = (64,8 - 37,5) + \frac{(64,8 - 37,5)}{100} + 5,0 = 28,7 \text{ мили}$$

$$K_l = \frac{S}{\text{рол}} = \frac{28,7}{(64,8 - 37,5)} = 1,05$$

Для контроля рассчитаем плавание S по данным настоящего примера и по рассчитанному K_L , т.е.

$$S = K_L(ол_2 - ол_1) = 1,05 (64,4 - 37,5) = 28,7 \text{ мили}$$

На практике подобная задача решается с помощью специальной таблицы, помещенной в МТ. Прямой входом в такие таблицы для определения пройденного расстояния при положительных поправках лага (для отрицательных поправок лага имеется подобная таблица) получаем

$$\begin{array}{r} \text{на рол} = 27,0 - S = 28,4 \\ + \quad \text{на рол} = 00,3 - S = 0,3 \\ \hline \text{на рол} = 27,3 - S = 28,7 \text{ мили} \end{array}$$

Пример 9 Расстояние, снятое с карты между двумя обследованными (точно определенными) пунктами, равно 42,5 мили. Отсчеты лага в моменты первой и второй обсерваций соответственно $ол_1 = 22,6$ и $ол_2 = 66,3$. Рассчитать соответствующие $\Delta л\%$ и K_L .

Решение

$$\Delta л\% = \frac{S - \text{рол}}{\text{рол}} 100 = \frac{42,5 (66,3 - 22,6)}{(66,3 - 22,6)} = -2,7\%.$$

$$K_L = \frac{S}{\text{рол}} = \frac{42,5}{(66,3 - 22,6)} = 0,97$$

Поправку лага определяют на специально оборудованном водном полигоне, называемом *мерной линией*, которая представляет собой свободный от навигационных опасностей, защищенный от ветров и волнения водный полигон с достаточной глубиной, предназначенный для скоростных испытаний судов. Такой полигон обязательно оборудуют ведущим и рядом секущих створов (рис. 9), отбивающих на линии ведущего створа точно измеренные расстояния не менее 1 мили каждое. Для исключения возможного (иногда случайного) течения поправку лага определяют дважды — на взаимно противоположных пробегах по линии ведущего створа, тогда среднее арифметическое из двух таких значений поправки лага будет свободно от влияния течения.

Замечено, что поправка лага на одном и том же судне имеет различные значения при различных скоростях судна. Поэтому на мерной линии определяют поправку минимум для трех скоростей

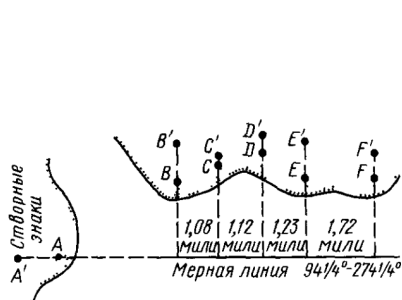


Рис 9 Мерная линия

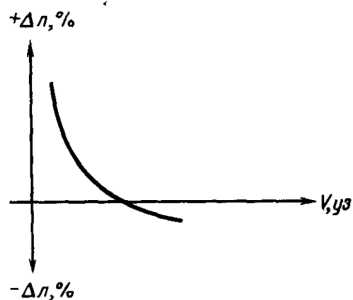


Рис 10 Зависимость поправки лага от скорости

хода — полного, среднего и малого, строят по таким результатам кривую в прямоугольных координатах (рис. 10), с которой в готовом виде получают значение поправки лага для любой скорости судна (интерполированием).

§ 4. Системы деления горизонта.

Истинные курсы и пеленги. Указатели направлений

Линии NS и WE занимают вполне определенное положение в любой точке земной поверхности (кроме полюсов). Направления N, E, S и W называют главными направлениями, или *главными румбами*. Главные румбы делят истинный горизонт на четыре четверти: NE — северо-восточная; NW — северо-западная; SE — юго-восточная; SW — юго-западная.

В эпоху парусного флота каждая четверть горизонта разбивалась на восемь основных направлений — румбов, а весь горизонт наблюдателя, таким образом, — на 32 румба (рис. 11). Эта система сохранилась и до сих пор под названием *румбовой*. С развитием точности судовождения каждая четверть горизонта была разбита на 90 направлений, а весь горизонт — на 360 направлений, получивших название *градусы*; градусом же называют и угол, стягивающий дугу, равную $1/360$ доли полной окружности.

Вначале главные румбы N и S были отмечены как 0, а румбы W и E — как 90° . Наименование же четвертей и принцип счета направлений оставались прежними: от точек N и S, как от начала отсчета (0) в стороны W и E до 90° (см. среднюю шкалу на рис. 11). Таким образом, заданное направление указывалось наименованием четверти и числом градусов (позднее и их долей), например, NE 35° , NW 74° , SE 55° , SW $47,5^\circ$ и т. д. Эта система разбивки называется *четвертной*. Определенное применение в судовождении имеет полу-

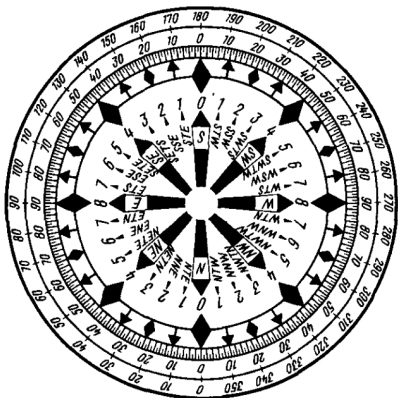


Рис. 11. Системы деления истинного горизонта наблюдателя

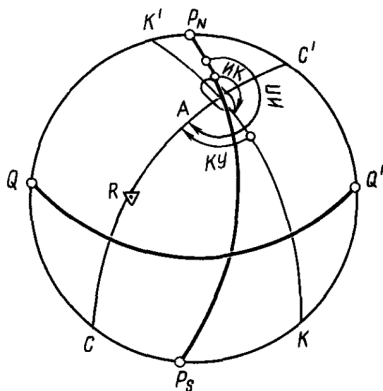


Рис. 12. Истинный курс. Истинный пеленг. Курсовой угол

Таблица 1

Система разбивки			
круговая	четвертная	полукруговая	
35°	NE 35°	N 35° E	или S 145° E
286	NW 74	N 74 W	или S 106 W
125	SE 55	S 55 E	или N 125 E
227,5	SW 47,5	S 47,5 W	или N 132,5 W

круговая система деления горизонта: в ней счет направлений осуществляется от главных румбов N и S как от начала отсчета (0), в сторону востока и запада до 180° (на рис. 11 не показана).

Картушки современных компасов разделены на 360° по круговой системе счета без различия четвертей. В этой системе (внешняя шкала на рис. 11) главные румбы отмечаются так: N — 0 (или 360°), E — 90°, S — 180°, W — 270°.

Так как 360° эквивалентны 32 румбам, под термином «румб» подразумевают угол, равный $11 \frac{1^\circ}{4} = \frac{360^\circ}{32}$.

Круговая система счета проще и нагляднее. Однако решение многих задач по судовождению вынуждает судоводителей пользоваться другими системами счета направлений и осуществлять перевод направлений, данных в одной системе счета, в направления по другой системе. В качестве иллюстрации сказанного приведены образцы перевода направлений (табл. 1).

Вертикальная плоскость, проходящая через диаметральною плоскость (ДП) судна, пересекает земную поверхность по дуге большого круга KK' (рис. 12). Сферический угол P_NAK , измеряемый двугранным углом между плоскостью истинного меридиана P_NP_S и ДП плоскостью KK' , называют *истинным курсом (ИК)*.

Вертикальная плоскость, проходящая через наблюдаемый предмет R и место наблюдателя A , в пересечении с поверхностью Земли также образует дугу большого круга CC' . Сферический угол P_NAR , измеряемый двугранным углом между плоскостью истинного меридиана P_NP_S и вертикальной плоскостью CC' , проходящей через место наблюдателя A и предмет R , называют *истинным пеленгом ИП* данного предмета R .

На плоскости истинного горизонта (рис. 13) истинный курс и истинный пеленг будут плоскими углами: $ИК = \angle NAK$ и $ИП = \angle NAR$.

Истинный курс и истинный пеленг отсчитывают от нордовой части истинного меридиана по направлению часовой стрелки от 0 до 360°. На рис. 13 видно, что $ИП = ИК + КУ$, где $КУ$ — *курсовой угол* между ДП судна и направлением на предмет. Счет курсовых углов производится от носовой части ДП судна по часовой стрелке от 0 до 360°. Однако чаще применяют *полукруговой* счет курсовых углов от 0 до 180° от носовой части ДП судна в сторону борта, по которому расположен предмет.

§ 5. Гироскопические компасы. Гироскопические курсы и пеленги

В соответствии с Международной Конвенцией по охране человеческой жизни на море все морские суда валовой вместимостью 500 рег. т и более должны быть оборудованы гирокомпасом, определяющим направление ДП судна по отношению к географическому (истинному) меридиану.

Принцип действия гирокомпаса основан на свойствах гироскопа (рис. 14) сохранять направление в пространстве при отсутствии внешних сил и изменять это направление (прецессировать) под воздействием внешних сил. На самом деле, если имеется свободный гироскоп с тремя степенями свободы, ротор которого приведен в быстрое вращение, тогда при нажатии на одно из колец подвеса гироскопа с попыткой развернуть его, например, вокруг оси OY (рис. 15) главная ось гироскопа OX начнет разворачиваться вокруг оси OZ (вправо или влево в зависимости от направления вращения ротора). Если же нажать на вертикальное кольцо, пытаясь развернуть гироскоп вокруг оси OZ , тогда главная ось гироскопа OX начнет разворачиваться вокруг оси OY . Такое явление носит название *прецессии*.

Свободный гироскоп не может быть использован в качестве курсоуказателя, так как главная его ось, сохраняя неизменным свое направление в пространстве, совершает колебания относительно плоскости меридиана, которая, будучи связанной с вращающейся Землей, постоянно меняет свою ориентацию в пространстве. Для превращения свободного гироскопа в гирокомпас необходимо создать особое усилие, которое постоянно приводило бы главную ось гироскопа в истинный меридиан и удерживало бы ее в этом положении. По способу превращения гироскопа в гирокомпас различают маятни-

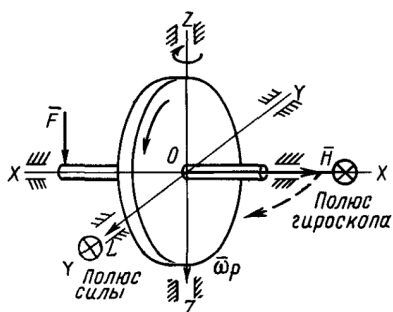
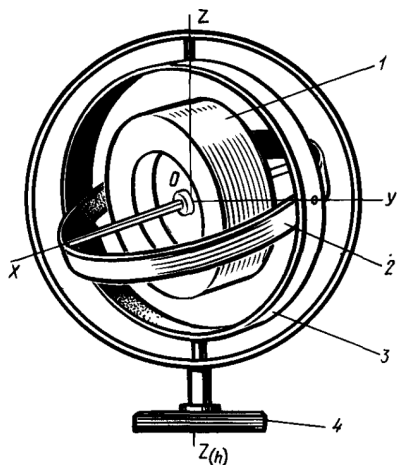


Рис. 15. Действие внешней силы на вращающийся гироскоп

Рис. 14 Гироскоп в кардановом подвесе:

1 — ротор, 2 — внутреннее кольцо, 3 — вертикальное кольцо, 4 — основание