

Составитель: Е. П. Леонтьев

Школа яхтенного капитана

1983

Оглавление

Часть I. Основы теории и устройство крейсерских яхт	1
1. Элементы теории парусной яхты	2
1.1. Требования, предъявляемые к парусной яхте	2
1.2. Характеристики формы корпуса яхты	2
1.3. Плавучесть, осадка и дифферент	7
1.4. Непотопляемость	9
1.5. Силы, действующие на корпус и паруса яхты	10
1.6. Остойчивость	12
1.7. Сопротивление дрейфу	18
1.8. Управляемость	24
1.9. Ходкость	29
2. Прикладная аэродинамика паруса	39
2.1. Работа паруса	39
2.2. Особенности работы паруса как крыла	41
2.3. Форма паруса и контроль за нею	48
2.4. Взаимодействие парусов	52
2.5. Лобовое сопротивление яхты	55
2.6. Ходовые качества яхты на различных курсах	57
3. Некоторые особенности конструкции крейсерско-гоночных яхт	60
3.1. Классификация и основные требования, предъявляемые к крейсерско-гоночным яхтам .	60
3.2. Общее расположение и конструкция корпуса	63
3.3. Устройства, системы и снабжение крейсерско-гоночных яхт	70
3.4. Парусное вооружение	76
4. Правила обмера крейсерско-гоночных яхт	88
Часть II. Яхтенное судовождение	89
5. Лоция	91
5.1. Терминология морской лоции	91
5.2. Ограждение морских опасностей	94
5.3. Сигнальные и другие станции	99
5.4. Морские карты	101
5.5. Навигационные пособия	103
6. Практическая навигация	105
6.1. Форма и размеры Земли. Географические координаты	105
6.2. Единицы длины и скорости в судовождении	108
6.3. Основные линии и плоскости наблюдателя. Видимый горизонт наблюдателя и его дальность. Дальность видимости предметов и огней	108
6.4. Системы деления горизонта	111
6.5. Истинные курсы и пеленги. Курсовой угол	112

6.6. Земной магнетизм. Магнитное склонение. Магнитные курсы и пеленги	113
6.7. Девиация магнитного компаса. Компасные курсы и пеленги	116
6.8. Определение остаточной девиации магнитного компаса. Таблица девиации	118
6.9. Поправка магнитного компаса. Исправление и перевод курсов и пеленгов	119
6.10. Общие сведения о картографических проекциях	121
6.11. Классификация морских карт по назначению. Содержание морских навигационных карт	123
6.12. Графические задачи, решаемые на морских картах	125
6.13. Графическое счисление пути судна	126
6.14. Ведение счисления при плавании без дрейфа и течения	126
6.15. Дрейф судна	128
6.16. Учет дрейфа при счислении	129
6.17. Морские течения	130
6.18. Счисление при плавании на течении	131
6.19. Счисление при совместном учете дрейфа и течения	132
6.20. Оценки точности счисления	132
6.21. Определение места судна в море визуальными методами	133
6.22. Определение места судна по пеленгам двух ориентиров	134
6.23. Определение места судна по пеленгам трех ориентиров	135
6.24. Определение места судна по двум горизонтальным углам	136
6.25. Определение места судна по пеленгу и горизонтальному углу	137
6.26. Определение места судна по крюйс-пеленгу	138
6.27. Определение места судна по пеленгу и расстоянию	139
6.28. Опознание места судна по пеленгу в момент открытия ориентира, по пеленгу и глубине	141
6.29. Проработка перехода. Подбор карт, руководств и пособий для плавания	142
6.30. Изучение района плавания, выбор пути и предварительная прокладка	143
6.31. Плавание при ограниченной видимости и в стесненных условиях	144
6.32. Судовой журнал и его ведение	145
6.33. Если яхта на переходе лишилась приборов	148
6.34. Штурманское снабжение крейсерских яхт	153
6.35. Магнитный компас, его устройство и установка на яхте	153
6.36. Пеленгаторы	155
6.37. Измерение скорости и пройденного расстояния	156
6.38. Приборы для измерения глубины	157
6.39. Спутниковые системы навигации (GPS)	158
6.40. Задачи, решаемые при помощи GPS	160
7. Морская астронавигация	164
7.1. Небесные ориентиры, их координаты и видимые движения	164
7.2. Ориентирование во времени	173
8. Гидрометеорология на яхте	184
8.1. Атмосферное давление	184
8.2. Температура воздуха	187
8.3. Влажность воздуха, облачность, осадки	188
8.4. Ветер. Общая циркуляция атмосферы	192

Список иллюстраций

1.1.	Главные размерения яхты	3
1.2.	Теоретический чертеж яхты «Симфония» (конструктор Филипп Брайан, Франция)	5
1.3.	Коэффициенты полноты	6
1.4.	Схема сил, действующих на корпус и паруса яхты	11
1.5.	Остойчивость килевой яхты	13
1.6.	Остойчивость катамарана	14
1.7.	Диаграмма статической остойчивости крейсерско-гоночной яхты	16
1.8.	Образование подъемной силы на крыле	19
1.9.	Распределение давления по ширине симметричного аэродинамического профиля при угле атаки $\alpha = 7^\circ$	20
1.10.	Схема обтекания крыла конечного размаха	22
1.11.	Зависимость сопротивления дрейфу от удлинения киля и угла атаки	23
1.12.	Схема определения геометрического центра парусности яхты с вооружением типа «шлюп»	25
1.13.	Действие руля и схема движения яхты на циркуляции	27
1.14.	Потоки жидкости около корпуса яхты	30
1.15.	Коэффициент сопротивления трения технически гладкой и шероховатых поверхностей в зависимости от числа Рейнольдса Re	32
1.16.	Схема волновой системы, образующейся у корпуса судна	33
1.17.	Интерференция носовой и кормовой поперечных волн	35
1.18.	Зависимость сопротивления воды движению яхты от её скорости	36
2.1.	Схема сил, действующих на паруса яхты; основные угловые параметры движения и установки парусов	40
2.2.	Роль составляющих аэродинамической силы на различных курсах относительно вымпельного ветра	41
2.3.	Режим обтекания паруса и распределение пониженного давления (разрежения) по ширине профиля в зависимости от угла атаки α	42
2.4.	Принцип работы (а) и установка индикаторов обтекания на стакселе (б)	43
2.5.	Поведение индикаторов в зависимости от угла атаки паруса	44
2.6.	Поляра паруса (а) и силы, действующие на парус на курсе галфвинд (б)	45
2.7.	Характер обтекания мачт	47
2.8.	Влияние «пуза» паруса на величину подъемной силы и лобового сопротивления	48
2.9.	Эффект распределения разрежения на подветренной стороне паруса на результирующую аэродинамическую силу на парусе	51
2.10.	Поляры парусов с различным аэродинамическим удлинением	52
2.11.	Взаимодействие грота и стакселя	53
2.12.	Оттяжка шкотового угла стакселя	54
2.13.	Полярная диаграмма скорости яхты	58
3.1.	Однотонник «Марина» постройки ленинградской судоверфи ВЦСПС	61
3.2.	Общее расположение однотонника «Марина»	68
3.3.	Конструктивный мидель-шпангоут	69
3.4.	Рулевой штуртросовый привод со штурвальной колонкой	72
3.5.	Схема системы водоснабжения с гидрофором (под давлением)	74
3.6.	Схема циркуляции воздуха в помещениях яхты	75

3.7. Вентиляционные головки брызгозащищенного типа для яхт	76
3.8. Поперечное сечение мачт из легкого сплава	78
3.9. Схема раскрепления мачт крейсерско-гоночных яхт и нагрузки на ванты в процентах от общего усилия	79
3.10. Типичное оснащение крейсерско-гоночной яхты парусами	81
3.11. Спинакеры	83
3.12. Вспомогательные паруса для полных курсов	84
3.13. Диаграмма применимости основных и вспомогательных парусов	85
3.14. Оснастка гика для взятия рифов	86
3.15. Устройство для закрутки стакселя вокруг штага	87
5.1. Створные знаки	94
5.2. Плавучее ограждение	95
5.3. Береговой маяк	97
5.4. Морской маяк	98
5.5. Береговой знак	98
6.1. Эллипсоид вращения	105
6.2. Географические координаты	106
6.3. Разность широт и разность долгот	107
6.4. Основные линии и плоскости наблюдателя	109
6.5. Видимый горизонт наблюдателя	110
6.6. Дальность видимости предмета	111
6.7. Системы деления горизонта	112
6.8. Изображение истинного курса, истинного пеленга и курсового угла	113
6.9. Магнитное поле Земли	113
6.10. Магнитное склонение	114
6.11. Зависимость между истинными и магнитными направлениями	115
6.12. Девиация компаса	116
6.13. Зависимость между магнитными и компасными направлениями	117
6.14. Определение девиации по створу	118
6.15. Зависимость между направлениями	120
6.16. Исправление курса	120
6.17. Изображение локсадромии и ортодромии на поверхности Земли	121
6.18. Постороние меркаторской проекции	122
6.19. Расчет счислимого места при прокладке	127
6.20. Дрейф судна	128
6.21. Определение угла дрейфа	129
6.22. Плавание на течении	130
6.23. Нхождение пути судна при плавании на течении	131
6.24. Счислимое место при плавании на течении	132
6.25. Изолинии	133
6.26. Определение места по двум пеленгам	134
6.27. Треугольник погрешностей	135
6.28. Определение места по двум горизонтальным углам	136
6.29. Использование кальки	137
6.30. Случай неопределенности	137
6.31. Определение места по крюйс-пеленгу	138
6.32. Крюйс-пеленг на течении	139
6.33. Определение расстояния до ориентира	139

6.34. Определение расстояния по высоте предмета с помощью линейки	140
6.35. Определение места по пеленгу и расстоянию	141
6.36. Определение места по двум расстояниям	141
6.37. Опознание места по пеленгу и глубине	142
6.38. Ограждающие (опасные) изолинии	144
6.39. Образец титульной страницы судового журнала	146
6.40. Вторая страница судового журнала с описание правил ведения	147
6.41. Третья страница судового журнала с описание правил ведения	147
6.42. Левая страница судового журнала	148
6.43. Правая страница судового журнала	148
6.44. Разрез котелка магнитного компаса	154
6.45. Пеленгатор обыкновенный	155
6.46. Секторный лаг	156
6.47. Ручной лот	158
6.48. Псевдослучайный код (двоичный, состоящий из 0 и 1)	158
6.49. Коррекция курса яхты с использованием GPS	160
6.50. Контроль счисления пути с использованием GPS	161
6.51. Контроль перехода в заданную точку с использованием GPS	161
6.52. Предварительная прокладка с использованием GPS	162
 7.1. Ориентирование по направлению на север, во времени и по широте места яхты по наблюдению за созвездиями северного неба	171
7.2. Географические и экваториальные координаты, определяющие положение географических и видимых мест светил	172
7.3. Условия наблюдений Луны и лунная освещенность зависят от возраста Луны и широты места яхты	172
7.4. Зимнее стандартное время на территории СССР. Знаки у номеров часовых поясов даны для перехода ко всемирному времени	182
7.5. Солнечное время по наблюденному часовому углу Солнца	183
7.6. Солнечные часы	183
 8.1. Барометр-анероид	185
8.2. Барограф №4	186
8.3. Примеры барических тенденций	187
8.4. Кучевые облака хорошей погоды	189
8.5. Кучево-дождевое облако («наковальня»)	189
8.6. Высококучевые облака («барашки»)	189
8.7. Перистые облака	189
8.8. Ручной анемометр	193

Список таблиц

1.	Примерное распределение массового водоимещения между разделами нагрузки для крейсерско-гоночных яхт длиной 10–14 метров	9
2.	Составляющие аэродинамической силы и соответствующие им гидродинамические реакции	12
3.	Зависимость длины поперечной волны от скорости яхты	34
4.	Нормы снабжения крейсерско-гоночных яхт якорями, якорными и швартовыми канатами и водоотливными средствами	70
5.	Таблица девиации	119
6.	Условные обозначения мест, полученных при обсервации	134
14.	Шкала метеорологической видимости (для летнего плавания)	192

Часть I

Основы теории и устройство крейсерских яхт

Глава 1

Элементы теории парусной яхты

1.1. Требования, предъявляемые к парусной яхте.

К уровню комфорта и оборудования на борту парусных яхт, в частности крейсерско-гоночных классов, предъявляются известные требования в соответствии с их назначением. Однако самый высокий уровень комфорта, самые совершенные приспособления для настройки парусов, самые современные электронные приборы для управления яхтой окажутся бесполезными, если она не будет обладать мореходными качествами, которые гарантируют безопасность плавания при условиях, определенных районом плавания и назначением яхты.

Яхта должна принимать определенную нагрузку, сохраняя достаточную высоту надводного борта, чтобы не быть залитой на волне. Она должна противостоять давлению ветра на паруса, чтобы не быть опрокинутой внезапно налетевшим шквалом. От яхты требуется хорошая маневренность в тесной гавани, и послушность рулю на штормовой волне. Она должна поддерживать, возможно, более высокую скорость при любых условиях и быть способной идти круто к ветру. Все это и составляет важнейшие мореходные качества: плавучесть, непотопляемость, остойчивость, ходкость, управляемость, поведение при волнении, способность нести паруса.

Изучение этих качеств является предметом специальной науки — теории корабля. Эта наука определяет также элементы, которые составляют отдельные мореходные качества и которые позволяют оценивать их количественно. Наконец, теория корабля устанавливает связь между формой корпуса судна и характеристиками его мореходных качеств.

В настоящей главе приводятся важнейшие элементы теории корабля в приложении к парусной яхте средних размерений в объеме, необходимом капитану при выходе в плавание.

1.2. Характеристики формы корпуса яхты

Основными характеристиками корпуса яхты являются его главные размерения и теоретический чертеж, дающий представление об обводах корпуса.

Главными размерениями яхты являются её длина, ширина, высота борта и осадка (рис. 1.1). Знание этих величин необходимо для решения некоторых задач (плавание на мелководье, швартовка и т. д.). Различают несколько значений каждого из этих размерений.

Длина наибольшая (в проектной документации судов она обозначается L) — расстояние по горизонтали, измеренное между крайними точками по обшивке судна.

Длина по конструктивной ватерлинии (КВЛ) ($L_{KVЛ}$) — расстояние между крайними точками корпуса, измеренное по зеркалу воды при полной нагрузке судна либо при другой характерной нагрузке, например в состоянии обмера (см. гл. 4).

Ширина наибольшая (B) — измеряется в самом широком месте судна.

Ширина по КВЛ ($B_{KVЛ}$) — наибольшая ширина, измеренная в плоскости ватерлинии.

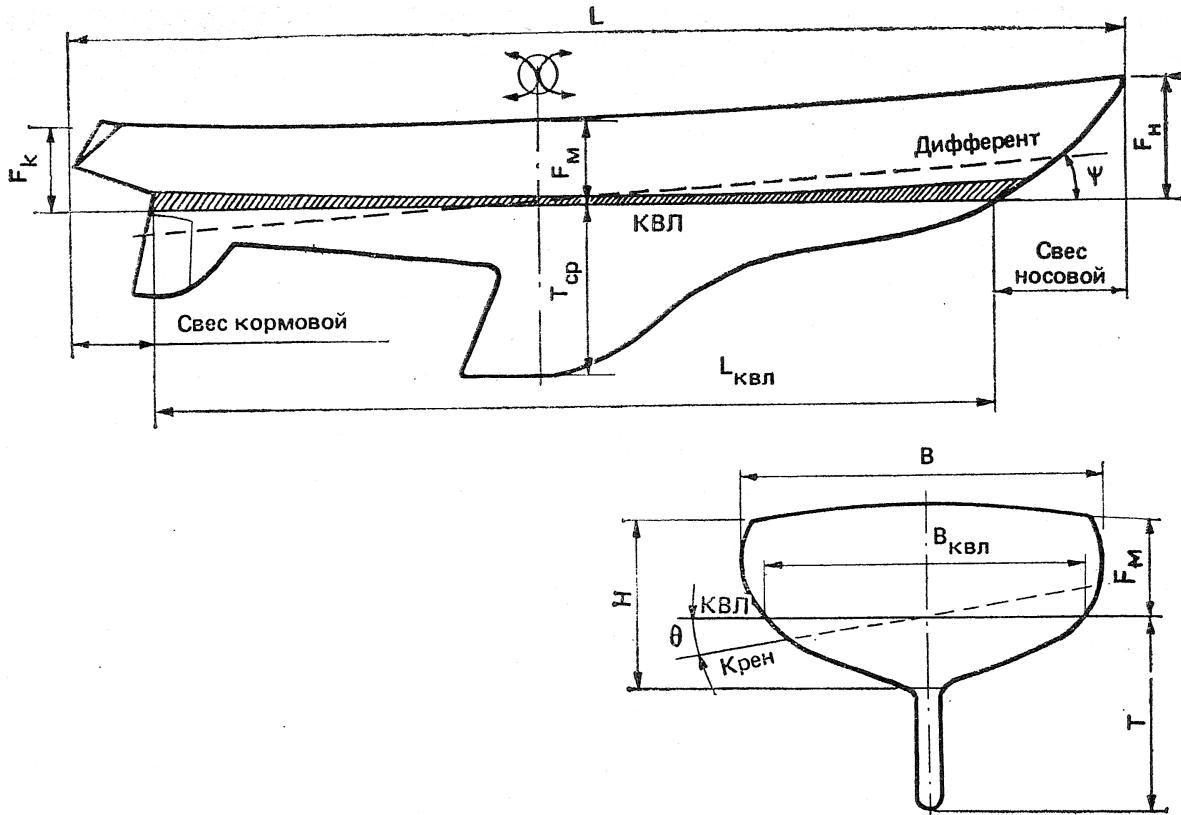


Рис. 1.1. Главные размерения яхты

Высота надводного борта (F) — измеряется от ватерлинии до верхней кромки палубного настила у борта. Различают минимальный надводный борт F_M , надводный борт в носу F_A (измеряется по отвесу, опущенному из самой крайней точки форштевня) и надводный борт в корме F_K (по отвесу, опущенному из крайней кормовой точки пересечения линии палубы с поверхностью транца).

Осадка средняя (T_{cp}) — углубление судна, измеренное в средней части — на миделе — от ватерлинии до нижней кромки фальшкиля. На яхтах с длинной килевой линией измеряют еще максимальную осадку — от ватерлинии до самой нижней точки киля, обычно расположенной вблизи пятки руля.

Полная высота борта на миделе (H) измеряется от верхней плоскости балластного фальшикиля до верхней кромки палубного настила у борта. Вместе с L и B высота борта используется в правилах постройки и классификации яхт в качестве параметра для назначения размеров поперечного сечения деталей набора корпуса, элементов якорного устройства и т. п.

Кроме главных размерений корпуса существуют еще габаритные размеры, например длина вместе с бушпритом, высота от нижней точки киля до верхней точки надстройки, ширина вместе с выступающими снаружи обшивки буртиками или привальным брусьями и т. п.

Главные размерения яхты определяются из условий обеспечения требуемых мореходных качеств, внутреннего расположения жилых и служебных помещений, часто с целью получить определенный гоночный балл или класс. Они являются одними из основных количественных

элементов, характеризующих эксплуатационные качества судна — его мореходность, вместимость и обитаемость.

Кроме абсолютных цифр судостроители и моряки часто оперируют безразмерными характеристиками — соотношениями главных размерений. Наиболее употребительными являются следующие.

Отношение длины по ватерлинии к ширине L_{KVL}/B_{KVL} — характеризует ходкость судна (чем больше L_{KVL}/B_{KVL} , тем легче на ходу, быстроходнее судно) и остойчивость (чем меньше L_{KVL}/B_{KVL} , тем остойчивее яхта). У современных крейсерско-гоночных яхт, построенных по правилам IOR, $L/B = 2,5 \div 5,0$, у крейсерских швертботов $L/B = 2,8 \div 3,8$.

Отношение ширины по КВЛ к осадке B_{KVL}/T_{cp} — характеризует ходкость, остойчивость и мореходность. Чем больше B_{KVL}/T_{cp} , тем остойчивее судно, однако его способность сохранять скорость при волнении оказывается ниже, чем у более узкой и глубокосидящей яхты. Яхты с классическими обводами корпусов имели $B_{KVL}/T_{cp} = 1,2 \div 1,6$; у современных крейсерско-гоночных яхт $B_{KVL}/T_{cp} = 1,8$. Для современных кильевых яхт с выраженным плавниковым килем более характерно отношение B_{KVL}/T_k , т. е. ширины по КВЛ к осадке корпуса (без киля).

Отношение наибольшей длины к высоте борта L/H — характеризует прочность и жесткость корпуса. Чем отношение меньше, тем большей продольной жесткостью обладает корпус, тем меньше он деформируется на волне и от тяги штагов.

Теоретический чертеж яхты представляет сложную криволинейную наружную поверхность корпуса в виде проекций на три взаимно перпендикулярные плоскости. На этих проекциях изображаются следы пересечения наружной обшивки с секущими плоскостями, положение которых определяется в соответствии с установленными в судостроении правилами. Три плоскости — диаметральная, основная и плоскость мидель-шпангоута являются базовыми плоскостями для построения теоретического чертежа и для постройки судна; они используются в качестве координатных плоскостей, от которых отсчитывают все размеры при последующей модернизации яхты.

Диаметральная плоскость (*ДП*) — вертикальная продольная плоскость симметрии, разделяющая корпус яхты на правую и левую половины.

Основная плоскость (*ОП*) — горизонтальная плоскость, проходящая через самую нижнюю точку киля. Линия пересечения основной плоскости с *ДП* называется основной линией (*ОЛ*).

Плоскость мидель-шпангоута (миделя) — вертикальная поперечная плоскость, проходящая посередине длины яхты по КВЛ. Эту плоскость обозначают значком миделя — \mathcal{M} . При оценке формы корпуса принято считать миделем самый большой по площади погруженной части шпангоута.

Три проекции теоретического чертежа получаются сечением корпуса плоскостями, параллельными перечисленным трем базовым плоскостям. Боковая проекция («**бок**») образуется в результате сечения корпуса равнотстоящими друг от друга плоскостями, параллельными *ДП*. Показанные на ней кривые линии сечений называются **батоксами**. Аналогичным образом получаются две другие проекции — «**полуширота**» и «**корпус**». Первая образуется сечениями корпуса плоскостями, параллельными *ОП* — **ватерлинами**, вторая — сечением корпуса

плоскостями, параллельными миделю — **шпангоутами**. На «боку» и «полушироте» шпангоуты изображаются в виде прямых линий; на «корпусе» они криволинейные. Ватерлинии выглядят в виде прямых на «боку» и «корпусе», а батоксы — на «полушироте» и «корпусе» (рис. 1.2). Прямые линии на каждой проекции образуют сетку теоретического чертежа.

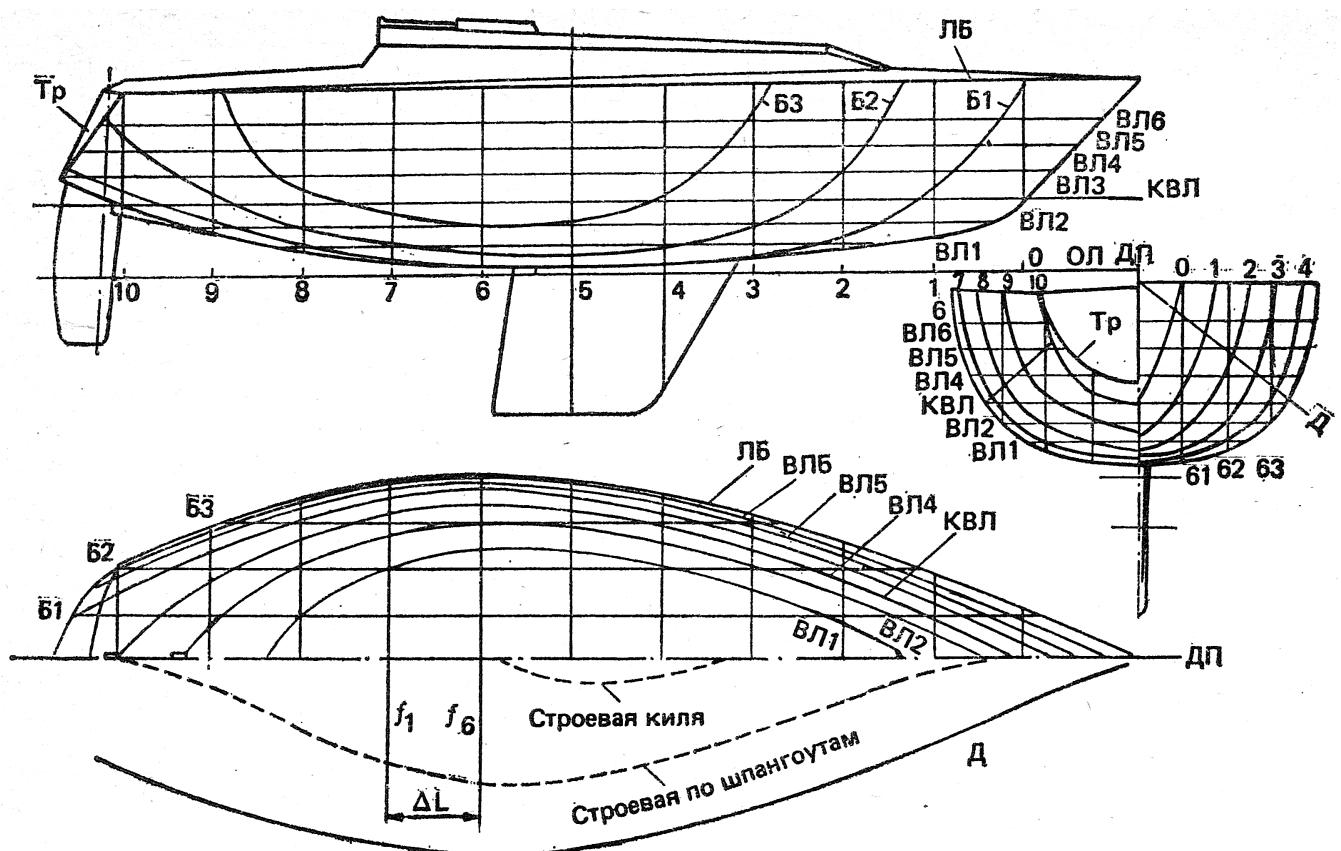


Рис. 1.2. Теоретический чертеж яхты «Симфония» (конструктор Филипп Брайан, Франция)
Длина наибольшая — 9,5 м; ширина наибольшая — 3,25 м; надводный борт минимальный — 1,02 м;
осадка — 1,88 м; водоизмещение полное — 5,14 т. 1–10 — шпангоуты, Тр — транец, ЛБ — линия борта,
Б1–Б3 — батоксы, ВЛ1–ВЛ6 — ватерлинии, Д — диагональ (рыбина).

На теоретическом чертеже кроме упомянутых линий батоксов, шпангоутов и ватерлиний изображают очертания плавниковых килей, рулей, транца, фальшборта и т. п. Так как корпус симметричен относительно $\Delta П$, то на полушироте изображают ватерлинии только левого борта; на проекции «Бок» по правую сторону от линии $\Delta П$ вычерчивают обводы носовых шпангоутов, а по левую — обводы кормовых.

Все линии теоретического чертежа должны быть согласованы. Это значит, что любая точка на поверхности корпуса должна отстоять на равных расстояниях, например от $\Delta П$ на всех трех проекциях. При согласовании линий конструктор обычно проверяет положение точек пересечения кривых линий с прямыми линиями сетки. Для дополнительного согласования обводов корпуса на теоретическом чертеже проводят рыбины или диагонали — следы сечения корпуса продольными, наклонными к $\Delta П$ плоскостями, проведенными через характерные точки на проекции «корпус» — скуль, вогнутость при кибе и т. п. Диагонали

проводятся только на «корпусе», в виде прямых линий, и на полушироте вниз от $\Delta\pi$, где они имеют вид плавных кривых линий.

Опытному глазу каждая из линий теоретического чертежа может многое сказать о качествах судна. Например, плавные стройные ватерлинии с острым входом в носу и не слишком крутой кривизной в корме благоприятны для хорошего обтекания корпуса водой, как и диагонали аналогичного вида. Батоксы с плавным и пологим — под углом $15 \div 20^\circ$ к КВЛ выходом над ватерлинией также важны для плавного, без завихрений, обтекания корпуса. Шпангоуты с явно выраженной склонкой и переходом днища в борта по малому радиусу свидетельствуют о высокой начальной остойчивости яхты. В носовой части V-образные шпангоуты с острой вершиной при киле и плавным расширением к палубе важны для сохранения скорости на взволнованном море и незаливаемости палубы.

Существенное влияние на обводы корпуса оказывают **Правила обмера**, по которым строится яхта. Так, в 70-х годах в результате введенного в правила обмера IOR, замера глубины трюма (расстояний от КВЛ до внутренней поверхности обшивки) на миделе в трех местах по ширине яхты появились суда с трапециевидными шпангоутами. Эти же Правила дали жизнь принципиально новым обводам корпусов — с короткими свесами оконечностей, «обратным» наклоном транца, высоким надводным бортом и плавниковым килем, которые значительно отличаются от классических яхтенных обводов, господствовавших до конца 60-х годов.

Важнейшей характеристикой яхты является её **объемное водоизмещение** V , т. е. объем воды, вытесняемый яхтой при её погружении по КВЛ. Объемное водоизмещение яхты вместе с её главными размерениями позволяет судить о величине судна, его вместимости и потенциальных мореходных качествах. При сравнении яхт часто пользуются безразмерной характеристикой — **коэффициентом полноты водоизмещения** или **коэффициентом общей полноты** δ , связывающим линейные размеры корпуса с его погруженным объемом. Этот коэффициент определяется как отношение объемного водоизмещения к объему параллелепипеда, имеющего стороны, равные L_{KVL} , B_{KVL} и T_{cp} (рис. 1.3):

$$\delta = \frac{V}{(L_{KVL} \cdot B_{KVL} \cdot T_{cp})} \quad (1.1)$$

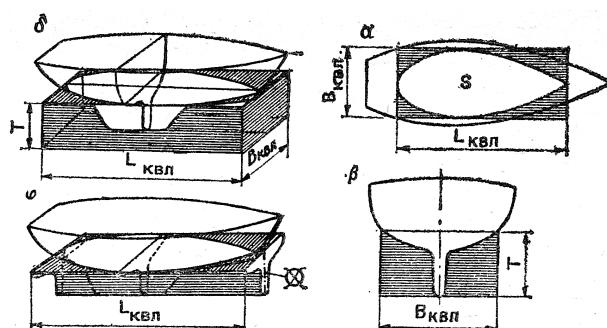


Рис. 1.3. Коэффициенты полноты

δ — водоизмещения; α — ватерлинии; φ — продольной полноты; β — полноты мидель-шпангоута

Чем меньше коэффициент общей полноты, тем более острые обводы имеет яхта, тем она быстроходнее. С другой стороны, при уменьшении δ соответственно уменьшается и полезный объем корпуса ниже ватерлинии, что вызывает необходимость для размещения кают достаточной высоты увеличивать высоту борта или делать более высокие надстройки. Парус-

ные яхты относят к наименее полным судам. Коэффициент общей полноты для крейсерско-гоночных яхт составляет $\delta = 0,15 \div 0,22$, для крейсерских швертботов $\delta = 0,26 \div 0,35$. Корпуса шхерных крейсеров имели $\delta = 0,12 \div 0,15$, в то время как для большинства грузовых коммерческих судов характерна величина $\delta = 0,82$.

К числу безразмерных коэффициентов, характеризующих форму корпуса яхты, относятся также **коэффициенты полноты площадей ватерлинии** α и **мидель-шпангоута** β . Первый представляет собой отношение площади ватерлинии S к прямоугольнику со сторонами L_{KBL} и B_{KBL} :

$$\alpha = \frac{S}{L_{KBL} \cdot B_{KBL}} ; \quad (1.2)$$

второй — отношение площади погруженной части миделя \mathfrak{M} к прямоугольнику, стороны которого равны B_{KBL} и T_{cp} :

$$\beta = \frac{\mathfrak{M}}{B_{KBL} \cdot T_{cp}} \quad (1.3)$$

Коэффициент α , равный для большинства крейсерских яхт $0,70 \div 0,72$, для швертботов $0,60 \div 0,67$, показывает, насколько заострена KBL в оконечностях, и какую роль в начальной остойчивости яхты играет форма её корпуса. С увеличением полноты ватерлинии повышается остойчивость, но несколько ухудшается обтекаемость корпуса и его ходкость на волне, особенно при большой осадке.

Коэффициент продольной полноты (или **призматический**) φ , который представляет собой отношение объемного водоизмещения к объему призмы, имеющей основанием погруженную часть миделя, а высотой длину яхты по KBL служит для оценки сопротивления воды движению яхт:

$$\varphi = \frac{V}{\mathfrak{M} \cdot L_{KBL}} \quad (1.4)$$

Призматический коэффициент, характеризуя распределение погруженного объема корпуса по длине, оказывает существенное влияние на ту часть энергии ветра, которая затрачивается на преодоление волнового сопротивления корпуса. Оптимальная величина φ зависит от того, на какую скорость рассчитывается яхта. Если речь идет об очень быстроходных судах, то φ принимается близким к $\varphi \approx 0,62$. Для яхт проектируемых на слабые ветра, $\varphi = 0,52 \div 0,53$.

1.3. Плавучесть, осадка и дифферент

Плавучесть — способность судна держаться на плаву, имея заданную осадку при определенной нагрузке. Это качество должно сохраняться в любых обстоятельствах эксплуатации яхты.

На погруженную в воду поверхность судна при его неподвижном состоянии в каждой точке действуют силы гидростатического давления воды, направленные перпендикулярно поверхности. Все эти силы можно привести к одной силе плавучести, направленной вверх и приложенной в центре тяжести погруженного объема — **центре величины, ЦВ**. Согласно известному закону Архимеда, сила плавучести равна массе воды, вытесненной судном.

Кроме давления воды на корпус судна действуют силы тяжести, которые также могут быть приведены к одной равнодействующей силе D , направленной вниз и приложенной в **центре тяжести**, $ЦТ$ судна. Для того чтобы судно плавало в состоянии равновесия, необходимо, чтобы сила плавучести и сила тяжести были равны и располагались на одной вертикали:

$$D = \gamma \cdot V; \quad x_{\partial} = x_c \quad (1.5)$$

где γ — плотность воды, $\text{т}/\text{м}^3$; V — объемное водоизмещение, м^3 ; D — масса судна или массовое водоизмещение, т ; x_{∂} — отстояние центра тяжести, $ЦТ$, от плоскости миделя, м ; x_c — отстояние центра величины, $ЦВ$ от плоскости миделя, м .

В зависимости от плотности воды, в которой плавает яхта, её объемное водоизмещение может изменяться, хотя масса судна остается постоянной. В пресной воде, плотность которой близка к единице, для поддержания судна определенной массы требуется больший погруженный объем V , чем в соленой воде, плотность которой колеблется от $\gamma = 1,010 \div 1,015 \text{ т}/\text{м}^3$ в Балтийском море до $1,023 \div 1,028 \text{ т}/\text{м}^3$ в океане. Изменение объемного водоизмещения при переходе яхты из пресной воды ($\gamma = 1,00$) в морскую и наоборот происходит за счет изменения осадки. Величина этого изменения невелика — менее 1% осадки и на эксплуатационных качествах яхты практически не сказывается. Однако влияние солености на осадку следует учитывать при обмере яхты и вычислении её гоночного балла.

Знание главных размерений яхты и её коэффициентов полноты позволяет капитану выполнять некоторые элементарные расчеты приближенных значений водоизмещения, изменения осадки при приеме груза относительно небольшой величины.

Водоизмещение:

$$D = \gamma \cdot \delta \cdot L_{KVL} \cdot B_{KVL} \cdot T_{cp}, \text{т.} \quad (1.6)$$

Груз, изменяющий осадку на 1 см:

$$p = 0,01 \cdot \gamma \cdot \alpha \cdot L_{KVL} \cdot B_{KVL}, \text{т.} \quad (1.7)$$

Если при проектировании или постройке яхты окажется, что её масса превышает водоизмещение по KVL , а $ЦТ$ смещен в нос или корму от $ЦВ$, то при спуске на воду она погрузится глубже конструктивной ватерлинии и получит наклон — **дифферент** на нос или на корму. При продольном наклонении в воду погружается дополнительный объем корпуса в носу или корме и в ту же сторону смещается точка приложения равнодействующей сил плавучести ($ЦВ$) до того момента, пока вновь не будет достигнуто условие плавания в состоянии равновесия т.е. $x_{\partial} = x_c$.

И увеличение осадки, и дифферент нежелательны, так как обводы ватерлиний яхты могут существенно отличаться от тех, что были предусмотрены её посадкой по проектной KVL . Чтобы этого не случилось, после выбора главных размерений конструктор должен хотя бы приблизительно оценить массу будущей яхты. Для этого выполняется предварительный расчет массовой нагрузки по основным разделам: корпус; дельные вещи и палубное оборудование; оборудование внутренних помещений; рангоут, такелаж и паруса; двигатель с трубопроводами, гребным валом и электрооборудованием; системы с трубопроводами, цистернами; полезная нагрузка — экипаж, запасы пресной воды и провизии топливо для двигателя, снабжение; балластный фальшкиль. Примерное соотношение этих составляющих массовой нагрузки дано в табл. 1, а сумма их должна быть равна массово водоизмещению яхты по KVL .

Наименование раздела массовой нагрузки	Массовое водоизмещение, %
Корпус	30–43
Фальшкиль	30–45
Дельные вещи в корпусе и на палубе	2–4,5
Оборудование помещений	3–7
Рангоут, такелаж и паруса	4–7
Двигатель с трубопроводами и электрооборудованием	0–7
Системы с трубопроводами и цистернами	2–4
Полезная нагрузка: экипаж с багажом, запасы пресной воды, провизии и топлива	6–8
Массовое водоизмещение	$D = 100\%$

Таблица 1. Примерное распределение массового водоизмещения между разделами нагрузки для крейсерско-гоночных яхт длиной 10–14 метров

Существенное влияние на дифферент яхты оказывают переменные массы — топливо и вода в цистернах, которые расходуются в течение плавания, а также экипаж, имеющий возможность перемещаться по яхте. Поэтому цистерны для жидкостей стараются располагать вблизи общего ЦТ яхты, а экипаж во время гонки рассредоточивать на палубе и в помещениях, не допуская его скопления в кормовом кокпите, где масса людей создает значительный дифферентующий момент на корму.

1.4. Непотопляемость

Способность судна оставаться на плаву и сохранять свои мореходные качества в случае получения пробоины в обшивке или затопления через палубные отверстия называется **непотопляемостью**. Это свойство в первую очередь определяется запасом плавучести судна — его надводным объемом от *КВЛ* до палубы. Чем выше надводный борт, тем больше запас плавучести, тем большее количество воды может влиться внутрь яхты, прежде чем она затонет.

Непотопляемость безбалластных швертботов и небольших яхт обеспечить сравнительно несложно. Благодаря легкой конструкции корпуса разность между массой яхты и силой поддержания в аварийном состоянии невелика. Требуется лишь небольшой дополнительный запас плавучести в виде междудонного пространства, бортовых отсеков плавучести, герметичных отсеков в носу и корме, под кокпитом. Для большей надежности эти отсеки заполняют легким пенистым пластиком, не впитывающим воду. Объем отсеков плавучести или блоков пенопласта рассчитывают так, чтобы при заполнении водой яхта держалась на плаву с надводным бортом около 10 см и по возможности на ровном киле. Чтобы она сохранила свою способность сопротивляться крену и дифференту, отсеки плавучести размещают в оконечностях корпуса и по бортам.

Обеспечить непотопляемость крупной яхты, снабженной фальшкилем массой 40–50 % её водоизмещения и имеющей большой объем внутренних помещений, практически невозмож-

но. В данном случае помогло бы деление корпуса поперечными водонепроницаемыми переборками на несколько отсеков. Однако глухие переборки создают большие неудобства для обитаемости яхт, а при устройстве дверей переборки теряют смысл. Поэтому даже на больших яхтах устанавливают две водонепроницаемые переборки — форпиковую (вблизи носового конца КВЛ) и ахтерпиковую (в районе кокпита), ограничивающие доступ воды внутрь при получении пробоины в оконечностях.

Опыт, однако, показывает, что в море от пробоин при столкновениях яхты гибнут сравнительно редко. Гораздо большую опасность представляет негерметичность закрытий палубных люков, разбитые иллюминаторы. Именно это стало причиной гибели пяти яхт в трагической Фастнетской гонке 1979 г. у берегов Ирландии. На этих яхтах (так же как и еще на 98 из 234 участвовавших в гонке судов) причиной попадания больших масс воды внутрь корпуса были ненадежные закрытия входных люков в стенках рубок. Традиционные задвижные щитки выскакивали из своих пазов при опрокидывании яхт, оказывались смытыми за борт или затерявшимися внутри яхт.

Современная практика требует, чтобы яхта, положенная парусами на воду, не могла быть залита через открытые люки. Входные люки предписывается оборудовать дверцами на прочных петлях, открываемыми обязательно наружу. Все иллюминаторы и светлые люки должны снабжаться защитными щитками, которые в штормовых условиях устанавливаются снаружи. Все отверстия в корпусе для забора забортной воды или выпуска сточных вод, воды из системы охлаждения двигателя и т. п. снабжаются надежными запорными вентилями и клапанами, а осушительная система должна иметь достаточную производительность.

Современная крейсерско-гоночная яхта обладает большой живучестью, т. е. способностью оставаться при аварии на плаву и перемещаться в нужном направлении. В упомянутой Фастнетской гонке на гребнях крутых волн опрокинулось 77 яхт, многие из которых совершили полный оборот на 360° . Несмотря на повреждения и большие массы воды, попавшие внутрь яхт, большинство из них были приведены в порты-убежища своими экипажами. Экипажи шести яхт, посчитавшие положение критическим, покинули их на надувных спасательных плотах, которые в тех условиях оказались недостаточно надежными. В результате погибло семь человек. В то же время только две из покинутых шести яхт действительно утонули. Четыре судна, несмотря на жестокий штурм, остались на плаву и были впоследствии обнаружены в море и отбуксированы в гавани.

1.5. Силы, действующие на корпус и паруса яхты

До сих пор мы рассматривали действие на яхту только двух сил — силы плавучести и силы веса, предполагая, что она находится в равновесии состояния покоя. Но поскольку для движения вперед на яхте используются паруса, на судно действует сложная система сил. Схематически она представлена на рис. 1.4, где рассматривается наиболее типичный случай движения яхты в бейдинг.

При обтекании парусов воздушным потоком — ветром — на них создается результирующая **аэродинамическая сила А**, направленная примерно перпендикулярно поверхности паруса и приложенная в центре парусности (*ЦП*) высоко над поверхностью воды. Согласно третьему закону механики, при установленном движении тела по прямой каждой силе, приложенной к телу, в данном случае — к парусам, связанным с корпусом яхты через мачту, стоячий такелаж и шкоты, должна противодействовать равная ей по величине и противоположно направленная сила. На яхте — это результирующая **гидродинамическая сила Н**, приложен-

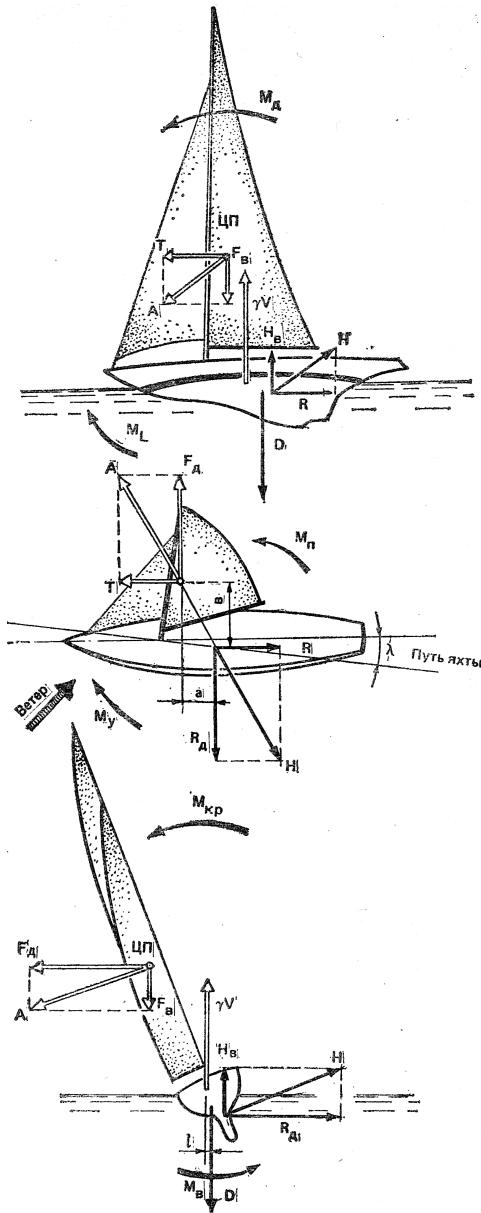


Рис. 1.4. Схема сил, действующих на корпус и паруса яхты

ная к подводной части корпуса. Таким образом, между этими силами существует известное расстояние — плечо, вследствие чего образуется момент пары сил.

И аэро- и гидродинамическая силы оказываются ориентированными не в плоскости, а в пространстве, поэтому при изучении механики движения яхты рассматривают проекции этих сил на главные координатные плоскости. Имея в виду упомянутый третий закон Ньютона, выпишем попарно все составляющие аэродинамической силы и соответствующие им гидродинамические реакции (см. таб. 2).

Для того чтобы яхта устойчиво шла по курсу, каждая пара сил и каждая пара моментов сил должны быть равны друг другу. Например, сила дрейфа \mathbf{F}_D , и сила сопротивления дрейфу \mathbf{R}_D создают кренящий момент M_{KP} , который должен быть уравновешен восстанавливающим моментом M_B или моментом поперечной остойчивости. M_B образуется благодаря действию сил веса \mathbf{D} и плавучести яхты \mathbf{V} , действующих на плече l . Эти же силы веса и пла-

Сила Момент	Описание	Сила Момент	Описание
A	Проекция аэродинамической результирующей силы	H	Проекция гидродинамической результирующей силы
T	Сила тяги, движущая яхту вперед	R	Сила сопротивления воды движению яхты
F_Д	Кренящая сила или сила дрейфа	R_Д	Боковая сила или сила сопротивления дрейфу
F_B	Вертикальная (аэродинамическая) сила	H_B	Вертикальная гидродинамическая сила
D	Сила веса яхты	γV	Сила плавучести
M_D	Дифферентующий момент	M_Z	Момент сопротивления дифференту
M_{KP}	Кренящий момент	M_B	Восстанавливающий момент
M_П	Приводящий к ветру момент	M_y	Уваливающий момент

Таблица 2. Составляющие аэродинамической силы и соответствующие им гидродинамические реакции

вучести образуют момент сопротивления дифференту или момент продольной остойчивости M_l , равный по величине и противодействующий дифферентирующему моменту M_D . Слагаемыми последнего являются моменты пар сил $T - R$ и $F_B - H_B$.

В приведенную схему действия сил существенные поправки вносит, особенно на легких яхтах, экипаж. Перемещаясь на наветренный борт или по длине яхты, экипаж своим весом эффективно откренивает судно или противодействует его дифференту на нос. В создании уваливающего момента M_y решающая роль принадлежит соответствующему отклонению руля.

Аэродинамическая боковая сила F_D , кроме крена вызывает боковой снос — дрейф, поэтому яхта движется не строго по ДП, а с небольшим углом дрейфа λ . Именно это обстоятельство обуславливает образование на кибе яхты силы сопротивления дрейфу R_D , которая по своей природе аналогична подъемной силе, возникающей на крыле самолета, располагаемом под углом атаки к набегающему потоку. Аналогично крылу работает на курсе бейлевинд и парус, для которого угол атаки является угол между хордой паруса и направлением вымпельного ветра. Таким образом, в современной теории корабля парусная яхта рассматривается как симбиоз двух крыльев: корпуса, движущегося в воде, и паруса, на который воздействует вымпельный ветер.

1.6. Остойчивость

Как мы уже говорили, яхта подвержена действию сил и моментов сил, стремящихся наклонить её в поперечном и продольном направлениях. Способность судна противостоять действию этих сил и возвращаться в прямое положение после прекращения их действия называется **остойчивостью**. Наиболее важной для яхты является **поперечная остойчивость**.

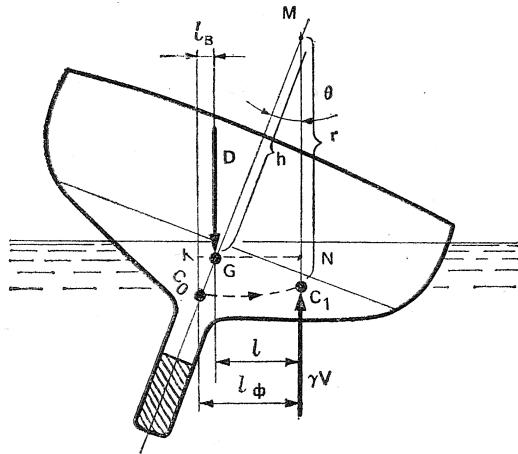


Рис. 1.5. Остойчивость килевой яхты
Плечо остойчивости $l = l_\phi - l_B$

Когда яхта плавает без крена, то силы тяжести и плавучести, приложенные соответственно в ЦТ и ЦВ, действуют по одной вертикали. Если при крене экипаж либо другие составляющие массовой нагрузки не перемещаются, то при любом отклонении ЦТ сохраняет свое первоначальное положение в ДП (точка G на рис. 1.5), вращаясь вместе с судном. В то же время вследствие изменившейся формы подводной части корпуса ЦВ смещается из точки C_0 в сторону накрененного борта до положения C_1 . Благодаря этому возникает момент пары сил D и γV с плечом l , равным горизонтальному расстоянию между ЦТ и новым ЦВ яхты. Этот момент стремится возвратить яхту в прямое положение и потому называется **восстанавливющим**.

При крене ЦВ перемещается по кривой траектории C_0C_1 , радиус кривизны r которой называется **поперечным метацентрическим радиусом**, а соответствующий ему центр кривизны M — **поперечным метацентром**. Величина радиуса r и соответственно форма кривой C_0C_1 зависят от обводов корпуса. В общем случае при увеличении крена метацентрический радиус уменьшается, так как его величина пропорциональна четвертой степени ширины ватерлинии.

Очевидно, что плечо восстанавливающего момента зависит от расстояния GM — возвышения метацентра над центром тяжести: чем оно меньше, тем соответственно меньше при крене и плечо l . На самой начальной стадии наклона величины GM или h рассматривается судостроителями как мера остойчивости судна и называется **начальной поперечной метацентрической высотой**. Чем больше h , тем необходима большая кренящая сила, чтобы наклонить яхту на какой-либо определенный угол крена, тем остойчивее судно. На крейсерско-гоночных яхтах метацентрическая высота составляет обычно $0,75 \div 1,2$ м; на крейсерских швертботах — $0,6 \div 0,8$ м.

По треугольнику GMN легко установить, что восстанавливающее плечо: $l = G \cdot N = h \cdot \sin \Theta$

Восстанавливающий момент, учитывая равенство γV и D , равен:

$$M_B = D \cdot h \cdot \sin \Theta \quad (1.8)$$

Таким образом, несмотря на то, что метацентрическая высота изменяется в довольно узких пределах для яхт различных размерений, величина восстанавливающего момента прямо пропорциональна водоизмещению яхты, следовательно, более тяжелое судно оказывается в состоянии выдержать кренящий момент большей величины.

Восстанавливающее плечо можно представить как разность двух расстояний (см. рис. 1.5): l_ϕ — плеча остойчивости формы и l_B — плеча остойчивости веса. Нетрудно установить физический смысл этих величин, так как l_B определяется отклонением при крене линии действия силы веса от первоначального положения точно над C_0 , а l_ϕ — смещением на подветренный борт центра величины погруженного объема корпуса. Рассматривая действие сил D и γV относительно C_0 , можно заметить, что сила веса D стремится накренить яхту еще больше, а сила γV , наоборот — выпрямить судно.

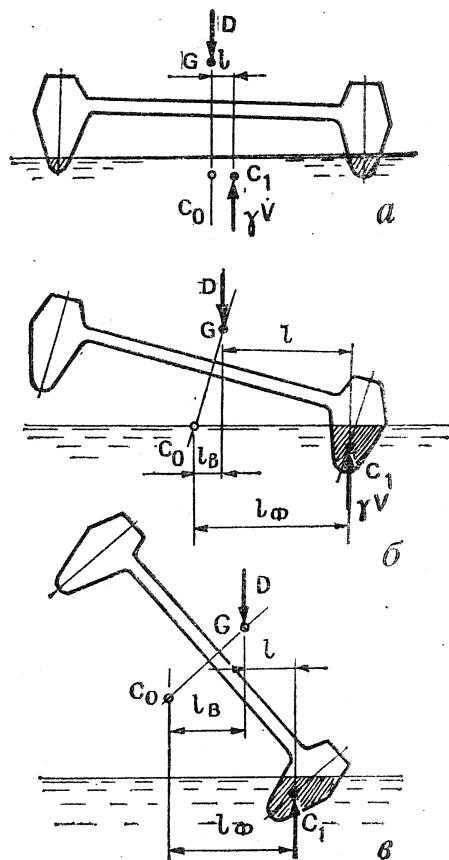


Рис. 1.6. Остойчивость катамарана

a — на малых углах крена; *б* — в момент выхода наветренного корпуса из воды; *в* — на больших углах крена

По треугольнику C_0GK можно найти, что $l_B = G \cdot K = C_0 \cdot G \cdot \sin \Theta$, где $C_0 \cdot G$ — возышение ЦТ над ЦВ в прямом положении яхты. Таким образом, для того чтобы уменьшить отрицательное действие силы веса, необходимо по возможности понизить ЦТ яхты. В идеальном случае ЦТ должен был расположиться ниже ЦВ, тогда плечо остойчивости веса становится положительным и масса яхты помогает ей сопротивляться действию кренящего момента. Однако только немногие яхты имеют такую характеристику: углубление ЦТ ниже ЦВ связано с применением очень тяжелого балласта, превышающего 60 % водоизмещения яхты, чрезмерным облегчением конструкции корпуса, рангоута и такелажа. Эффект, аналогичный снижению ЦТ, дает перемещение экипажа на наветренный борт. Если речь идет о легком швертботе, то экипажу удается сместить общий ЦТ настолько, что линия действия силы D пересекается с ДП значительно ниже ЦВ и плечо остойчивости веса получается положительным.

У килевой яхты благодаря тяжелому балластному фальшикилю центр тяжести находится достаточно низко (чаще всего — под ватерлинией или слегка выше нее). Остойчивость яхты всегда положительная и достигает максимума при крене около 90° , когда яхта лежит парусами на воде. Разумеется, такой крен может быть достигнут только на яхте с надежно закрытыми отверстиями в палубе и с самоотливным кокпитом. Яхта с открытым кокпитом может быть залита водой при гораздо меньшем угле крена (яхта класса «Дракон», например, при 52°) и пойти ко дну не успев выпрямиться.

У мореходных яхт положение неустойчивого равновесия наступает при крене около 130° , когда мачта уже находится под водой, будучи направленной, вниз под углом 40° к поверхности. При дальнейшем увеличении крена плечо остойчивости становится отрицательным, опрокидывающий момент способствует достижению второго положения неустойчивого равновесия при крене 180° (вверх килем), когда ЦТ оказывается расположенным высоко над ЦВ достаточно небольшой волны, чтобы судно приняло вновь нормальное положение — вниз килем. Известно немало случаев, когда яхты совершали полный оборот на 360° и сохраняли свои мореходные качества.

Сравнивая остойчивость килевой яхты и швертбота, можно заметить, что главную роль в создании восстанавливющего момента у швертбота играет остойчивость формы, а у килевой яхты — остойчивость веса. Поэтому и существует столь заметная разница в обводах их корпусов: швертботы имеют широкие корпуса с $L/B = 2,6 \div 3,2$, со скулой малого радиуса и большой полнотой ватерлинии. В еще большей степени форма корпуса определяет остойчивость катамаранов, у которых объемное водоизмещение разделено поровну между двумя корпусами. Уже при небольшом крене водоизмещение между корпусами резко перераспределяется, увеличивая силу плавучести корпуса, погружающегося в воду (рис. 1.6). Когда другой корпус выходит из воды (при крене $8 \div 15^\circ$), плечо остойчивости достигает максимальной величины — оно немного меньше половины расстояния между ДП корпусов. При дальнейшем увеличении крена катамаран ведет себя подобно швертботу, экипаж которого висит на трапеции. При крене $50 \div 60^\circ$ наступает момент неустойчивого равновесия, после чего остойчивость катамарана становится отрицательной.

Диаграмма статической остойчивости. Очевидно, что полной характеристикой остойчивости яхты может быть кривая изменения восстанавливающего момента M_B в зависимости от угла крена Θ или диаграмма статической остойчивости (рис. 1.7). На диаграмме хорошо различимы моменты максимума остойчивости ($Ж$) и предельного угла крена, при котором судно, будучи предоставлено само себе, опрокидывается ($З$ — угол заката диаграммы статической остойчивости).

С помощью диаграммы капитан судна имеет возможность оценивать, например, способность яхты нести ту или, иную парусность при ветре определенной силы. Для этого на диаграмму остойчивости наносят кривые изменения кренящего момента M_{KP} в зависимости от угла крена Θ . Точка Б пересечения обеих кривых указывает на угол крена, который получит яхта при статическом, с плавным нарастанием действия ветра. На рис. 1.7 яхта получит крен, соответствующий точке Д, — около 29° . Для судов, имеющих явно выраженные нисходящие ветви диаграммы остойчивости (швертботов, компромиссов и катамаранов), плавание может быть допущено только при углах крена, не превышающих точки максимума на диаграмме остойчивости.

На практике экипажам яхт приходится нередко иметь дело с динамическим действием внешних сил, при котором кренящий момент достигает значительной величины в сравнительно короткий промежуток времени. Такое бывает при шквале или ударе волны в наветренную

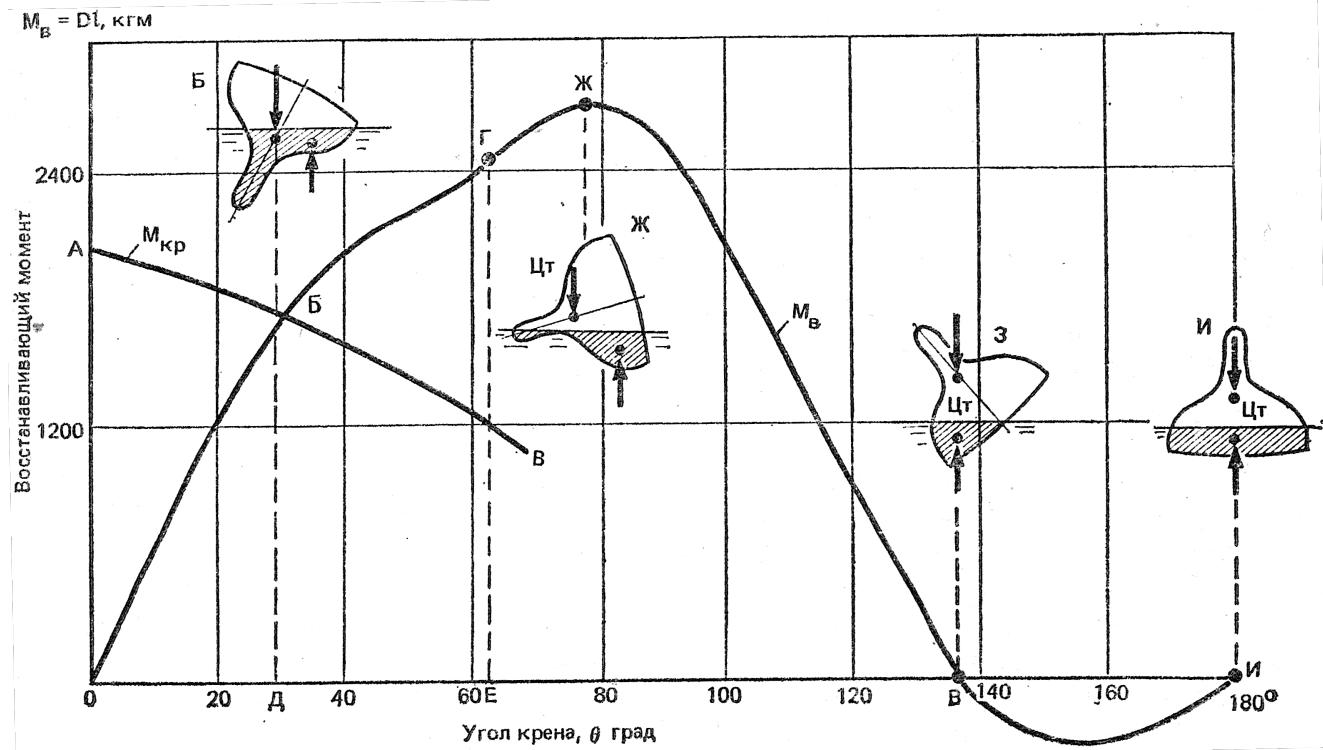


Рис. 1.7. Диаграмма статической остойчивости крейсерско-гоночной яхты

скулу. В этих случаях важна не только величина кренящего момента, но и кинетическая энергия, сообщаемая судну и поглощаемая работой восстановливающего момента.

На диаграмме статической остойчивости работа обоих моментов может быть представлена в виде площадей, заключенных между соответствующими кривыми и осями ординат. Условием равновесия яхты при динамическом воздействии внешних сил будет равенство площадей ОАБВЕ (работа M_{KP}) и ОБГВЕ (работа M_B). Учитывая, что площади ОБВЕ общие, можно рассматривать равенство площадей ОАБ и БГВ. На рис. 1.7 видно, что в случае динамического действия ветра угол крена (точка Е, около 62°) заметно превышает крен от ветра такой же силы при его статическом действии.

По диаграмме статической остойчивости может быть определен **пределный динамический кренящий момент**, опрокидывающий швертбот или угрожающий безопасности яхты с открытым кокпитом. Очевидно, что действие восстановливающего момента может рассматриваться только до угла заливания кокпита или до начальной точки снижения диаграммы статической остойчивости.

Принято считать, что килевые яхты, снабженные тяжелым балластом, практически неопрокидываемы. Однако в уже упоминавшейся Фастнетской гонке 1979 г. 77 яхт были опрокинуты на угол крена более 90° , причем часть из них некоторое время (от 30 сек до 5 мин) оставалась на плаву вверх килем, а несколько яхт встали потом в нормальное положение через другой борт. Наиболее серьезными повреждениями при этом были потери мачт (на 12 яхтах), падение из своих гнезд аккумуляторов, тяжелых камбузных плит и другого оборудования. К нежелательным последствиям привело и попадание воды внутрь корпусов. Случилось это под

динамическим воздействием крутой 9–10-метровой волны, профиль которой резко ломался при переходе из океана в мелководное Ирландское море, при ветре скоростью $25 \div 30 \text{ м/с}$.

Факторы, влияющие на поперечную остойчивость. Таким образом, мы можем сделать определенные выводы о влиянии различных элементов проекта яхты на её остойчивость. На малых углах крена главную роль в создании восстановливающего момента играют ширина яхты и коэффициент полноты площади ватерлинии. Чем шире яхта и полнее её ватерлиния, тем дальше от ΔP смещается $ЦВ$ при крене судна, тем больше плечо остойчивости формы. Диаграмма статической остойчивости достаточно широкой яхты имеет более крутую восходящую ветвь, чем узкой, — до $\Theta = 60 \div 80\text{gr}$.

Чем ниже расположен центр тяжести яхты, тем она остойчивее, причем влияние глубокой осадки и большого балласта оказывается практически по всей диаграмме остойчивости яхты. Занимаясь модернизацией яхты, полезно помнить простое правило: каждый килограмм под ватерлинией повышает остойчивость, а каждый килограмм над ватерлинией ухудшает её. Особенно ощутим для остойчивости тяжелый рангоут и такелаж.

При одинаковом расположении центра тяжести яхта с избыточным надводным бортом имеет и более высокую остойчивость на углах крена более $30 \div 35^\circ$, когда на судне с нормальной высотой борта палуба начинает входить в воду. Высокобортная яхта имеет большую величину максимального восстановливающего момента. Это качество присуще также яхтам, имеющим водонепроницаемые рубки достаточно большого объема.

Особо следует остановиться на влиянии воды в трюме и жидкостей в цистернах. Дело не только в перемещении масс жидкостей в сторону накрененного борта; главную роль играет наличие свободной поверхности переливающейся жидкости, а именно — её момент инерции относительно продольной оси. Если, например, поверхность воды в трюме имеет длину l , а ширину b , то метацентрическая высота уменьшается на величину

$$\Delta h = \frac{l \cdot b^3}{12D}, \quad \text{м.} \quad (1.9)$$

Особенно опасна вода в трюме, свободная поверхность которого имеет большую ширину. Поэтому при плавании в штормовых условиях воду из трюма нужно своевременно удалять.

Для уменьшения влияния свободной поверхности жидкостей в цистернах устанавливают продольные отбойные переборки, которые по ширине делят на несколько частей. В переборках делают отверстия для свободного перетекания жидкости.

Поперечная остойчивость и ходкость яхты. При увеличении крена сверх $10 \div 12^\circ$ сопротивление воды движению яхты заметно возрастает, что приводит к потере скорости. Поэтому важно, чтобы при усилении ветра яхта дольше могла нести эффективную парусность, не имея чрезмерного крена. Нередко даже на сравнительно крупных яхтах во время гонок экипаж располагается на наветренном борту, пытаясь уменьшить крен.

Насколько эффективно перемещение груза (экипажа) на один борт, нетрудно представить по простейшей формуле, которая справедлива для небольших углов (в пределах $0 \div 10^\circ$) крена:

$$M_O = \frac{D \cdot h}{57,3}, \quad (1.10)$$

где: M_O — момент, кренящий яхту на 1° ; D — водоизмещение яхты, т; h — начальная поперечная метацентрическая высота, м.

Зная массу перемещаемого груза и расстояние нового места расположения его от ΔP , можно определить кренящий момент, а разделив его на M_O , получить угол крена в градусах.

Например, если на яхте водоизмещением 7 т при $h = 1$ м пять человек расположатся у борта на расстоянии 1,5 м от ΔP , то создаваемый ими кренящий момент придаст яхте крен в $4,5^\circ$ (или уменьшит примерно на столько же крен на другой борт).

Продольная остойчивость. Физика явлений, происходящих при продольных наклонах яхты аналогична явлениям при крене, но продольная метацентрическая высота по величине сравнима с длиной яхты. Поэтому продольные наклоны, дифферент, обычно невелики и измеряются не в градусах, а по изменениям осадки носом и кормой. И, тем не менее, если из яхты выжимают все её возможности, нельзя не считаться с действием сил, дифферентующих яхту на нос и перемещающих центр величины, вперед (см. рис. 1.4). Этому можно противодействовать, перемещая экипаж в кормовую часть палубы.

Наибольшей величины дифферентующие на нос силы достигают при плавании в бакштаг; на этом курсе, особенно в сильный ветер, экипаж следует смешать, возможно, дальше в корму. На курсе бейдевинд дифферентующий момент невелик, и экипажу лучше всего располагаться близ миделя, откренивая судно. На фордевинде дифферентующий момент оказывается меньше, чем на бакштаге, особенно если яхта несет спинакер и блупер, дающие определенную подъемную силу.

У катамаранов величина продольной метацентрической высоты сравнима с поперечной, иногда меньше ее. Поэтому действие дифферентующего момента, практически незаметное на килевой яхте, может опрокинуть катамаран, таких же главных размерений. Статистика аварий отмечает случаи опрокидывания через нос на попутных курсах крейсерских катамаранов с высокой парусностью.

1.7. Сопротивление дрейфу

Поперечная сила F_D (см. рис. 1.4) не только кренит яхту, она вызывает боковой снос — **дрейф под ветер**. Сила дрейфа зависит от курса яхты относительно ветра. При плавании в крутой бейдевинд она втрое превышает силу тяги, движущую яхту вперед; на галфвинде обе силы примерно равны; в крутой бакштаг (истинный ветер около 135° относительно курса яхты) движущая сила оказывается в 2–3 раза больше силы дрейфа, а на чистом фордевинде сила дрейфа вовсе отсутствует. Следовательно, для того чтобы судно успешно продвигалось вперед курсом от бейдевинда до галфвина, оно должно обладать достаточным боковым сопротивлением дрейфу, намного превышающим сопротивление воды движению яхты по курсу.

Функцию создания силы сопротивления дрейфу у современных яхт выполняют в основном шверты, плавниковые кили и рули.

Как мы уже говорили, непременным условием возникновения силы сопротивления дрейфу является движение яхты под небольшим углом к ΔP — углом дрейфа. Рассмотрим, что при этом происходит в потоке воды непосредственно у киля, который представляет собой крыло с поперечным сечением в виде тонкого симметричного аэродинамического профиля (рис. 1.8).

Если угол дрейфа отсутствует (рис. 1.8, a), то поток воды, встретившись с профилем киля в точке a , разделяется на две части. В этой точке, называемой критической, скорость потока равна 0, давление максимальное, равное скоростному напору $(\rho \cdot v^2)/2$, где: ρ — массовая плотность воды (для пресной воды $= 102 \text{ кгс}^2/\text{м}^4$); v — скорость движения яхты (м/с).

И верхняя и нижняя части потока одновременно обтекают поверхности профиля и вновь встречаются в точке b на выходящей кромке. Очевидно, что никакой силы, направленной

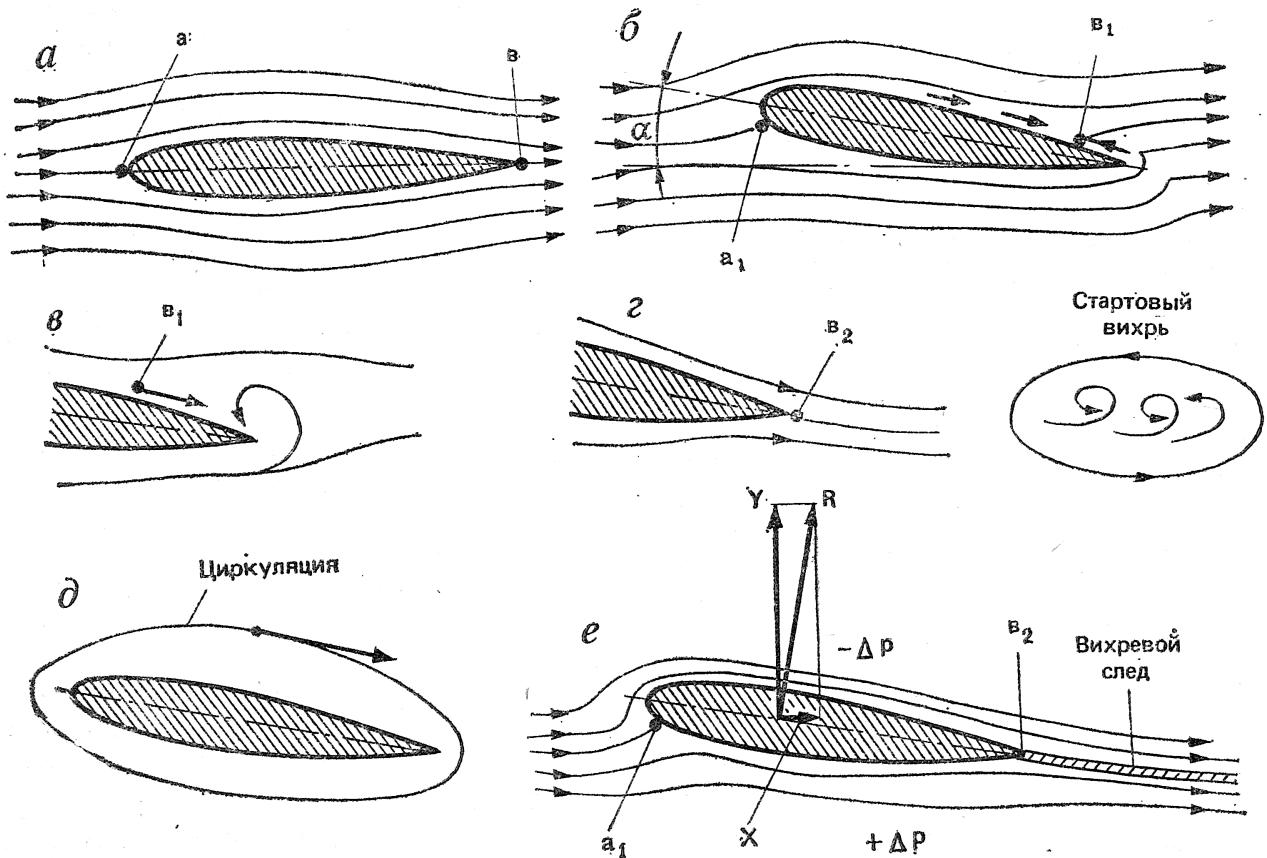


Рис. 1.8. Образование подъемной силы на крыле

а — обтекание профиля при $\alpha = 0$; б и в — образование стартового вихря; г — отрыв стартового вихря; д — появление устойчивой циркуляции потока вокруг крыла; е — схема действующих сил при развитой циркуляции

поперек потока, на профиле возникнуть не может; будет действовать только одна сила сопротивления трения, обусловленная вязкостью воды.

Если же профиль отклонить на некоторый угол атаки α (в случае яхтенного киля — угол дрейфа), то картина обтекания профиля изменится (рис. 1.8, б). Критическая точка a переместится на нижнюю часть «носика» профиля. Путь, который должна пройти частица воды вдоль верхней поверхности профиля, удлинится, а точка b_1 , где по условиям неразрывности потока должны были бы встретиться частицы, обтекающие верхнюю и нижнюю поверхности профиля, пройдя равный путь, оказывается на верхней поверхности. Однако при огибании острой выходящей кромки профиля нижняя часть потока срывается с кромки в виде вихря (рис. 1.8, в и г). Этот вихрь, называемый стартовым, вращаясь против часовой стрелки, вызывает циркуляцию воды вокруг профиля в обратном направлении, т. е. по часовой стрелке (рис. 1.8, д). Данное явление, вызванное силами вязкости, аналогично вращению большого зубчатого колеса (циркуляция), находящегося в зацеплении с малой ведущей шестерней (стартовый вихрь).

После того как возникает циркуляция, стартовый вихрь срывается с выходящей кромки, точка b_2 перемещается ближе к этой кромке, вследствие чего здесь больше не существует разности скоростей, с которыми крыло покидают верхняя и нижняя части потока. Циркуляция же вокруг крыла становится причиной возникновения подъемной силы Y , направлен-

ной поперек потока: у верхней поверхности крыла скорость частиц воды за счет циркуляции увеличивается, у нижней, встречаясь с частицами, вовлеченными в циркуляцию, — затормаживается. Соответственно у верхней поверхности давление понижается по сравнению с давлением в потоке перед крылом, а у нижней поверхности — повышается. Разность давлений и дает подъемную силу \mathbf{Y} .

Кроме того, на профиль будет действовать **сила лобового (профильного) сопротивления \mathbf{X}** , возникающая вследствие трения воды о поверхность профиля и гидродинамического давления на его переднюю часть.

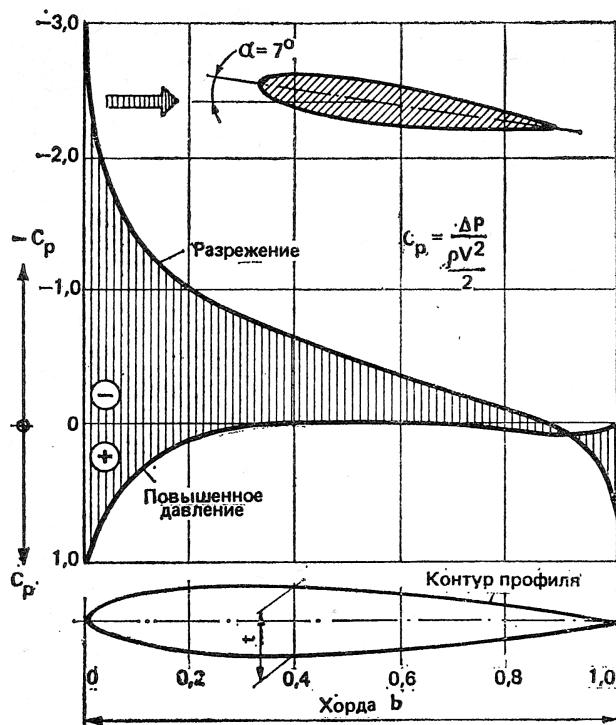


Рис. 1.9. Распределение давления по ширине симметричного аэродинамического профиля при угле атаки $\alpha = 7^\circ$

На рис. 1.9 представлены результаты замера давления у поверхности симметричного профиля, сделанного в аэродинамической трубе. По оси ординат отложено значение коэффициента C_p , который представляет собой отношение избыточного давления (полное давление минус атмосферное) к скоростному напору $(\rho \cdot v^2)/2$. На верхней стороне профиля давление отрицательное (разрежение), на нижней — положительное. Таким образом, подъемная сила, действующая на любой элемент профиля, складывается из действующих на него сил давления и разрежения, а в целом она пропорциональна площади, заключенной между кривыми распределения давления по хорде профиля (на рис. 1.9 заштриховано).

Данные, представленные на рис. 1.9, позволяют сделать ряд важных выводов о работе яхтенного киля. Во-первых, главную роль в создании боковой силы играет разрежение, возникающее на поверхности плавника со стороны наветренного борта. Во-вторых, пик разрежения располагается вблизи входящей кромки киля. Соответственно точка приложения результирующей подъемной силы находится на передней трети хорды плавника. В целом же подъемная сила возрастает вплоть до угла атаки $15 \div 18^\circ$, после чего внезапно падает.

Вследствие образования завихрения на стороне разрежения плавное обтекание крыла нарушается, разрежение падает и происходит срыв потока (это явление более подробно рас-

смотрено в гл. 2 для парусов). Одновременно с увеличением угла атаки возрастает лобовое сопротивление — оно достигает максимума при $\alpha = 90^\circ$.

Величина дрейфа современной яхты редко превышает 5° , так что срыв потока с киля можно не опасаться. Однако критический угол атаки должен учитываться для яхтенных рулей, которые проектируются и работают также по принципу крыла.

Рассмотрим основные параметры яхтенных килей, которые оказывают существенное влияние на их эффективность в создании силы сопротивлению дрейфу. В равной степени изложенное далее можно распространить и на рули с учетом того, что они работают со значительно большим углом атаки.

Толщина и форма поперечного сечения киля. Испытания симметричных аэродинамических профилей показали, что более толстые профили (с большей величиной отношения толщины сечения t к его хорде b) дают большую подъемную силу. Их лобовое сопротивление выше, чем у профилей с меньшей относительной толщиной. Оптимальные результаты могут быть получены при $t/b = 0,09 \div 0,12$. Величина подъемной силы на таких профилях сравнительно мало зависит от скорости яхты, поэтому кили развивают достаточную силу сопротивления дрейфа и в слабый ветер.

Существенное влияние на величину силы сопротивления дрейфу оказывает положение максимальной толщины профиля по длине хорды. Наиболее эффективными оказываются профили, у которых максимальная толщина расположена на расстоянии $40 \div 50\%$ хорды от их «носика». Для яхтенных рулей, работающих под большими углами атаки, используют профили с максимальной толщиной, расположенной несколько ближе к передней кромке, — до 30% хорды.

Определенное влияние на эффективность киля оказывает форма, «носика» профиля — радиус округления входящей кромки. Если кромка слишком острая, то набегающий на киль поток получает здесь большое ускорение и срывается с профиля в виде вихрей. При этом происходит падение подъемной силы, особенно существенное при больших углах атаки. Поэтому подобное заострение входящей кромки недопустимо для рулей.

Аэродинамическое удлинение. У концов крыла обнаруживается перетекание воды из области повышенного давления на спинку профиля. В результате с концов крыла срываются вихри, образующие две вихревые дорожки. На их поддержание затрачивается довольно значительная часть энергии, образуя так называемое **индуктивное сопротивление**. Кроме того, вследствие выравнивания давлений у концов крыла происходит местное падение подъемной силы, как это показано на эпюре распределения её по длине крыла на рис. 1.10.

Чем короче длина крыла L по отношению к его хорде b , т. е. чем меньше его удлинение L/b , тем относительно больше потеря подъемной силы и тем выше индуктивное сопротивление. В аэrodинамике принято оценивать удлинение крыла по формуле $\lambda = L^2/S$ (где S — площадь крыла), которая может быть применена для крыльев и плавников любых очертаний. При прямоугольной форме аэродинамическое удлинение равно соотношению $\lambda = L/b$; для треугольного крыла $\lambda = 2 \cdot L/b$. На рис. 1.10 показано крыло, составленное из двух трапециевидных плавниковых килей. На яхте киль крепится широким основанием к днищу, поэтому здесь перетекание воды на сторону разрежения отсутствует и под влиянием корпуса давления на обоих поверхностях выравнивается. Без этого влияния можно было бы считать аэродинамическое удлинение вдвое большим, чем отношение глубины киля к его осадке. На практике же это отношение, зависящее от размеров киля, обводов яхты и угла крена превышается только в $1,2 \div 1,3$ раза.

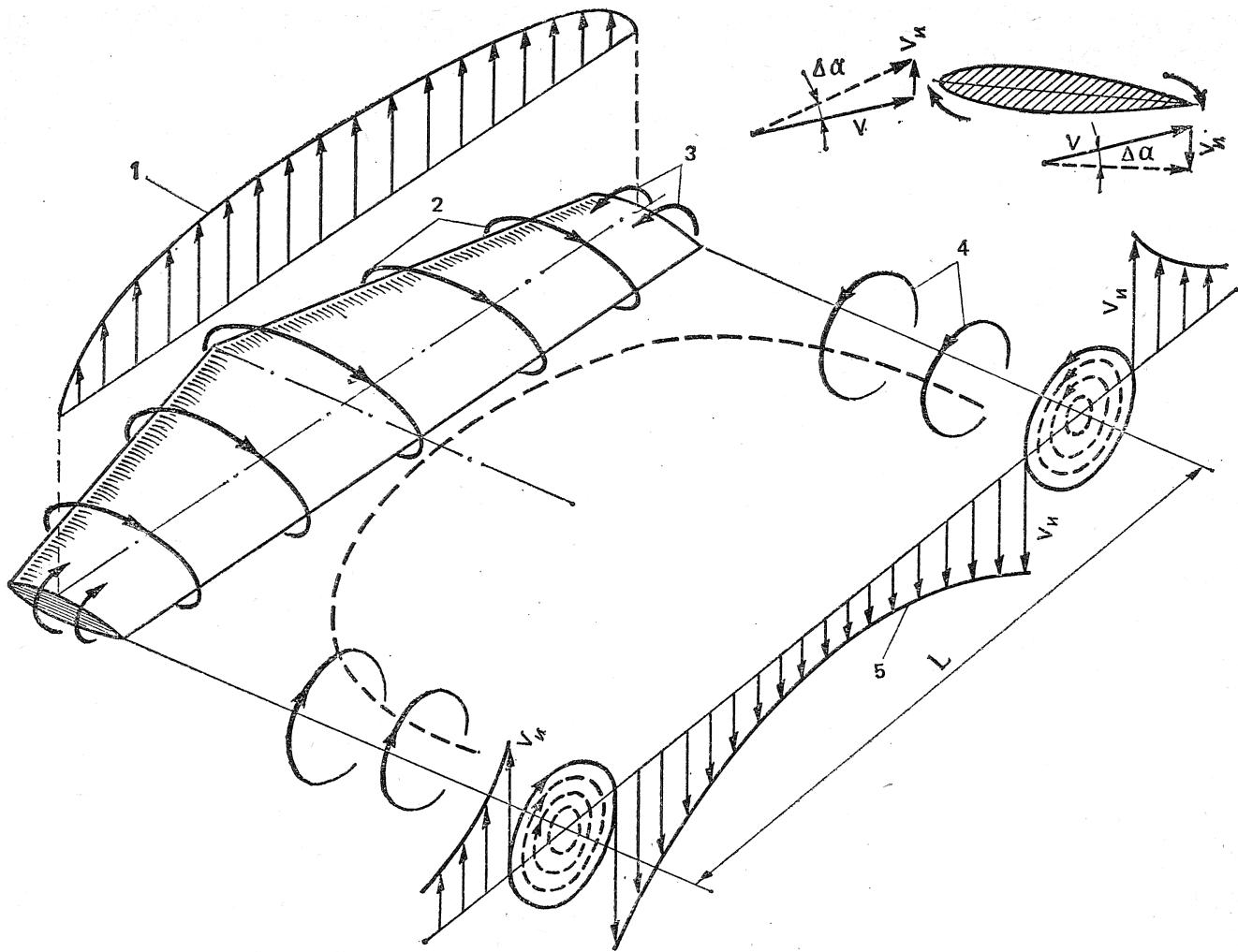


Рис. 1.10. Схема обтекания крыла конечного размаха

1 — распределение подъемной силы по длине крыла; 2 — циркуляция; 3 — перетекание жидкости по концам крыла; 4 — концевые вихри; 5 — распределение вызванных скоростей по размаху крыла L

Влияние аэродинамического удлинения киля на величину развиваемой им силы сопротивления дрейфу R_d можно оценить по результатам испытаний плавника, имеющего профиль NACA 009 ($t/b = 9\%$) и площадь $0,37 \text{ м}^2$ (рис. 1.11). Скорость потока соответствовала скорости движения яхты 3 узла ($1,5 \text{ м/с}$). Интерес представляет изменение силы сопротивления дрейфу при угле атаки $4 \div 6^\circ$, что соответствует углу дрейфа яхты на курсе бейдевинд. Если принять силу R_d при удлинении $\lambda = 1$ за единицу ($6,8$ при $\alpha = 5^\circ$), то при увеличении λ до 2 сопротивление дрейфу увеличивается более чем в $1,5$ раза ($10,4 \text{ кг}$), а при $\lambda = 3$ — ровно вдвое ($13,6 \text{ кг}$). Этот же график может служить для качественной оценки эффективности рулей различного удлинения, которые работают в области больших углов атаки.

Таким образом, увеличивая удлинение плавника киля, можно получить необходимую величину боковой силы R_d при меньшей площади киля и, следовательно, при меньшей площади смоченной поверхности и сопротивлении воды движению яхты. Удлинение килей на современных крейсерско-гоночных яхтах составляет в среднем $\lambda = 1 \div 3$. Перо руля, служа-

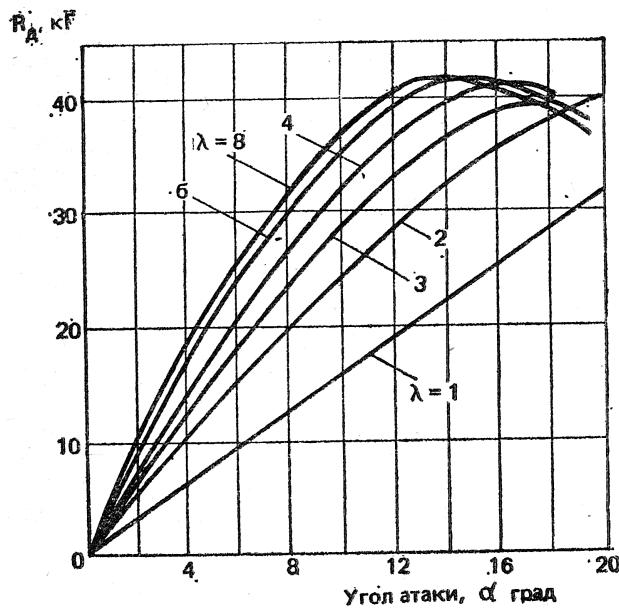


Рис. 1.11. Зависимость сопротивления дрейфу от удлинения киля и угла атаки

щее не только для управления судном, но и являющееся составным элементом в создании сопротивления яхты, имеет еще большее удлинение, приближающееся к $\lambda = 4$.

Площадь и формы киля. Чаще всего размеры киля определяют по статистическим данным, сравнивая проектируемую яхту с хорошо зарекомендовавшими себя судами. На современных крейсерско-гоночных яхтах с раздельным от киля рулём суммарная площадь киля и руля составляет от 4,5 до 6,5% площади парусности яхты, а площадь руля — 20÷40% площади киля.

Для получения оптимального удлинения конструктор яхты стремится принять осадку наибольшей допускаемой по условиям плавания или правилами обмера. Чаще всего киль имеет вид трапеции с наклонной передней кромкой. Как показали исследования, для яхтенных киелей, имеющих удлинение от 1 до 3, угол между передней кромкой и вертикалью в пределах от -8° до $22,5^\circ$ практически не влияет на гидродинамические характеристики киля. Если киль (или шверт) очень узкий и длинный, то наклон передней кромки более 15° к вертикали сопровождается отклонением линий тока воды вниз по профилю — по направлению к нижнему заднему углу. Вследствие этого падает подъемная сила и возрастает лобовое сопротивление киля. В данном случае оптимальный угол наклона составляет 5° к вертикали.

На величину подъемной силы, развиваемой килем и рулём, значительно влияет качество отделки его поверхности, особенно передней кромки, где формируется поток, обтекающий профиль. Поэтому рекомендуется полировать киль и руль на расстоянии не менее 1,5% хорды профиля.

Скорость яхты. Подъемная сила на любом крыле определяется по формуле:

$$Y = C_Y \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} \cdot S, \text{ кгс}, \quad (1.11)$$

где: C_Y — коэффициент подъемной силы, зависящий от параметров крыла — формы профиля, удлинения, очертаний в плане, а также от угла атаки — с увеличением угла атаки он возрастает; ρ — массовая плотность воды, $\text{кгс}^2/\text{м}^4$; v — скорость потока, обтекающего крыло, $\text{м}/\text{с}$; S — площадь крыла, м^2 .

Таким образом, сила сопротивления дрейфу — величина переменная, пропорциональная квадрату скорости. В начальный момент движения яхты, например, после поворота оверштаг, когда судно теряет ход, или при отходе от бона в прижимной ветер, подъемная сила на киле невелика. Для того чтобы сила \mathbf{Y} сравнялась с силой дрейфа \mathbf{F}_d , киль должен расположиться к набегающему потоку под большим углом атаки. Иными словами, судно начинает движение с большим углом дрейфа. По мере набора скорости угол дрейфа уменьшается, пока не достигнет своей нормальной величины — $3 \div 5^\circ$.

Это обстоятельство должен учитывать капитан, предусматривая достаточно места с подветра при разгоне яхты или после поворота на новый галс. Большой начальный угол дрейфа необходимо использовать для скорейшего набора скорости, слегка потравив шкоты. Кстати, благодаря этому уменьшается сила дрейфа на парусах.

Необходимо также помнить механику возникновения подъемной силы, которая появляется на киле только после отрыва стартового вихря и развития устойчивой циркуляции. На узком киле современной яхты циркуляция возникает быстрее, чем на корпусе яхты с навесным на киле рулем, т. е. на крыле с большой хордой. Вторая яхта больше сдрейфует под ветер, прежде чем корпус начнет эффективно препятствовать дрейфу.

1.8. Управляемость

Управляемостью называется качество судна, позволяющее ему следовать по заданному курсу или изменять направление движения. Управляемой может считаться только та яхта, которая реагирует нужным образом на перекладку руля.

Управляемость объединяет два свойства судна — устойчивость на курсе и поворотливость.

Устойчивость на курсе — это способность яхты удерживать заданное прямолинейное направление движения при действии на нее различных внешних сил: ветра, волнения и т. п. Устойчивость на курсе зависит не только от конструктивных особенностей яхты и характера действия внешних сил, но и от реакции рулевого на отклонение судна от курса, его чутья руля.

Обратимся вновь к схеме действия внешних сил на паруса и корпус яхты (см. рис. 1.4). Решающее значение для устойчивости яхты на курсе имеет взаимное расположение двух пар сил. Кренящая сила \mathbf{F}_d и сила сопротивления дрейфу \mathbf{R}_d стремятся увалить нос яхты под ветер, в то время как вторая пара — сила тяги \mathbf{T} и сопротивление движению \mathbf{R} приводит яхту к ветру. Очевидно, что реакция яхты зависит от соотношения величины рассматриваемых сил и плеч a и b , на которых они действуют. При увеличении угла крена плечо приводящей пары b также увеличивается. Плечо уваливающей пары, a зависит от взаимного расположения центра парусности ($ЦП$) — точки приложения результирующей аэродинамических сил к парусам и центра бокового сопротивления ($ЦБС$) — точки приложения результирующей гидродинамических сил к корпусу яхты. Положение этих точек изменяется в зависимости от многих факторов: курса яхты относительно ветра, формы и настройки парусов, крена и дифферента яхты, формы и профиля киля и руля и т. п.

Поэтому при проектировании и перевооружении яхт оперируют с условными $ЦП$ и $ЦБС$, считая их расположенными в центрах тяжести плоских фигур, которыми являются паруса, поставленные в диаметральной плоскости яхты, и подводные очертания $ДП$ с килем, плавниками и рулем (рис. 1.12).

Известно, что центр тяжести треугольного паруса располагается на пересечении двух медиан, а общий центр тяжести двух парусов находится на отрезке прямой, соединяющей

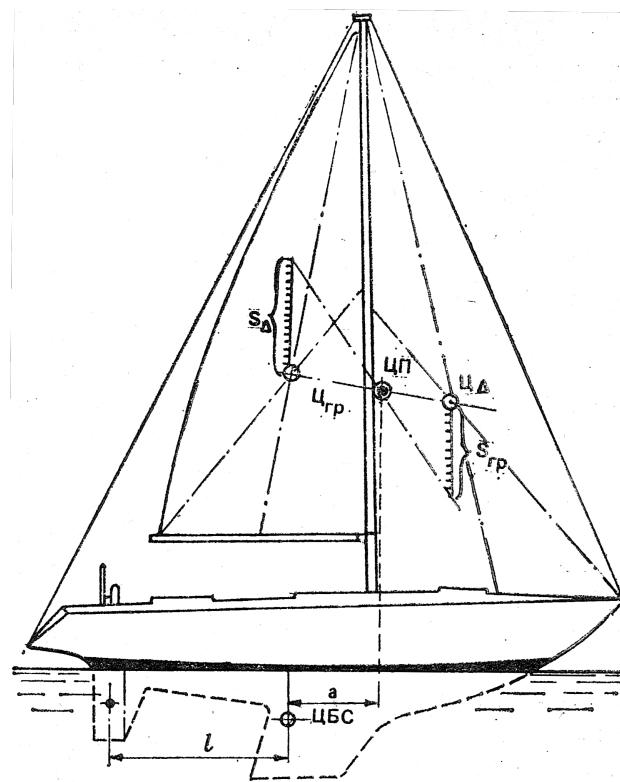


Рис. 1.12. Схема определения геометрического центра парусности яхты с вооружением типа «шлюп»

ЦП обоих парусов, и делит этот отрезок обратно пропорционально их площади. Обычно, в расчет принимается не фактическая площадь стакселя, а обмерная площадь переднего парусного треугольника.

Положение ЦБС можно определить, уравновешивая на острие иголки профиль подводной части ДП, вырезанный из тонкого картона. Когда шаблон располагается строго горизонтально, игла находится в условной точке ЦБС. Напомним, что в создании силы сопротивления дрейфу главная роль принадлежит плавниковому килю и рулю. Центры гидродинамических давлений на их профилях могут быть найдены достаточно точно, например, для профилей с относительной толщиной t/b около 8 % эта точка находится на расстоянии около 26 % хорды от входящей кромки. Однако корпус яхты, хотя и участвует в создании поперечной силы в малой степени, вносит определенные изменения в характер обтекания киля и руля, причем он изменяется в зависимости от угла крена и дифферента, а также скорости яхты. В большинстве случаев на курсе бейдевинд истинный ЦБС перемещается вперед.

Конструкторы, как правило, располагают ЦП на некотором расстоянии (опережении) впереди ЦБС. Обычно опережение задается в процентах длины судна по ватерлинии и составляет для бермудского шлюпа $15 \div 18 \% L_{KBL}$.

Если истинный ЦП оказывается расположенным слишком далеко впереди ЦБС, яхта на курсе бейдевинд уваливается под ветер и рулевому приходится постоянно держать руль отклоненным на ветер. Если же ЦП оказывается позади ЦБС, то яхта стремится привестись к ветру; требуется постоянная работа рулем, чтобы сдерживать судно.

Особенно неприятна тенденция яхты к уваливанию. В случае аварии с рулем яхту не удается с помощью одних парусов привести на курс бейдевинд, кроме того, она обладает

повышенным дрейфом. Дело в том, что киль яхты отклоняет стекающий с него поток воды ближе к *ДП* судна. Поэтому если руль стоит прямо, он работает с заметно меньшим углом атаки, чем киль. Если отклонить руль в наветренную сторону, то образуемая на нем подъемная сила оказывается направленной в подветренную сторону — туда же, что и сила дрейфа на парусах. В данном случае киль и руль «тянут» в разные стороны и яхта неустойчива на курсе.

Иное дело легкая тенденция яхты приводиться. Переложенный на небольшой угол ($3 \div 4^\circ$) под ветер руль работает с таким же или несколько большим углом атаки, что и киль, и эффективно участвует в сопротивлении дрейфу. Поперечная сила, возникающая на руле, вызывает значительное смещение общего *ЦБС* к корме, одновременно уменьшается угол дрейфа, яхта устойчиво лежит на курсе.

Однако если на курсе бейдевинд руль приходится постоянно перекладывать под ветер на большую величину, чем $3 \div 4^\circ$, следует подумать о корректировке относительного положения *ЦБС* и *ЦП*. На уже построенной яхте это проще делать, перемещая вперед *ЦП*, — устанавливая мачту в степе в крайнее носовое положение или наклоняя её вперед. Причиной приведения яхты может быть также гrott — слишком «пузатый» или с перебранной задней шкаториной. В этом случае полезен промежуточный штаг, с помощью которого можно придать мачте в средней части (по высоте) прогиб вперед и тем самым сделать парус более плоским, а также ослабить заднюю шкаторину. Можно также укоротить длину нижней шкаторины грота.

Сложнее сместить в корму *ЦБС*, для чего нужно установить кормовой плавничок перед рулем или увеличить площадь пера руля.

Мы уже говорили, что при увеличении крена увеличивается, и тенденция яхты приводиться. Это происходит не только вследствие увеличения плеча приводящей пары сил — **T** и **R**. При крене гидродинамическое давление в районе носовой волны повышается, что приводит к смещению *ЦБС* вперед. Поэтому в свежий ветер для уменьшения тенденции яхты приводиться следует переместить вперед и *ЦП*: взять риф на гроте или немного перетравить его для данного курса. Полезно также сменить стаксель на меньший по площади, благодаря чему уменьшается крен и дифферент яхты на нос.

Опытный конструктор при выборе величины опережения обычно учитывает остойчивость яхты, чтобы компенсировать рост приводящего момента при крене: для яхты с меньшей остойчивостью задается большая величина опережения, для более остойчивых судов опережение принимается минимальным.

Хорошо уцентрованные яхты часто обладают повышенной рыскливостью на курсе бакштаг, когда потравленный на борт грот стремится развернуть яхту носом к ветру. Этому помогает и высокая волна, набегающая с кормы под углом к *ДП*. Чтобы одерживать яхту на курсе, приходится сильно работать рулем, отклоняя его на критический угол, когда возможен срыв потока с его подветренной поверхности (обычно это случается при углах атаки $a 15 \div 20^\circ$). Это явление сопровождается потерей подъемной силы на руле и, следовательно, управляемости яхты. Яхта внезапно может резко броситься к ветру и получить большой крен, при этом из-за уменьшения углубления пера руля на сторону разрежения может прорваться воздух с поверхности воды.

Борьба с этим явлением, получившим название **брочинг**, заставляет увеличивать площадь пера руля и его удлинение, устанавливать перед рулем плавник, площадь которого составляет около четверти площади пера. Благодаря наличию плавника перед рулем организуется направленный поток воды, увеличиваются критические углы атаки руля, предотвращается

прорыв воздуха к нему и уменьшается усилие на румпеле. При плавании в бакштаг экипаж должен стремиться к тому чтобы тяга спинакера была направлена по возможности вперед, а не вбок чтобы избежать излишнего крена. Важно также препятствовать появлению дифферента на нос, при котором может уменьшиться углубление руля. Броучингу способствует также бортовая качка яхты, появляющаяся вследствие срывов потока воздуха со спинакера.

Устойчивость на курсе помимо рассмотренного влияния внешних сил и взаимного расположения их точек приложения определяется конфигурацией подводной части ДП. Ранее для дальних плаваний по открытой воде отдавали предпочтение яхтам с длинной килевой линией, как обладающим большим сопротивлением повороту и соответственно — устойчивостью на курсе. Однако этому типу судов свойственны существенные недостатки например большая смоченная поверхность и плохая поворотливость. К тому же выяснилось, что устойчивость на курсе зависит не столько от величины боковой проекции ДП, сколько от положения руля относительно ЦБС, т. е. от «рычага», на котором действует руль. Отмечено, что если это расстояние оказывается менее $25\% L_{KB,L}$, то яхта становится рыскливой и плохо реагирует на отклонение руля. При $l = 40 \div 45\% L_{KB,L}$ (см. рис. 1.12) удержание судна на заданном курсе не составляет труда.

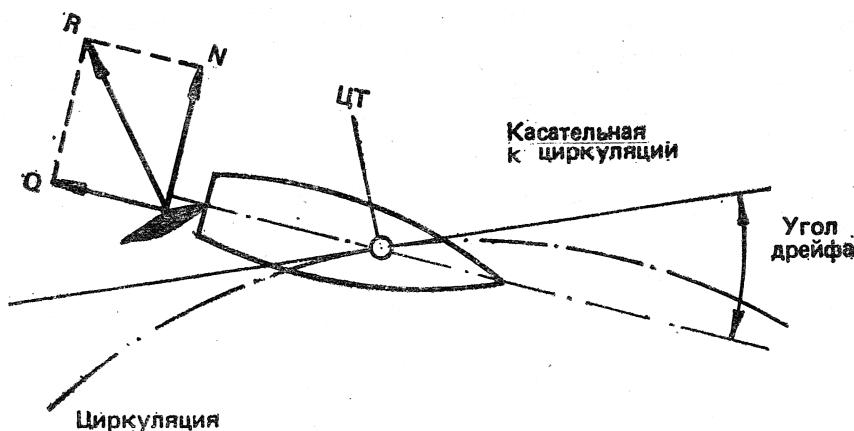


Рис. 1.13. Действие руля и схема движения яхты на циркуляции

Поворотливость — способность судна изменять направление движения, описывать траекторию под действием руля и парусов. Действие руля основано на том же принципе гидродинамического крыла, что рассматривался и для яхтенного киля. При перекладке руля на некоторый угол возникает гидродинамическая сила R , одна из составляющих которой N толкает корму яхты в сторону, противоположную той, в которую положен руль (рис. 1.13). Под её действием судно начинает двигаться по кривой траектории. Одновременно сила R дает составляющую Q — силу сопротивления, тормозящую ход яхты.

Если закрепить руль в одном положении, то судно пойдет примерно по окружности, называемой циркуляцией. Диаметр или радиус циркуляции является мерой поворотливости судна: чем больше радиус циркуляции, тем хуже поворотливость. По циркуляции движется только центр тяжести яхты, корму выносит наружу. Одновременно судно получает дрейф, вызванный центробежной силой и отчасти силой N на пере руля.

Радиус циркуляции зависит от скорости и массы яхты, её момента инерции относительно вертикальной оси, проходящей через $ЦТ$, от эффективности руля — величины силы N и её плеча относительно $ЦТ$ при данном отклонении руля. Чем больше скорость и водоизмещение яхты, чем больше тяжелых масс (двигатель, якоря, детали оборудования) размещено в окон-

нечностях судна, тем больше радиус циркуляции. Обычно радиус циркуляции, определенный на ходовых испытаниях яхты, выражают в длинах корпуса.

Поворотливость тем лучше, чем короче подводная часть судна и чем ближе к миделю сконцентрирована её основная площадь. Плохой поворотливостью обладают, например, суда с длинной килевой линией (типа военно-морских шлюпок) и, наоборот, хорошей — швертботы с узкими глубокими швертами.

Эффективность руля зависит от площади и формы пера, профиля поперечного сечения, аэродинамического удлинения, типа установки (на ахтерштевне, отдельно от киля или на плавнике), а также расстояния баллера от ЦБС. Наибольшее распространение получили рули, спроектированные в виде крыла с аэродинамическим профилем поперечного сечения. Максимальной толщина профиля принимается обычно в пределах $10 \div 12\%$ хорды и располагается на $1/3$ хорды от передней кромки. Площадь руля составляет обычно $9,5 \div 11\%$ площади погруженной части ΔP яхты.

Руль с большим удлинением (отношение квадрата глубины погружения руля к его площади) развивает большую поперечную силу на малых углах атаки, благодаря чему он эффективно участвует в обеспечении боковой силы сопротивления дрейфу. Однако, как было показано на рис. 1.11, на определенных углах атаки профилей различного удлинения происходит отрыв потока от поверхности разрежения, после чего подъемная сила на профиле существенно падает. Например, при $\lambda = 6$ критический угол перекладки руля составляет 15° ; при $\lambda = 2$ составляет 30° . В качестве компромисса применяют рули с удлинением $\lambda = 4 \div 5$ (соотношение сторон прямоугольного руля $2 \div 2,5$), а для повышения критического угла перекладки устанавливают перед рулем плавник-скег. Руль с большим удлинением быстрее реагирует на перекладку, так как циркуляция потока, обусловливающая подъемную силу, быстрее развивается вокруг профиля с малой хордой, чем вокруг всей подводной части корпуса с навесным на ахтерштевне рулем.

Верхняя кромка руля должна плотно прилегать к корпусу в пределах рабочих отклонений $\pm 30^\circ$, чтобы препятствовать перетеканию воды через нее; в противном случае эффективность работы руля ухудшается. Иногда на пере руля, если он навешен на транце, закрепляют аэродинамическую шайбу в виде широкой пластины близ ватерлинии.

Сказанное о форме киелей применимо и к рулям: оптимальной считается трапециевидная форма с прямоугольной либо слегка скругленной нижней кромкой. Для уменьшения усилий на румпеле руль иногда делают балансирного типа — с осью вращения, расположенной на $1/4 \div 1/5$ хорды от «носика» профиля.

При управлении яхтой необходимо учитывать специфику работы руля в различных условиях, и, прежде всего срыв потока с его спинки. Нельзя делать резких перекладок руля на борт в начале поворота — произойдет срыв потока, поперечная сила N на руле упадет, зато быстро увеличится сила сопротивления R . Яхта будет входить в циркуляцию медленно и с большой потерей скорости. Начинать поворот необходимо, переложив руль на небольшой угол, но как только корма покатится наружу, и угол атаки руля начнет уменьшаться, его следует переложить на больший угол относительно ΔP яхты.

Следует помнить, что поперечная, сила на руле быстро возрастает с увеличением скорости яхты. В слабый ветер бесполезно пытаться повернуть яхту быстро, перекладывая руль на большой угол (кстати, величина критического угла зависит от скорости: на меньшей скорости отрыв потока происходит при меньших углах атаки).

Сопротивление руля при изменении курса яхты в зависимости от его формы, конструкции и расположения составляет от 10 до 40 % общего сопротивления яхты. Поэтому к технике

управления рулем (и к центровке яхты, от которой зависит устойчивость на курсе) надо относиться весьма серьезно, не допускать отклонения руля на больший угол, чем это необходимо.

1.9. Ходкость

Ходкостью называют способность яхты развивать определенную скорость при эффективном использовании энергии ветра.

Скорость, которую может развить яхта, зависит прежде всего от скорости ветра, поскольку все аэродинамические силы, действующие на парус в том числе и сила тяги, возрастают пропорционально квадрату скорости вымпельного ветра. Кроме того, она зависит и от энерговооруженности судна — отношения площади парусности к его размерениям. В качестве характеристики энерговооруженности чаще всего применяют отношение $S^{1/2}/V^{1/3}$ (где S — площадь парусности m^2 ; V — полное водоизмещение, m^3); или S/Ω (здесь Ω — смоченная поверхность корпуса, включая киль и руль). Сила тяги, а, следовательно, и скорость яхты, определяется еще и способностью парусного вооружения развивать достаточную тягу на различных курсах по отношению к направлению ветра.

Перечисленные факторы относятся к парусам — движителю яхты, преобразующему энергию ветра в движущую силу **T**. Как было показано на рис. 1.4, эта сила при равномерном движении яхты должна быть равна и противоположно направлена силе сопротивления движению **R**. Последняя представляет собой проекцию результирующих всех гидродинамических сил, действующих на смоченную поверхность корпуса, на направление движения.

Различают два рода гидродинамических сил: силы давления, направленные перпендикулярно поверхности корпуса, и силы вязкости, действующие по касательной к этой поверхности. Результирующая сила вязкости дает силу **сопротивления трения**.

Силы давления обусловлены образованием при движении яхты волн на поверхности воды, поэтому их результирующая дает силу **волнового сопротивления**.

При большой кривизне поверхности корпуса в кормовой части пограничный слой может отрываться от обшивки, могут образовываться завихрения, поглощающие часть энергии движущей силы. Так возникает еще одна составляющая сопротивления движению яхты — **сопротивление формы**.

Еще два вида сопротивления появляются в связи с тем, что яхта движется не прямо вдоль **ДП**, а с некоторым углом дрейфа и с креном. Это **индуктивное** и **креновое** сопротивления. Существенную долю в индуктивном сопротивлении занимает сопротивление выступающих частей — киля и руля.

Наконец, движению яхты вперед оказывает сопротивление и воздух, омывающий корпус, экипаж, развитую систему тросов такелажа и паруса. Эта часть сопротивления носит название **воздушного**.

Сопротивление трения. При движении яхты частицы воды, непосредственно примыкающие к обшивке корпуса, как бы прилипают к ней и увлекаются вместе с судном. Скорость этих частиц относительно корпуса равна нулю (рис. 1.14). Следующий слой частиц, скользя по первому, уже немного отстает от соответствующих точек корпуса, а на определенном расстоянии от обшивки вода вообще остается неподвижной или имеет скорость относительно корпуса, равную скорости яхты v . Этот слой воды, в котором действуют силы вязкости, а скорость движения частиц воды относительно корпуса возрастает от 0 до скорости судна, называется **пограничным слоем**. Толщина его относительно невелика и составляет от 1 до

2 % длины корпуса по ватерлинии, однако характер или режим движения частиц воды в нем оказывает существенное влияние на величину сопротивления трения.

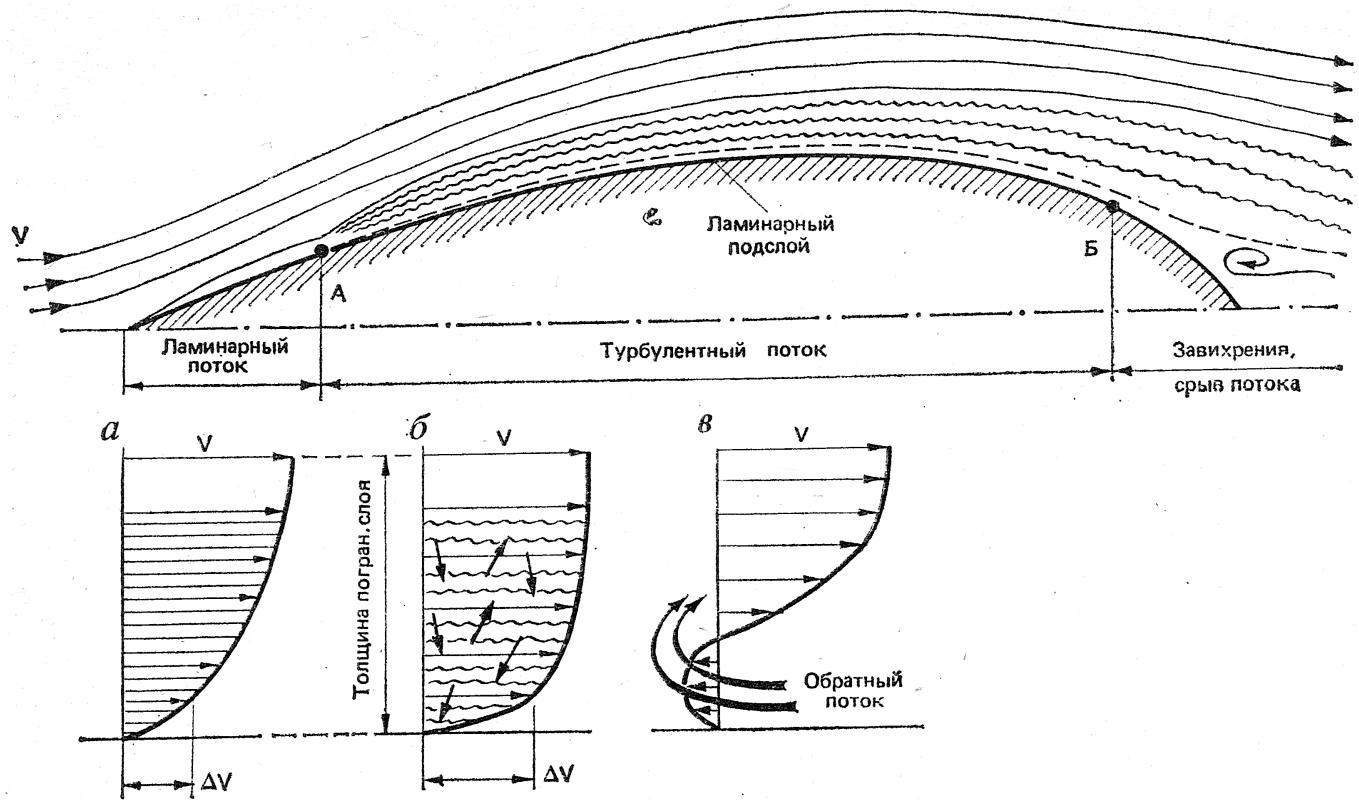


Рис. 1.14. Потоки жидкости около корпуса яхты

A — точка перехода ламинарного пограничного слоя в турбулентный; *B* — точка отрыва потока от корпуса; *a* — изменение скоростей потока в ламинарном пограничном слое; *б* — изменение скоростей потока в турбулентном слое; *в* — изменение скоростей в пограничном слое в корму от точки *B*

Установлено, что режим движения частиц изменяется в зависимости от скорости судна и длины его смоченной поверхности. В гидродинамике эта зависимость выражается числом Рейнольдса:

$$Re = \frac{v \cdot L}{\nu} , \quad (1.12)$$

где: ν — коэффициент кинематической вязкости воды (для пресной воды $\nu = 1,15 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$); L — длина смоченной поверхности, м; v — скорость яхты, м/с.

При относительно небольшом числе $Re = 10^6$ частицы воды в пограничном слое движутся слоями, образуя ламинарный поток. Его энергии оказывается недостаточно, чтобы преодолеть силы вязкости, препятствующие поперечным перемещениям частиц. Наибольший перепад скорости между слоями частиц оказывается непосредственно у поверхности корпуса; соответственно и силы трения имеют здесь наибольшую величину.

Число Рейнольдса в пограничном слое увеличивается по мере удаления частиц воды от форштевня (с возрастанием смоченной длины). При скорости 2 м/с, например, уже на расстоянии около 2 м от него Re достигнет критической величины, при которой режим потока

в пограничном слое становится вихревым, т. е. турбулентным и направленным поперек пограничного слоя. Вследствие возникшего обмена кинетической энергией между слоями скорость частиц близ поверхности корпуса растет в большей степени, чем при ламинарном потоке. Перепад скоростей Δv здесь возрастает, соответственно растет и сопротивление трения. Вследствие поперечных движений частиц воды толщина пограничного слоя увеличивается, а сопротивление трения резко увеличивается.

Ламинарный режим обтекания охватывает только небольшую часть корпуса яхты в носовой его части только на малых скоростях. Критическая величина Re , при которой возникает турбулентное обтекание корпуса, лежит в пределах $5 \cdot 10^5 \div 6 \cdot 10^6$ и в значительной степени зависит от формы и гладкости поверхности его. При повышении скорости точки перехода, ламинарного пограничного слоя в турбулентный перемещается в сторону носа. При достаточно высокой скорости может наступить момент, когда вся смоченная поверхность корпуса будет охвачена турбулентным потоком. Правда, непосредственно около обшивки, где скорость обтекания близка к нулю, все же сохраняется тончайшая пленка с ламинарным режимом — ламинарный подслой.

Сопротивление трения рассчитывают по формуле:

$$R_{TP} = \zeta_{TP} \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} \cdot \Omega, \quad \text{кгс}, \quad (1.13)$$

где: R_{TP} — сопротивление трения, кг; ζ_{TP} — коэффициент сопротивления трения; ρ — массовая плотность воды; для пресной воды: $\rho = 102 \text{ кг} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$; v — скорость яхты, м/с; Ω — смоченная поверхность, м^2 .

Коэффициент сопротивления трения — величина переменная, зависящая от характера потока в пограничном слое, длины корпуса L_{KBL} , скорости v и шероховатости поверхности корпуса.

На рис. 1.15 показана зависимость коэффициента сопротивления трения ζ_{TP} от числа Re и шероховатости поверхности корпуса.

Рост сопротивления шероховатой поверхности по сравнению с гладкой нетрудно объяснить наличием в турбулентном пограничном слое ламинарного подслоя. Если бугорки на поверхности полностью погружены в ламинарный подслой, то они не вносят существенных изменений в характер ламинарного течения подслоя. Если же неровности превышают толщину подслоя и выступают над ним, то происходит турбулизация движения частиц воды по всей толщине пограничного слоя, и коэффициент трения соответственно возрастает.

Рис. 1.15 позволяет оценить важность отделки днища яхты для снижения её сопротивления трения. Например, если яхта длиной 7,5 м по ватерлинии идет со скоростью $v = 6$ узл. (3,1 м/с), то соответствующее число $Re = (3,1 \cdot 7,5) / (1,15 \cdot 10^{-6}) = 2 \cdot 10^7$.

Допустим, что днище яхты имеет шероховатость (среднюю высоту неровностей) $k = 0,2$ мм, что соответствует относительной шероховатости $L/k = 7500/0,2 = 3,75 \cdot 10^4$.

Для данной шероховатости и числа Re коэффициент трения равен $\zeta_{TP} = 0,0038$ (точка Г).

Оценим, можно ли получить в данном случае поверхность днища, близкую к технически гладкой. При $Re = 2 \cdot 10^7$ такой поверхности соответствует относительная шероховатость $L/k = 3 \cdot 10^5$ или абсолютная шероховатость $k = 7500/3 \cdot 10^5 = 0,025$ мм. Опыт показывает, что этого можно добиться, тщательно отшлифовав днище мелкой шкуркой, а затем отлакировав его. Оправдаются ли затраченные усилия? График показывает, что коэффициент сопротивления трения снизится до $\zeta_{TP} = 0,0028$ (точка Д), или на 30 %, чем, конечно, не может пренебречь экипаж, рассчитывающий на успех в гонках.

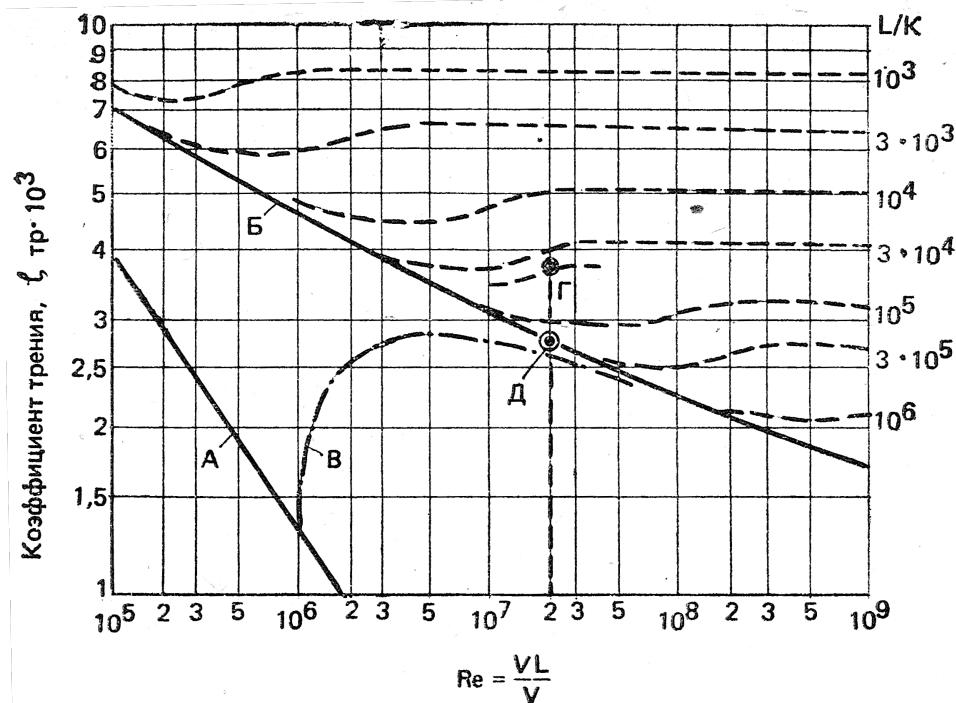


Рис. 1.15. Коэффициент сопротивления трения технически гладкой и шероховатых поверхностей в зависимости от числа Рейнольдса Re

Линия Б позволяет оценить допустимую шероховатость днища для яхт различных размеров и различной скорости. Можно заметить, что с увеличением длины по ватерлинии и скорости требования к качеству поверхности возрастают.

Для ориентировки приведем значения шероховатости (в мм) для различных поверхностей:

- деревянная, тщательно лакированная и шлифованная — $0,003 \div 0,005$;
- деревянная, окрашенная и шлифованная — $0,02 \div 0,03$;
- окрашенная патентованным покрытием — $0,04 \div 0,06$;
- деревянная, окрашенная суриком — $0,15$;
- обычная доска — $0,5$;
- обросшее ракушками днище — до $4,0$.

Мы уже говорили, что на части длины яхты, начиная от форштевня, может сохраняться ламинарный пограничный слой, если только излишняя шероховатость не будет способствовать турбулизации потока. Поэтому особенно важно тщательно обрабатывать носовую часть корпуса, все входящие кромки киля, плавников и рулей. При малых поперечных размерах — хордах следует шлифовать всю поверхность киля и руля. В кормовой части корпуса, где толщина пограничного слоя увеличивается, требования к отделке поверхности могут быть несколько снижены.

Особенно сильно отражается на сопротивлении трения обрастание днища водорослями и ракушками. Если периодически не очищать днище яхт, постоянно находящихся в воде, то через два—три месяца сопротивление трения может увеличиться на $50 \div 80\%$, что равносильно потере скорости в средний ветер на $15 \div 25\%$.

Сопротивление формы. Даже у хорошо обтекаемого корпуса на ходу можно обнаружить кильватерный след — струю, в которой вода совершает вихревые движения. Это следствие отрыва от корпуса пограничного слоя в определенной точке (Б на рис. 1.14). Положение точки зависит от характера изменения кривизны поверхности по длине корпуса. Чем плавнее обводы кормовой оконечности, тем дальше к корме происходит отрыв пограничного слоя и меньше вихреобразование.

При нормальных соотношениях длины корпуса к ширине сопротивление формы невелико. Увеличение его может быть обусловлено наличием острых сколов, сломов обводов корпуса, правильно спрофилированных килей, рулей и других выступающих частей. Сопротивление формы увеличивается с уменьшением протяженности зоны ламинарного пограничного слоя, этому следует снять наплызы краски, уменьшить шероховатость, заделать выемки в обшивке, поставить обтекатели на выступающие патрубки и т. п.

Волновое сопротивление. Возникновение волн у корпуса судна при движении вызвано действием сил тяжести жидкости на границе раздела воды и воздуха. В носовой оконечности, в месте встречи корпуса с водой, давление резко повышается, и вода поднимается на некоторую высоту. Ближе к мидию, где вследствие расширения корпуса судна скорость обтекающего потока увеличивается, давление в нем, согласно закону Бернулли, падает, и уровень воды понижается. В кормовой части, где давление вновь повышается, образуется вторая вершина волны. Частицы воды начинают совершать колебания вблизи корпуса, которые вызывают вторичные колебания поверхности воды.

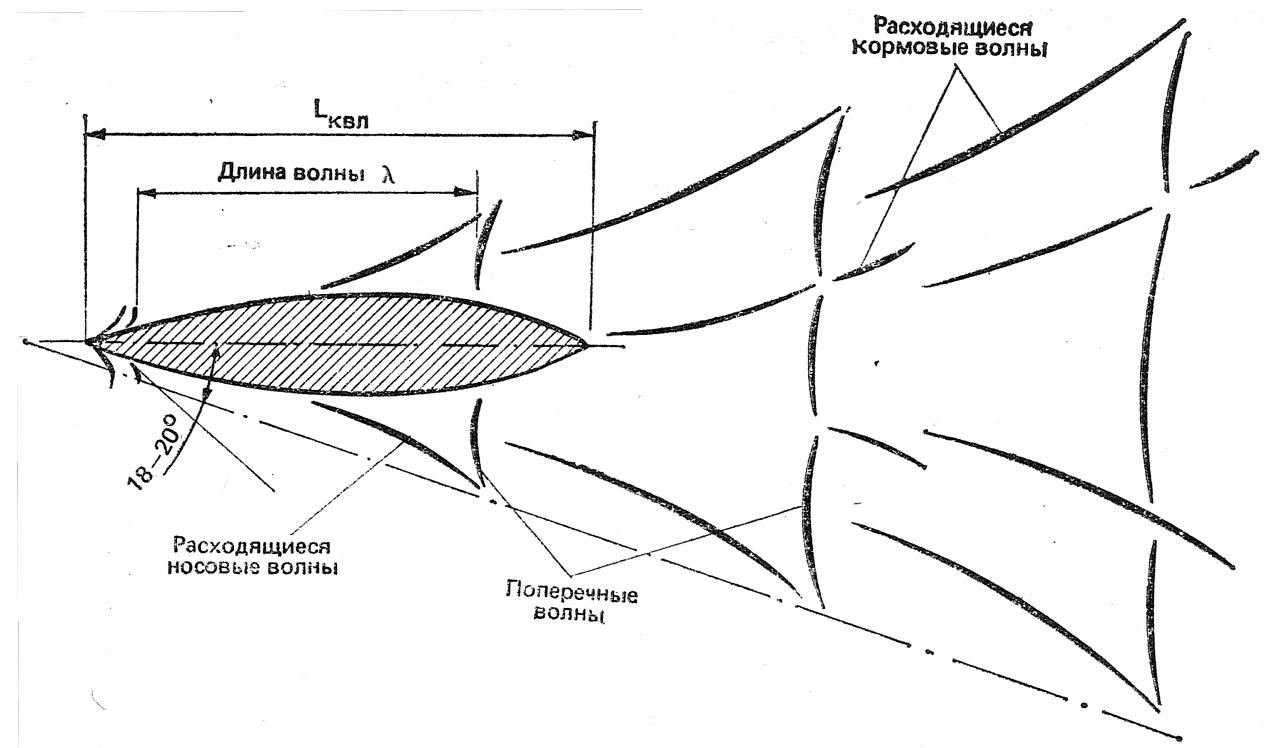


Рис. 1.16. Схема волновой системы, образующейся у корпуса судна

Возникает сложная система носовых и кормовых волн, которая по своему характеру одинакова для судов любых размеров (рис. 1.16). На малой скорости хорошо заметны расходящиеся волны, зарождающиеся в носу и корме судна. Их гребни расположены под углом $36 \div 40^\circ$ к диаметральной плоскости. На более высоких скоростях выделяются поперечные

волны, гребни которые не выходят за пределы сектора, ограниченного углом $18 \div 20^\circ$ к ДП судна. Носовая и кормовая системы поперечных волн взаимодействуют друг с другом, следствием чего может быть как увеличение высоты суммарной волны за кормой судна, так и её уменьшение. По мере удаления от судна энергия волн поглощается средой, и они постепенно затухают.

Величина волнового сопротивления изменяется в зависимости от скорости яхты. Из теории колебаний известно, что скорость распространения волн связана с их длиной λ соотношением

$$\lambda = \frac{2\pi \cdot v^2}{g}, \quad \text{м}, \quad (1.14)$$

где: v — скорость яхты, м/с; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ — ускорение силы тяжести.

Поскольку волновая система движется вместе с яхтой, то и скорость распространения волны равна скорости яхты. Таким образом, можно подсчитать длину поперечной волны для каждой скорости яхты:

Скорость, уз	2	4	6	8	10	12
Длина волны, м	0,68	2,72	6,12	10,9	17	24,5

Таблица 3. Зависимость длины поперечной волны от скорости яхты

Если речь идет, например, о яхте длиной по ватерлинии 8 м, то при скорости 4 уз на длине корпуса разместится около трех поперечных волн, при скорости 6 уз — полторы. Зависимость между длиной поперечной волны λ , создаваемой корпусом длиной $L_{КВЛ}$ движущимся со скоростью v , во многом определяет величину волнового сопротивления.

Для величины сопротивления важно, какая часть носовой поперечной волны подойдет к месту, где расположен гребень кормовой волны. Если на длине яхты по КВЛ уложится целое число полуволн, то в корме может оказаться либо вершина, либо подошва носовой поперечной волны. Произойдет соответственно неблагоприятная (рис. 1.17, б) или благоприятная (рис. 1.17, а) интерференция волн. В первом случае высота суммарной волны возрастает и, поскольку энергия волн и величина волнового сопротивления пропорциональны квадрату их амплитуд, сопротивление яхты существенно возрастает. При благоприятном сложении подошвы носов волны с вершиной кормовой суммарная высота волны снижается, сопротивление увеличивается медленнее.

Многочисленными исследованиями, проведенными на моделях в опытном бассейне и на натурных судах, установлено, что характер волнообразования всех судов, независимо от их размерений и абсолютной скорости, оказывается одинаков, если равны их относительные скорости или числа Фруда:

$$Fr = \frac{v}{(g \cdot L_{КВЛ})^{1/2}} \quad (1.15)$$

Заметим, что в формулу относительной скорости входят длина судна по ватерлинии и те же символы, что и в формулу для определения длины волны в зависимости от её скорости. Этим подчеркивается взаимосвязь гравитационного характера волнообразования и его зависимость от скорости и длины судна.

На малых скоростях при $Fr = 0,1 \div 0,2$ волновое сопротивление яхты невелико. При $Fr = 0,2$ на длине корпуса укладывается примерно четыре невысокие носовые поперечные

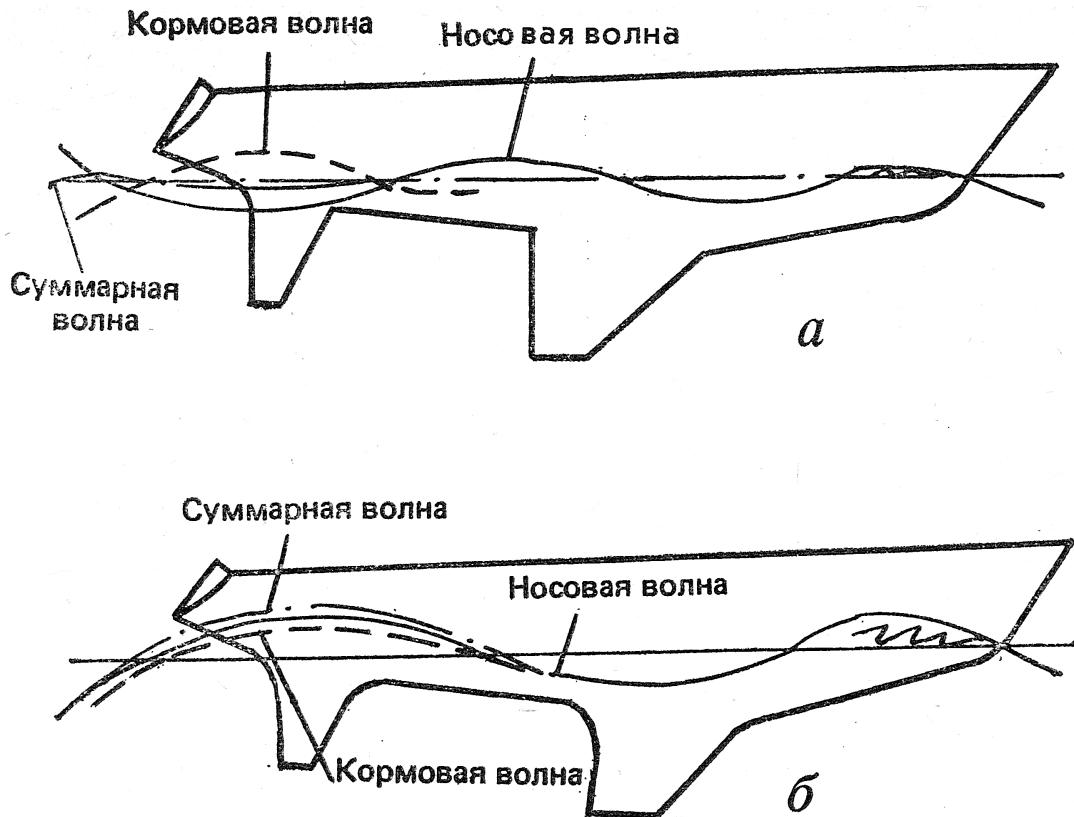


Рис. 1.17. Интерференция носовой и кормовой поперечных волн
а — благоприятная; б — неблагоприятная

волны. По мере повышения скорости волновое сопротивление начинает быстро расти. При числах Fr , равных 0,25, 0,30 и 0,50, имеет место неблагоприятная интерференция поперечных волн, а относительная скорость $Fr = 0,5 \div 0,6$ является порогом, превысить который обычная яхта водоизмещающего типа не может ни при каких обстоятельствах. На этой скорости яхта оказывается зажатой между двумя гребнями одной поперечной волны: сопротивление её возрастает пропорционально шестой степени скорости. Как правило, тяги парусов, даже при форсировании ими в свежий ветер, оказывается недостаточно, чтобы получить хотя бы небольшой прирост скорости. Поэтому скорость, соответствующую числу Фруда около 0,5, считают предельной для водоизмещающих яхт. Её можно вычислить, учитывая, что g — величина постоянная, по формуле¹:

$$v = 3 \cdot L_{KB\Delta}^{1/2}, \text{ уз} \quad (1.16)$$

Таким образом, реальная скорость, которой могут достичь яхты отдельных типов, составляет около:

- класс «Солинг» — 7,5 уз;
- тип «Алькор» — 9 уз;
- тип «Конрад-54» — 11,2 уз;

¹При переводе скорости из метрических мер в узлы и наоборот следует учитывать, что 1 узел = 1,852 км/ч = 0,514 м/с.

- класс R12 — 12 уз.

В ряде случаев в океанских гонках крейсерских яхт, однако, достигались более высокие скорости, которые могли развить в течение ограниченного времени суда облегченного типа. Это происходило, как правило, на попутных курсах и при крупной волне, при штормовых ветрах и форсировании парусами. В момент, когда под яхту подкатывался гребень очередной волны, смоченная поверхность корпуса резко уменьшалась и судно, выходило на режим серфинга — скольжения вместе с гребнем ветровой волны. При этом на яхте длиной по КВЛ 19,8 м, например, была отмечена максимальная скорость 22 уз ($v = 4,95 \cdot L_{KVЛ}$).

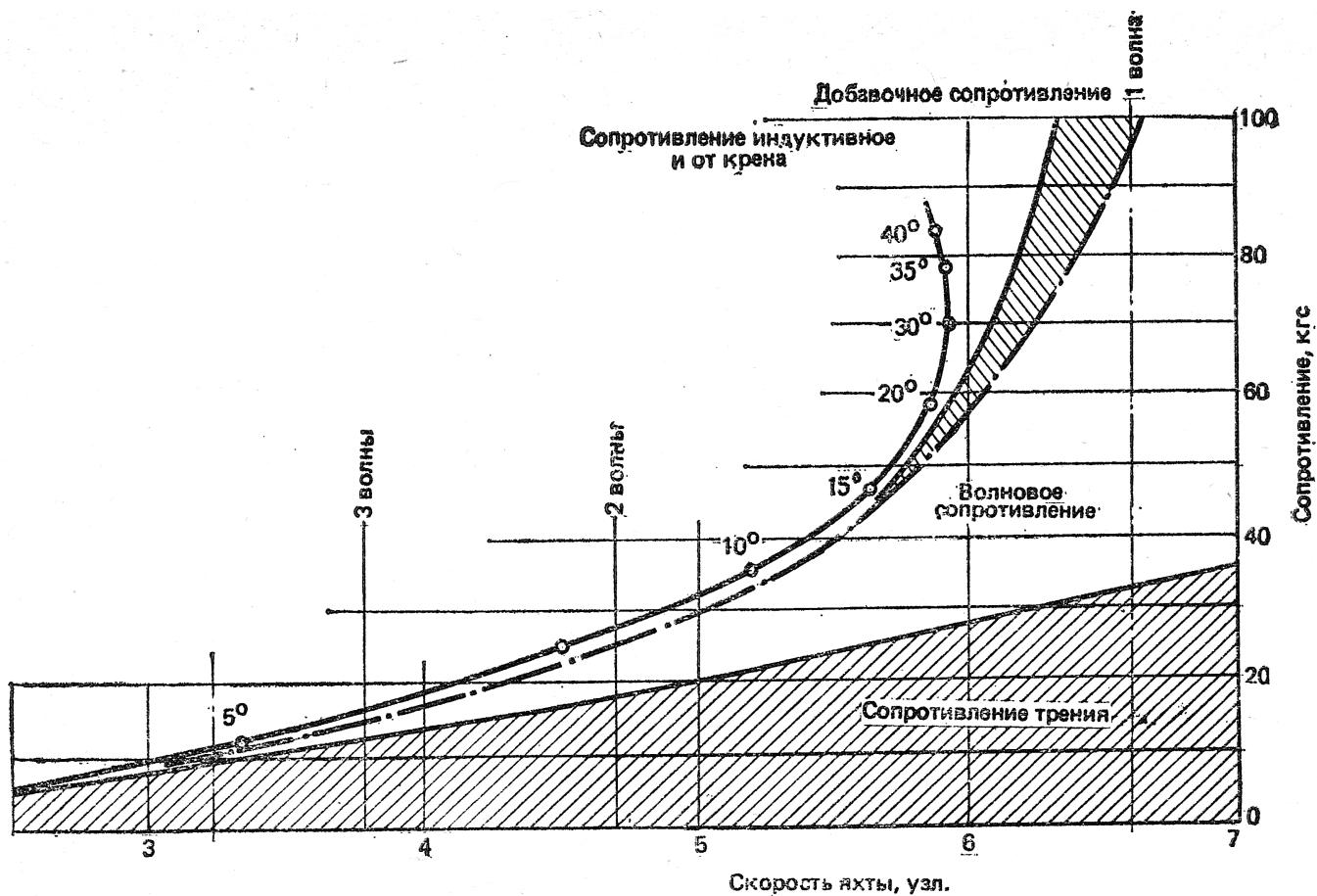


Рис. 1.18. Зависимость сопротивления воды движению яхты от её скорости

Как видно на рис. 1.18, доля волнового сопротивления в общем балансе сопротивления воды движению яхты возрастает с увеличением скорости яхты. На предельных скоростях оно достигает 60–65 %, а при движении в слабый ветер на создание волн затрачивается около 30 % движущей силы парусов. Поэтому снижение волнового сопротивления особенно важно для яхт, от которых ожидают хороших результатов в свежий ветер. При разработке проекта таких яхт стараются облегчить корпус и оборудование, чтобы значение относительной длины было в пределах $L_{KVЛ}/D^{1/3} = 4,2 \div 5,2$ (чем больше эта длина, тем меньше волновое сопротивление). Коэффициент продольной полноты φ принимают равным 0,60, чтобы более равномерно распределить водоизмещение яхты по длине и уменьшить глубину волновой впадины вблизи миделя.

Большое влияние на волновое сопротивление оказывает и отношение $L_{КВЛ}/B_{КВЛ}$. Благодаря большому удлинению корпусов катамаранов ($L_{КВЛ}/B_{КВЛ} = 10 \div 20$) и отсутствию на них тяжелых фальшкильев удается существенно снизить их волновое сопротивление и достичь гораздо более высоких скоростей, чем $3 \cdot L_{КВЛ}^{1/2}$. Например, катамаран типа «Центайрус» ($L_{КВЛ} = 10$ м) при благоприятных условиях развивает скорость 18 уз ($\approx 5,8 \cdot L_{КВЛ}^{1/2}$).

Дополнительное сопротивление на взволнованном море. Нередко яхтсмены обнаруживают, что после многих часов, затраченных на лавировку против волн, яхта выбирается на ветер считанные мили. И это после изматывающей килевой качки!

В данном случае приходится считаться с дополнительным сопротивлением движению яхты, которое появляется вследствие килевой качки судна. Особенно заметно падение скорости яхты, если период ее собственных продольных колебаний совпадает с периодом волны, т. е. при резонансе. В существовании же собственных колебаний можно убедиться, если, например, спрыгнуть с носа яхты на причал. Каждая яхта при этом ведет себя, по-разному: у одной качка порывистая скоро затухает, у другой — плавная продолжается долго.

Установлено, что период собственных продольных колебаний яхты зависит от продольного момента инерции т. е. от расположения масс по длине судна, от обводов корпуса, особенно в оконечностях, взаимного расположения центра тяжести площади ватерлинии и центра тяжести яхты. Если, например, $ЦТ$ площади ватерлинии совпадает с $ЦТ$ яхты. Большие массы (якоря с цепями, двигатель цистерны топлива и пресной воды и т. п.) расположены далеко от миделя и обводы, носа и кормы почти симметричны, яхта имеет достаточно большой период и амплитуду собственных колебаний, который может оказаться близким к периоду наиболее неблагоприятной волны длиной от 0,8 до 1,5 длины яхты по $КВЛ$. При сильной килевой качке яхта приводит в движение большие массы воды, непосредственно соприкасающиеся с корпусом, таким образом, поглощается часть энергии ветра, которая могла бы затрачиваться на продвижение судна вперед, а сопротивление воды повышается $2 \div 25$ раза (по сравнению с тихой волны).

При проектировании яхт обычно предусматривается возможность уменьшения размахов оконечностей яхты и смягчения качки. Наиболее тяжелые массы (фальшкиль, мачту, двигатель, цистерны и т. п.) стараются расположить вблизи центра тяжести судна. Обводы корпуса выше ватерлинии обычно выполняются несимметричными относительно миделя. По мере движения кормы вниз ширина ватерлинии у транца и погружающийся объем корпуса прогрессивно увеличиваются, препятствуя глубокому погружению кормы в воду и поглощающей энергию качки. Хороший развал надводного борта в носу также способствует снижению ускорений носовой части яхты при движении ее вниз.

Большое значение для уменьшения продольной качки имеет уменьшение массы рангоута и такелажа, поскольку момент инерции массы яхты складывается из произведения отдельных масс на квадраты отстояния их от $ЦТ$ судна. Таким образом, влияние на продольную качку килограмма массы на топе мачты, отстоящей от $ЦТ$ на 12 м, аналогично грузу 70 кг, расположенным на уровне палубы.

Рис. 1.18 дает представление о доле добавочного сопротивления при ходе на волнении для крейсерско-гоночной яхты. При увеличении скорости эта составляющая общего сопротивления может возрасти до $15 \div 25\%$, что равносильно потере скорости на $3 \div 4\%$. Потеря существенно возрастает при резонансе, поэтому экипаж должен предпринять специальные меры для уменьшения амплитуды и изменения частоты колебаний. С этой целью можно изменить курс яхты по отношению к волне, если позволяют обстоятельства, или попытаться изменить период собственных колебаний судна, переместив людей на корму. Тогда яхта по-

лучит дифферент на корму, которая своим объемом и большой шириной ватерлинии будет гасить качку.

Дополнительное сопротивление от крена и дрейфа. Испытания моделей яхт в опытных бассейнах показали, что с увеличением крена сопротивление корпуса превышает сопротивление тех же моделей, испытанных на ходу без крена. В качестве примера на рис. 1.18 дана кривая изменения дополнительного сопротивления яхты в зависимости от угла крена и скорости. При крене до 15° прирост сопротивления невелик — не более 5 %. Однако на скорости около 6 уз при крене 35° сопротивление уже на 38 % больше, чем при плавании без крена. Для рассматриваемой яхты это приводит к потере 0,4 уз скорости.

Эксперименты позволили выяснить, что дополнительное сопротивление в данном случае может быть разделено на две составляющие — индуктивное сопротивление и сопротивление от крена. Обе составляющие вызваны действием кренящей силы F_D (см. рис. 1.4). Основным источником индуктивного сопротивления является подъемная сила на кибе и руле, перетекание воды через нижнюю кромку плавников киля и руля со стороны повышенного давления на сторону разрежения, как мы уже говорили (см. рис. 2.2). Срывающиеся с нижней кромки вихри требуют дополнительных затрат энергии движущей силы. Чем больше величина подъемной силы, образующейся на плавниках, тем больше разность давлений на их сторонах и соответственно больше индуктивное сопротивление. Наоборот, с увеличением аэродинамического удлинения плавника, т. е. с уменьшением средней хорды относительно площади плавника, индуктивное сопротивление уменьшается.

Определенную долю здесь вносит и корпус яхты, который обтекается не по оптимальным ватерлиниям, а под углом дрейфа.

Дополнительное сопротивление от крена обусловлено как появлением несимметричности в обводах корпуса, так и изменением поля гидродинамических давлений у наветренного и подветренного бортов судна. У яхт с длинными свесами крен около 5° вызывает иногда даже некоторое снижение полного сопротивления при увеличении смоченной длины корпуса. Широкий «швертботный» современный корпус при крене $8 \div 10^\circ$ уменьшает смоченную поверхность и сопротивление, которое может снизиться на $2 \div 4\%$. Но с увеличением крена сопротивление начинает возрастать, составляя примерно $1/3$ величины дополнительного сопротивления; остальное приходится на долю индуктивного сопротивления. И все же сопротивление от крена достаточно велико — оно достигает около 15 % сопротивления яхты, идущей без крена. Следовательно, при участии в гонке экипаж должен принять меры к уменьшению крена.

На рис. 1.18 хорошо видно, что крен 30° является для данной яхты критическим. Дальнейшее усиление ветра, при котором судно получает дополнительный крен, приводит уже не к повышению скорости, а, наоборот, к снижению. Значит, при достижении этого крена целесообразно уменьшить площадь парусности, а на небольшой яхте попытаться откренить судно массой экипажа.

При крене не только дополнительно растет сопротивление, но и ухудшается эффективность работы парусного вооружения, увеличивается склонность яхты приводиться к ветру. Для удержания судна на курсе необходимо отклонять руль на большой угол, что дополнительно увеличивает лобовое индуктивное сопротивление руля.

Воздушное сопротивление корпуса яхты, рубок и экипажа, расположенного на палубе, сравнительно невелико. Оно достигает заметной величины только в сильный ветер и на курсе байдевинд. Гораздо большее, значение имеет сопротивление рангоута, парусов и такелажа, рассмотрению которых уделено внимание в гл. 2.

Глава 2

Прикладная аэродинамика паруса

2.1. Работа паруса

Современная теория паруса основывается на положениях аэродинамики крыла, элементы которой были рассмотрены в главе «Элементы теории парусной яхты» (см. «Сопротивление дрейфу»). Механика возникновения аэродинамической силы на парусе, изготовленном из ткани, в принципе аналогична и для жесткого профилированного крыла. В любом поперечном сечении паруса должна развиться циркуляция потока воздуха, как вокруг профиля крыла (см. рис. 1.8), чтобы появилась подъемная сила.

Естественно, что аэродинамика паруса из ткани имеет ряд существенных отличий от жесткого крыла, каким, например, является яхтенный киль. Вследствие эластичности ткани парус изменяет свой профиль под влиянием потока воздуха. Он обладает способностью скручиваться — изменять угол атаки по отношению к ветру по высоте. В отличие от получивших распространение аэродинамических профилей со сравнительно толстой входящей кромкой парус имеет острую переднюю кромку и выпукло-вогнутую форму, образованную тонким материалом. Наконец, передней кромкой парус может крепиться к мачте, имеющей довольно большое поперечное сечение, что вносит существенное изменение в картину обтекания паруса потоком и в распределении давления по ширине паруса.

Наиболее важные элементы, влияющие на аэродинамику паруса, будут рассмотрены дальше, но для начала установим влияние составляющих аэродинамической силы на движение яхты при различных курсах относительно ветра.

Если яхта идет курсом бейдевинд, то под действием набегающего потока воздуха на парусах, установленных под углом атаки α к направлению вымпельного ветра, возникает результатирующая аэродинамическая сила **A** (рис. 2.1). По аналогии с жестким крылом эту силу можно разложить на две составляющие: подъемную силу **Y**, перпендикулярную направлению вымпельного ветра, и лобовое сопротивление **X**, действующее по направлению ветра. В дальнейшем эти силы мы будем использовать для рассмотрения характеристик паруса и всего парусного вооружения в целом.

Для того чтобы оценить влияние аэродинамической силы **A** на движение яхты, представим ее в виде двух других составляющих: силы тяги **T**, направленной по оси движения судна, и перпендикулярной ей силы дрейфа **D**. Направление движения яхты (путь) отличается от ее курса на величину угла дрейфа λ , однако в дальнейшем анализе этим углом можно пренебречь.

Предположим, что на выбранном курсе бейдевинд удалось увеличить подъемную силу на парусе до величины **Y₁**, а лобовое сопротивление не изменилось. Силы **Y₁** и **X**, будучи сложенными по правилу сложения векторов, образуют новую аэродинамическую силу **A₁**. Изменятся и ее составляющие относительно оси движения яхты **T** и **D**. Без вычислений можно сказать, что в данном случае с увеличением подъемной силы увеличится и сила тяги, и сила дрейфа (рис. 2.2). Аналогичное построение позволяет убедиться, что при увеличении лобового сопротивления на курсе бейдевинд сила тяги уменьшается, а сила дрейфа увели-

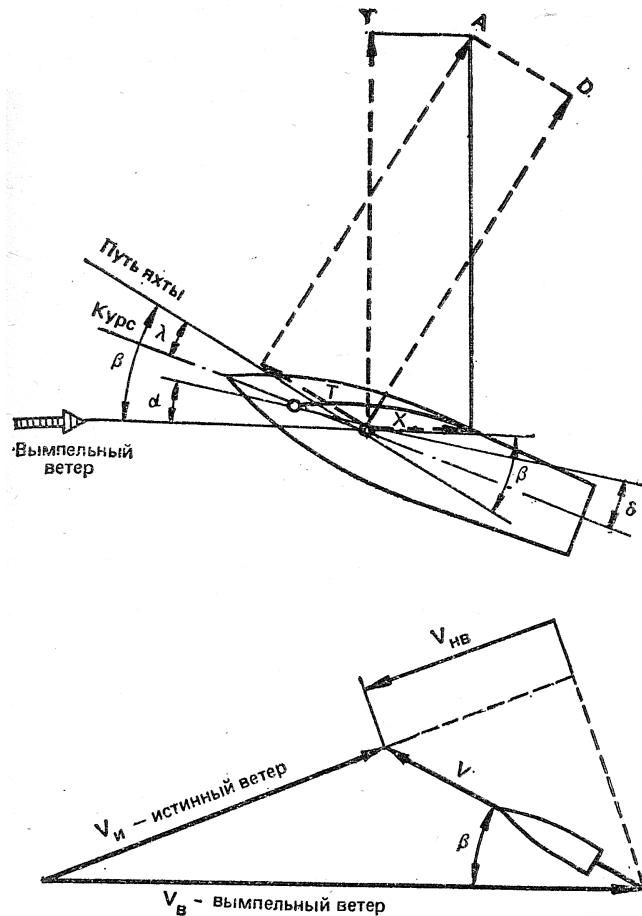


Рис. 2.1. Схема сил, действующих на паруса яхты; основные угловые параметры движения и установки парусов

β — путь яхты по отношению к вымпельному ветру; λ — угол дрейфа; α — угол атаки паруса; δ — угол установки паруса относительно $ДП$ яхты; \mathbf{V}_i — скорость истинного ветра; \mathbf{V} — скорость яхты; \mathbf{V}_B — скорость вымпельного ветра; \mathbf{V}_{HB} — скорость прямо против ветра

чивается. Таким образом, при плавании в лавировку экипаж яхты должен стремиться по возможности добиться образования на парусах максимальной подъемной силы при минимальной величине лобового сопротивления. Иными словами, для острых курсов необходима работа паруса с максимальным аэродинамическим качеством, которое численно выражается в отношении подъемной силы к лобовому сопротивлению.

$$\mathbf{K} = \mathbf{Y}/\mathbf{X} \quad (2.1)$$

Отметим, что на курсе бейдевинд вымпельный ветер, являющийся результатом сложения векторов истинного ветра и движения яхты, имеет наивысшую скорость \mathbf{V}_B (см. рис. 2.1, б), что сказывается на величине обеих составляющих аэродинамической силы — \mathbf{Y} и \mathbf{X} .

На курсе галфвинд подъемная сила является силой тяги, а лобовое сопротивление — силой дрейфа. Если лобовое сопротивление увеличить, то увеличится только сила дрейфа. Однако на ходовые качества яхты это влияет в заметно меньшей степени, чем на курсе бейдевинд, поскольку скорость вымпельного ветра на курсе галфвинд снизилась и, следовательно, величина силы дрейфа меньше.

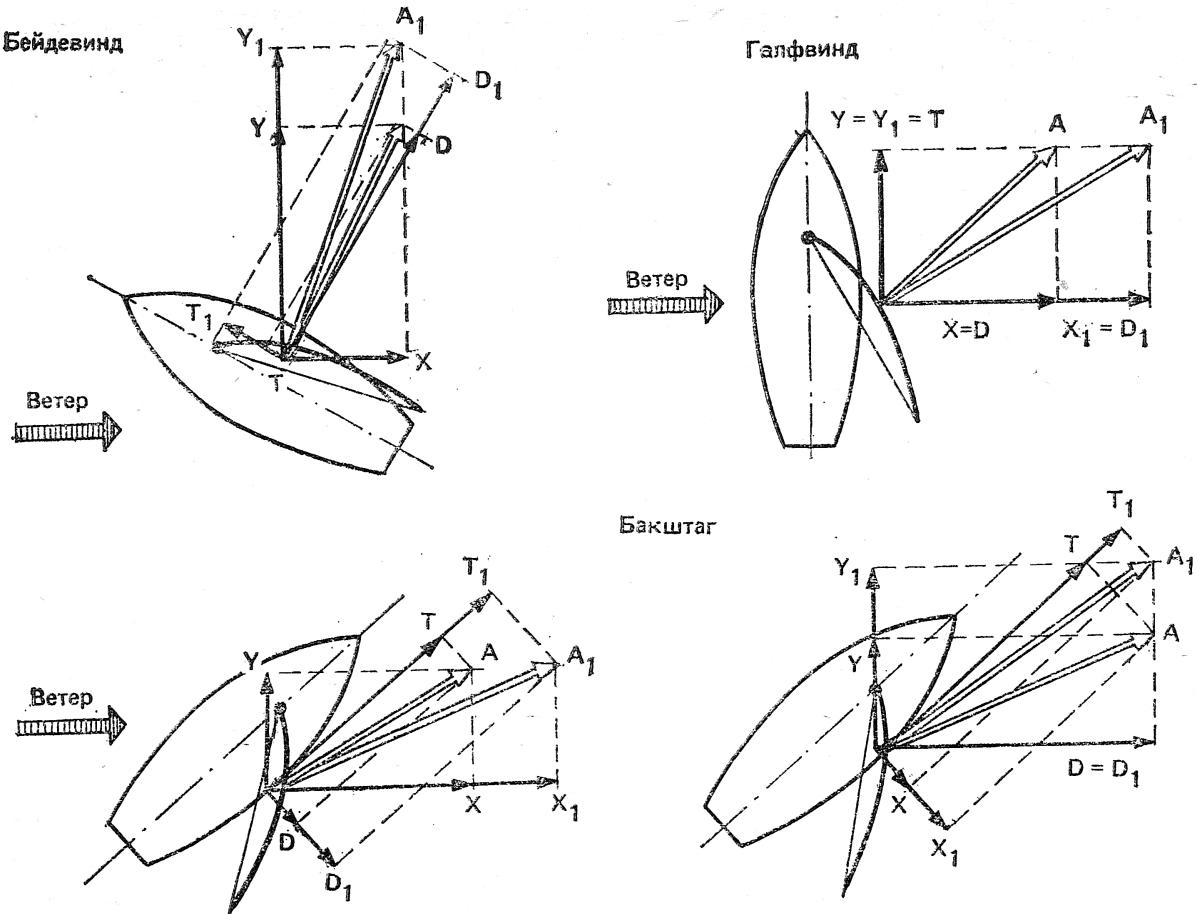


Рис. 2.2. Роль составляющих аэродинамической силы на различных курсах относительно вымпельного ветра

На курсе бакштаг парус работает на больших углах атаки, при которых подъемная сила оказывается значительно меньше лобового сопротивления. Если увеличить лобовое сопротивление, то тяга и сила дрейфа увеличатся. При возрастании подъемной силы тяга также увеличивается, а сила дрейфа уменьшается. Следовательно, на курсе бакштаг рост и подъемной силы и (или) лобового сопротивления увеличивает тягу. Сила дрейфа тем больше, чем больше лобовое сопротивление. На курсе фордевинд угол атаки паруса близок к 90° , поэтому подъемная сила на парусе равна нулю, а лобовое сопротивление направлено по оси движения яхты и становится силой тяги. Сила дрейфа равна нулю. Следовательно, на курсе фордевинд для увеличения силы тяги нужно увеличивать лобовое сопротивление парусного вооружения, что на гоночных яхтах достигается постановкой дополнительных парусов — спинакера и блупера, имеющих большую площадь и плохо обтекаемую форму.

Отметим, что на курсе фордевинд на паруса действует вымпельный ветер минимальной скорости, в результате чего на паруса действуют сравнительно умеренные силы.

2.2. Особенности работы паруса как крыла

Только при небольшом значении угла атаки, когда на остром и тонком профиле еще не образуется подъемная сила, парус обтекается потоком воздуха, одинаково плавным с нижней

и с верхней стороны. При небольшом увеличении угла атаки критическая точка перемещается на нижнюю сторону профиля и потоку приходится огибать острую кромку с большой скоростью. В результате у входящей кромки образуется значительное разрежение и под влиянием этого разрежения пограничный слой отрывается от поверхности профиля, образуя на его спинке вихревой пузырь. При достаточно большой скорости ветра поток быстро поглощает энергию вихрей и слой вновь присоединяется к поверхности профиля на некотором расстоянии от входящей кромки (рис. 2.3).

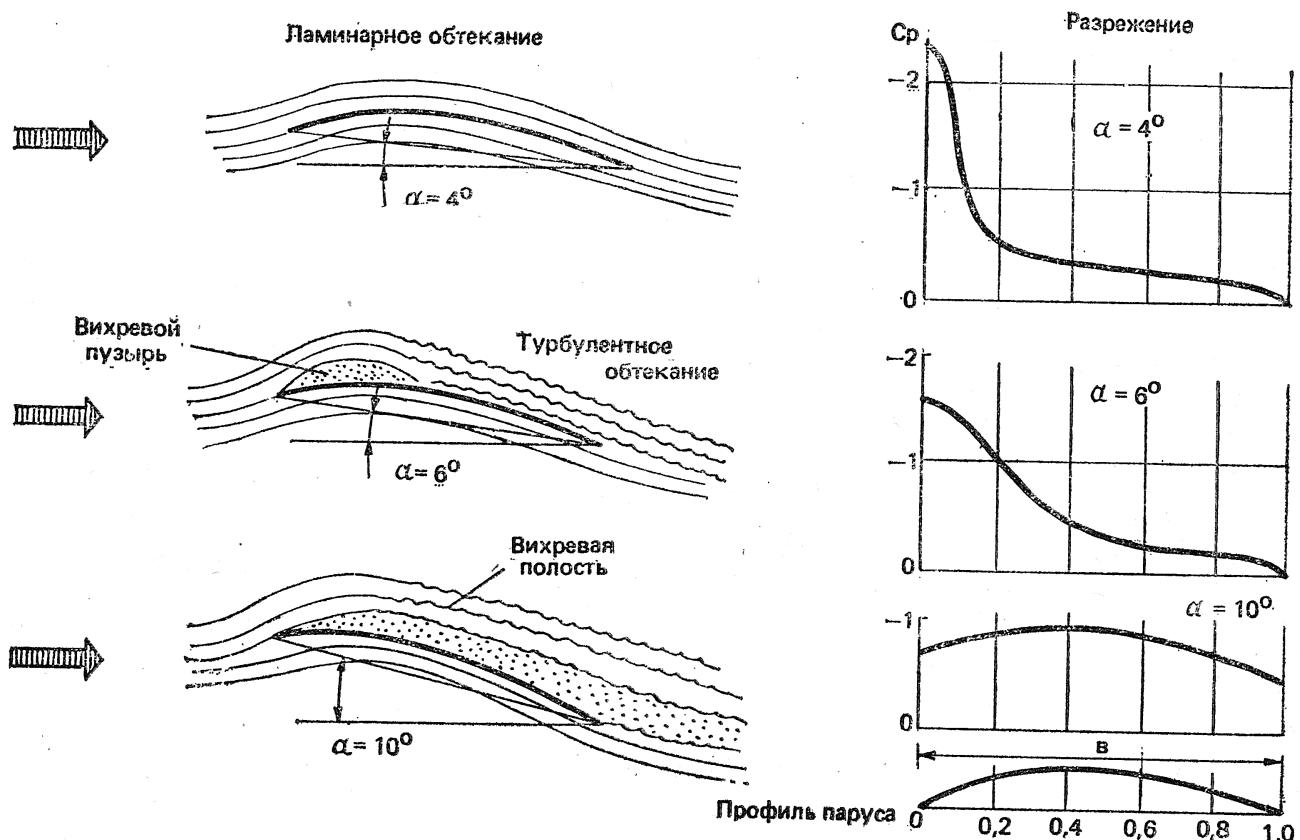


Рис. 2.3. Режим обтекания паруса и распределение пониженного давления (разрежения) по ширине профиля в зависимости от угла атаки α

Вихревой пузырь, размеры которого увеличиваются по мере увеличения угла атаки, вносит существенные изменения в распределение пониженного давления вдоль подветренной стороны паруса по сравнению с показанным на рис. 1.10 распределением давления на жестком профиле с толстой скругленной передней кромкой. Напомним, что именно разрежение на подветренной стороне паруса играет основную роль в создании подъемной силы и, следовательно, силы тяги на острых к ветру курсах.

На рис. 2.3 представлены результаты замеров разрежения на жестком выпукло-вогнутом профиле, аналогично парусу. На малых углах атаки профиль обтекается плавным ламинарным потоком.

При $\alpha = 4^\circ$ начинаете отрыв пограничного слоя. В этот момент достигается наивысшее разрежение, пик которого расположен вблизи входящей кромки.

При $\alpha = 6^\circ$ вихревой пузырь занимает на подветренной стороне около 25 % хорды профиля b . Разрежение уменьшается, и эпюра его становится более плавной.

При $\alpha = 10^\circ$ пузырь охватывает всю ширину профиля, его толщина составляет 3,5 % b . Давление повышается в 2,5 раза по сравнению с разрежением при $\alpha = 4^\circ$; пика разрежения практически нет — оно равномерно распределено по всей ширине профиля. Значит, подъемная сила существенно снизилась, а лобовое сопротивление возросло (см. рис. 2.9).

Таким образом, на курсе бейдевинд увеличение угла атаки паруса к вымпельному ветру более $5 \div 6^\circ$ нежелательно. На реальном парусе вихревой пузырь представляет собой невидимый глазу цилиндрический валик, распространяющийся по всей высоте паруса. Чем больше выбран шкот, тем большая часть подветренной поверхности паруса захватывается вихревым валиком, уменьшая подъемную силу.

Для выбора оптимального угла атаки в последние годы используются индикаторы обтекания в виде ленточек из тонкой ткани, закрепленных на определенном расстоянии от передней шкаторины с обеих сторон паруса (рис. 2.4).

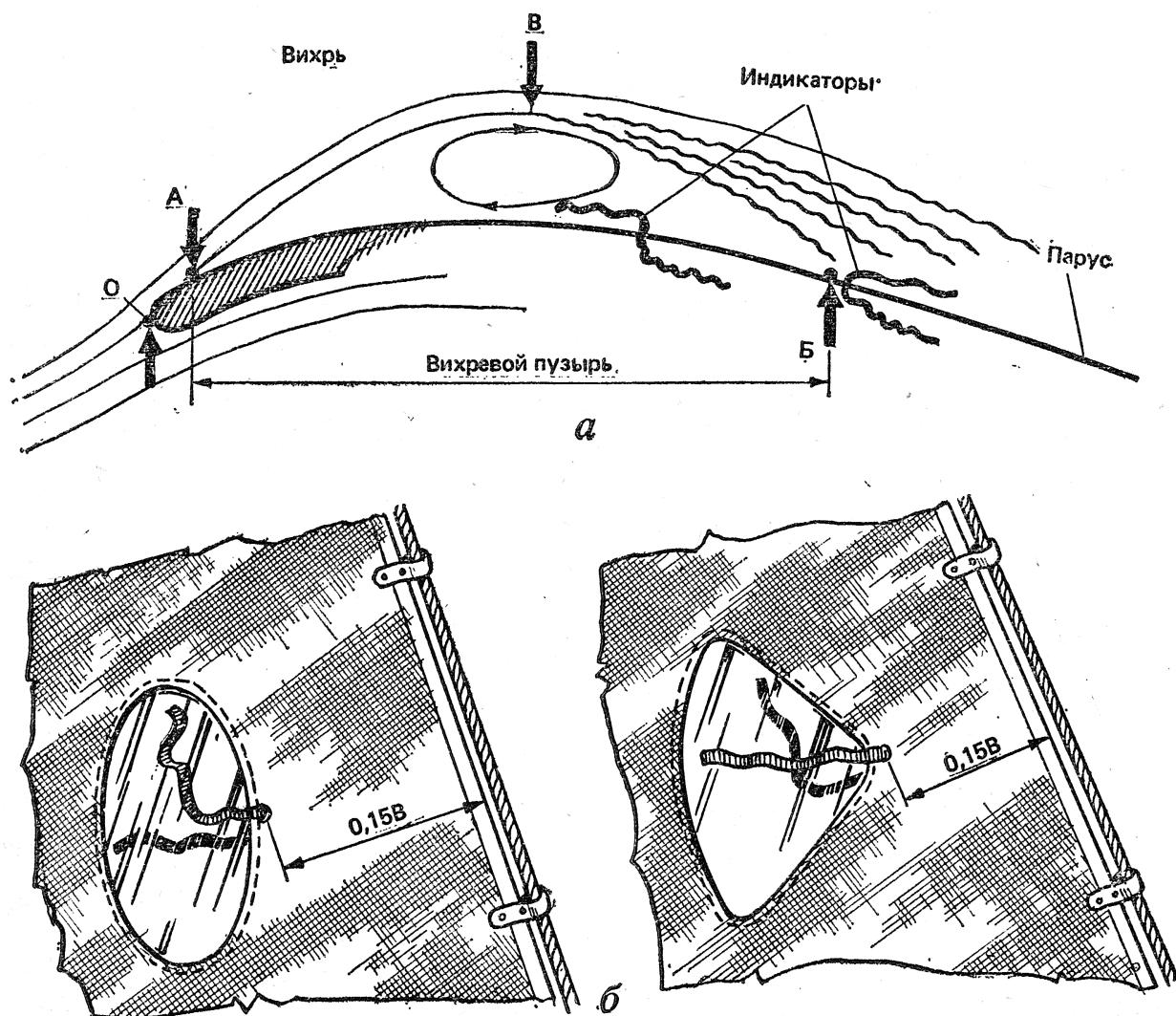


Рис. 2.4. Принцип работы (а) и установка индикаторов обтекания на стакселе (б)
О — критическая точка; А — точка отрыва пограничного слоя; Б — точка возврата пограничного слоя; В — переход ламинарного режима потока в турбулентный

Таким местом является точка Б возврата пограничного слоя к поверхности паруса. При угле атаки $\alpha = 5^\circ$ она отстоит от передней шкаторины примерно на 15 % ширины паруса

в каждом его поперечном сечении. Как только вихревой пузырь достигнет этой точки, ленточка индикатора на подветренной поверхности паруса, ранее направленная назад по потоку воздуха, отклонится вверх и вперед, указывая на возникновение здесь вихрей. Дальнейшее выбирание шкотов — увеличение угла атаки — не только бесполезно, но даже вредно, так как приводит к большой потере подъемной силы.

Установка трех-четырех подобных индикаторов, равномерно распределенных по высоте стакселя, облегчает рулевому правильный выбор курса при лавировке. Выбрав наивыгоднейшим образом шкоты для данного курса, ведут яхту таким образом, чтобы индикаторы на наветренной стороне стакселя слегка подрагивали, а на подветренной были вытянуты в сторону задней шкаторины (рис. 2.5).

Причиной падения подъемной силы на парусе является срыв потока с его подветренной стороны при увеличении угла атаки (что соответствует подбианию шкотов или уваливанию яхты), поэтому главную роль играют индикаторы, расположенные на подветренной стороне. Если они начинают подниматься и совершать беспорядочные движения, значит, необходимо привести яхту к ветру или потратить шкоты.

Угол атаки, при котором подъемная сила перестает расти, называется критическим углом атаки. Его величина зависит от глубины и формы «паза» паруса, аэродинамического удлинения λ (оно для парусов вычисляется так же, как и для килей и рулей), наличия у передней шкаторины мачты или обтекателя штага.

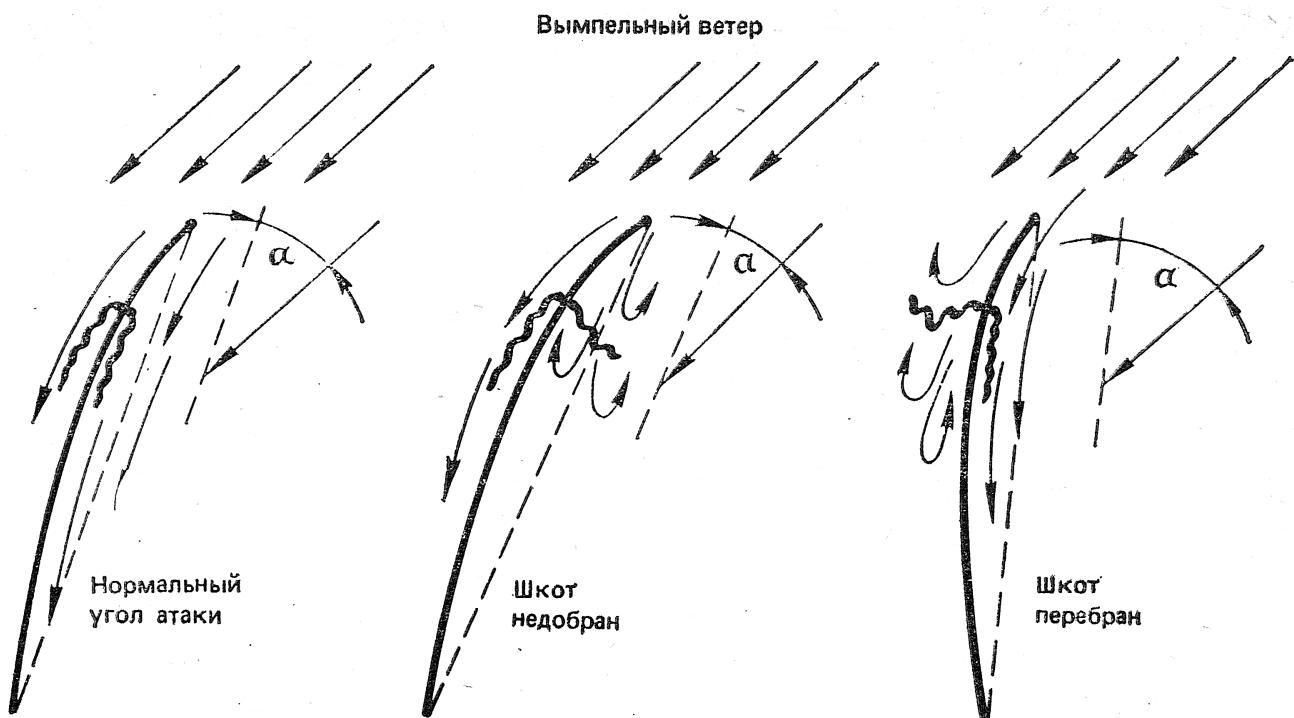


Рис. 2.5. Поведение индикаторов в зависимости от угла атаки паруса

В слабый ветер поток воздуха происходит при меньших углах атаки, чем в сильный. При постановке стакселя перед гротом благодаря повышению скорости потока в зазоре между обоими парусами момент срыва сдвигается в сторону больших углов атак. Обратное действие оказывает мачта, срывающиеся с нее на подветренную сторону паруса вихри способствуют срыву потока при меньших углах атаки.

При увеличении угла атаки сверх критического подъемная сила падает, одновременно растет лобовое сопротивление. При $\alpha = 90^\circ$ подъемная сила на парусе не создается: он обладает лишь лобовым сопротивлением.

Поляра паруса. Характеристикой аэродинамических качеств паруса является поляра — график изменения подъемной силы в зависимости от лобового сопротивления и угла атаки (рис. 2.6, *a*). Для того чтобы поляру можно было применить к парусу любых размеров, по осям координат откладывают не значения сил, а безразмерные коэффициенты подъемной силы C_Y и лобового сопротивления C_X . Данные для построения поляры получают в результате продувок моделей парусов в аэродинамических трубах.

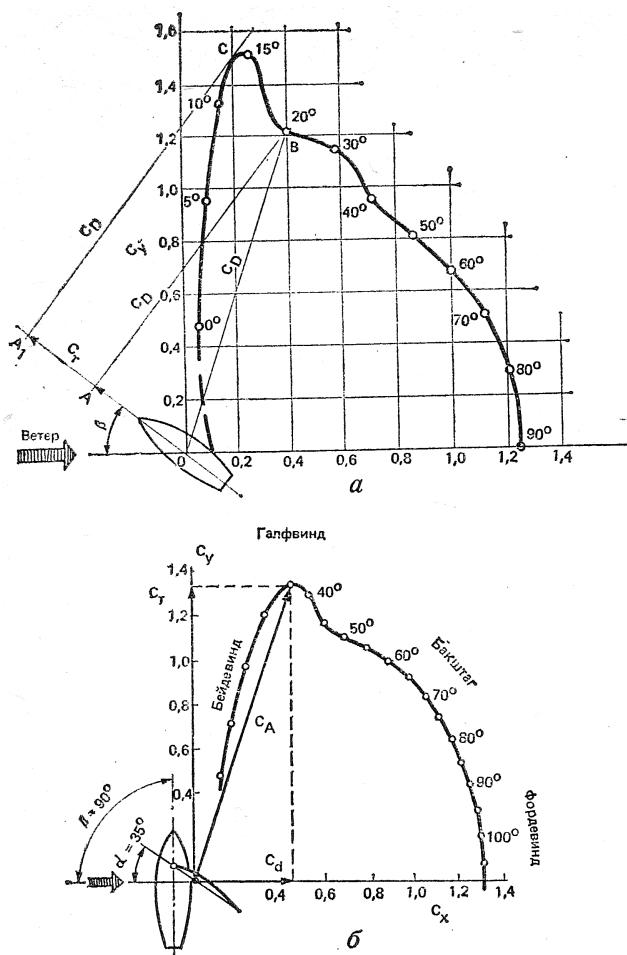


Рис. 2.6. Поляра паруса (*a*) и силы, действующие на парус на курсе галфвинд (*b*)

С помощью поляры можно определить величины подъемной силы и лобового сопротивления, а также их составляющих — проекций на направление движения яхты. Опустив, например, из точки поляры, соответствующей углу атаки $\alpha = 20^\circ$, перпендикуляр на ось движения яхты, можно найти величину коэффициента силы тяги C_T как отрезка прямой OA . Длина самого перпендикуляра AB будет не что иное, как коэффициент силы дрейфа C_d . Умножив численные значения коэффициентов C_T и C_d на площадь паруса S и скоростной напор $(\rho v^2)/2$, можно получить величину соответствующих сил.

Поляра паруса позволяет определить наивыгоднейший угол установки парусов на данном курсе по отношению к ветру. Максимальная тяга, очевидно, определяется перпендикуляром

к оси движения яхты, который одновременно является касательной к поляре. Угол атаки $\alpha = 14^\circ$, определяемый точкой касания C , будет в данном случае наивыгоднейшим. Соответствующий ему угол установки паруса относительно ДП яхты δ несложно найти, вычтя из курсового угла (по отношению к вымпельному ветру β дрейф λ) и угол атаки α (см. рис. 2.1).

Несложно выполнить аналогичные построения для различных значений курсового угла β и определить наивыгоднейшие углы установки паруса и соответствующие им углы атаки. Можно убедиться, что для данного паруса почти на всех острых углах к ветру, вплоть до бакштага, наивыгоднейшие углы атаки близки и находятся в пределах $14 \div 15^\circ$.

Скручивание паруса. С выбором оптимального угла атаки паруса связано его свойство скручиваться, т. е. изменять угол атаки по высоте. При выбирании шкотов удается контролировать только нижнюю треть паруса; в верхней же части ткань имеет возможность несколько отклоняться на подветер, уменьшая тем самым угол атаки. Если не предусмотреть специальных средств для контроля скручивания паруса, то разность в углах атаки или угол скручивания может достичь 20° . А так как парус выбирают, ориентируясь на поведение его верхней части (пока не перестанет заполаскивать ткань у передней шкаторины), то нижняя часть оказывается работающей с избыточными углами атаки. Здесь может произойти срыв потока с подветренной стороны и соответственно упасть подъемная сила. Следовательно, тяга скрученного паруса оказывается ниже, чем если бы каждое его сечение по высоте имело оптимальный угол атаки.

Особенно сильно заметно скручивание паруса на полных курсах и при свежем ветре, когда шкоты потравлены и нок гика задирается вверх. При этом верхняя часть паруса уходит под ветер и почти заполаскивает, а нижняя работает под слишком большим углом атаки.

Для уменьшения скручивания грота на большинстве яхт применяют оттяжки гика, препятствующие задиранию нока вверх, а также проводку гика-шкота с одним или двумя поперечными погонами, простирающимися на всю ширину яхты. При мещении ползуна гика-шкота к борту яхты тяга шкотов становится почти вертикальной, благодаря чему удается держать заднюю шкаторину паруса на острых курсах более тугой.

Свидетельством правильной регулировки натяжения оттяжки гика может служить одновременное (по всей высоте) заполаскивание ткани у передней шкаторины при потравливании шкота.

Было бы ошибкой считать, что парус вообще не должен иметь скручивания по высоте, т. е. иметь все сечения повернутыми относительно гика на один и тот же угол. На крупных яхтах надо учитывать изменение скорости и направления вымпельного ветра по высоте и наличие в верхней части паруса перетекания воздуха из зоны повышенного давления на подветренную сторону. В зависимости от высоты парусности и скорости ветра получается разность в углах атаки от $3 \div 5^\circ$ в бейдевинд до $10 \div 12^\circ$ на курсе бакштаг. В таких пределах скручивание паруса допустимо и способствует более эффективной его работе.

Циркуляция воздуха вокруг крыла (см. рис. 1.10), появляющаяся вместе с аэродинамической силой, вызывает незначительные по скорости поперечные потоки воздуха V_H у входящей и выходящей кромок. Вследствие перетекания воздуха через кромки у концов крыла эти потоки усиливаются и отклоняют основной поток, набегающий на крыло, так, что угол атаки жесткого треугольного бермудского паруса по мере приближения к вершине увеличивается и близ фалового угла примерно на 20% превышает угол атаки средней части паруса. Близ гика фактический угол атаки, наоборот, несколько уменьшается.

Таким образом, если бы парус не имел скручивания, то его верхняя часть работала бы при закритических углах атаки и практически не участвовала бы в создании движущей силы.

Опытный экипаж постоянно контролирует и регулирует скручивание паруса в зависимости от силы ветра и курса яхты с помощью оттяжки гика и перемещения нижнего блока гика-шкота по погону.

Влияние мачты. Мачта является источником образования завихрений, которые особенно неблагоприятно сказываются на формировании потока на подветренной стороне паруса. Здесь вихревой след мачты уменьшает разрежение, вследствие чего уменьшается величина подъемной силы. Кроме того, сама мачта обладает достаточно большим лобовым сопротивлением.

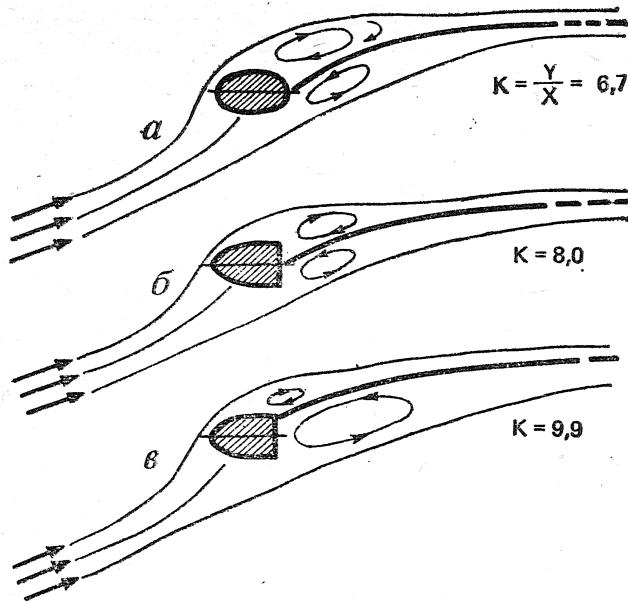


Рис. 2.7. Характер обтекания мачт

а — с эллиптическим поперечным сечением; б — с параболической передней кромкой; в — с парусом поставленным по подветренной кромке

Большую роль играет форма поперечного сечения мачты, особенно передней ее кромки, на которой формируется поток. Важно, чтобы на курсе бейдевинд, когда яхта идет под углом $25 \div 30^\circ$ к вымпельному ветру, вихревая дорожка, срывающаяся с подветренной стороны мачты, имела бы минимальную ширину. Парус за мачтой параболическим поперечным сечением и тупой кормовой кромкой обладает более высоким аэродинамическим качеством, чем за мачтой эллиптического сечения (рис. 2.7). Наиболее оптимальным оказывается вариант мачты с парусом, закрепленным передней шкаториной близ ее подветренной стороны: качество его работы на 40 % выше, чем паруса с эллиптической мачтой. Это лишнее свидетельство тому, что отрицательное влияние мачты в основном распространяется на подветренную сторону паруса.

Мачта, имеющая большое поперечное сечение, может снизить подъемную силу паруса на 25 % по сравнению с парусом, поставленным на штаге. Особенно велики потери подъемной силы при постановке паруса на рельсе с ползунками, когда в щель между мачтой и парусом перетекает воздух с наветренной стороны паруса в область пика разрежения на подветренной стороне. Неудачны мачты цилиндрического сечения, без сужения к топу: в верхней части отношение диаметра мачты уменьшающейся здесь ширине пару становится велико. Может оказаться, что часть паруса близ фалового угла вообще не будет участвовать в создании подъемной силы, а следовательно, и тяги на курсе бейдевинд.

Наибольшее распространение на яхтах получили мачты, имеющие овальное поперечное сечение, с соотношением около 3:2, обеспечивающее большую продольную жесткость. Каплевидные и другие типы обтекаемых профилей целесообразны только в том случае, если мачта вращается для установки под наивыгоднейшим углом к вымпельному ветру при перемене галса. Такими мачтами снабжают обычно буера и катамараны.

2.3. Форма паруса и контроль за нею

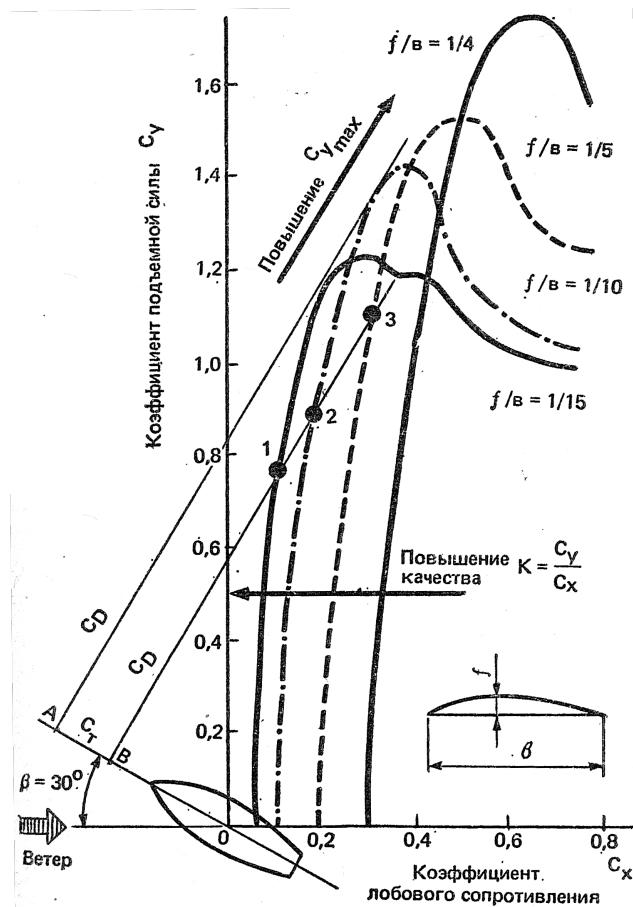


Рис. 2.8. Влияние «пуза» паруса на величину подъемной силы и лобового сопротивления

Поперечный профиль паруса. Основным фактором, влияющим на величину аэродинамических сил на парусе и его тяговые характеристики, является его профиль, т. е. форма и размеры «пуза».

На рис. 2.8 представлены поляры четырех жестких моделей бермудских парусов, имеющих аэродинамическое удлинение $\lambda = 4$ и расстояние максимальной глубины «пуза» от передней шкаторины, равное $1/3$ хорды. От реальных парусов модели отличались еще отсутствием угла скручивания и постоянством относительной глубины «пуза» по высоте.

На полярах (рис. 2.8) видно, что с уменьшением глубины «пуза» качество паруса возрастает благодаря снижению коэффициента лобового сопротивления (показано горизонтальной стрелкой). Максимальная подъемная сила паруса, наоборот, увеличивается по мере увеличения глубины «пуза» (показано наклонной стрелкой).

Посмотрим теперь, каким образом могут быть реализованы качества парусов в зависимости от их профиля. Предположим, что яхта идет курсом бейдевинд под углом $\beta = 30^\circ$ к направлению вымпельного ветра. Очевидно, наибольшую тягу даст тот парус, касательная к поляре которого — перпендикуляр к линии пути яхты (см. рис. 2.6) будет отстоять от точки О дальше подобных же касательных к другим полярам. В данном случае наибольшую тягу имеет парус с относительной глубиной «пуза» $f/b = 1/10$. Однако нетрудно заметить, что выигрыш в тяге этого паруса будет минимальным по сравнению с более плоским парусом, имеющим $f/b = 1/15$. В то же время, более «пузатый» парус ($f/b = 1/10$) дает значительно большую поперечную силу дрейфа, чем парус с $f/b = 1/15$. Поэтому небольшое преимущество более «пузатого» паруса может быть реализовано на лавировке только в слабый ветер, когда абсолютная величина силы дрейфа будет невелика. В свежий ветер плавание с таким парусом сопровождается большим креном и соответственно дополнительным сопротивлением движению, так что в конечном счете выигрыша в скорости не получится.

Еще более «пузатые» паруса $f/b = 1/5$ и $f/b = 1/4$ на курсе бейдевинд не только не дают увеличения силы тяги, но и отличаются намного большей величиной силы дрейфа. Однако более высокий коэффициент подъемной силы «пузатых» парусов может быть реализован на других, более полных, курсах по отношению к ветру: например, на курсе галфвинд, когда подъемная сила дает наибольшую составляющую на направление движения (см. рис. 2.6, б). В практике морских гонок это качество «пузатых» парусов используется благодаря смене на полных курсах лавировочных передних парусов на дрифтергену, блупер или спинакер.

Следует заметить, что преимущества «пузатых» парусов могут быть использованы в основном при слабых ветрах, когда скорость яхты прямо пропорциональна силе тяги. В сильные ветра, когда яхта развивает свою предельную скорость под обычными лавировочными парусами и дальнейшее повышение тяги практически не увеличивает скорость, постановка «пузатых» парусов не дает эффекта. Более того, большая сила дрейфа «пузатого» паруса обуславливает больший крен и дрейф и соответствующее повышение сопротивления воды движению яхты.

В качестве основных (лавировочных) парусов для среднего ветра ($2 \div 4$ балла) применяют паруса с «пузом» $f/b = 9 \div 10\%$. Для слабого ветра выгодны более «пузатые» паруса — f/b до 12% , а при ветре более 5 баллов — паруса с «пузом» не более 6% ($f/b = 1/17 \div 1/25$).

В гонках яхтсмены широко пользуются различными способами регулирования величины «пуза» парусов в зависимости от силы ветра. Особенно это относится к настройке грота, так как по правилам IOR замена его во время гонок не допускается, а ветровые условия могут изменяться в довольно широких пределах. Основными средствами регулирования «пуза» грота являются продольный изгиб мачты, натяжение шкаторин (оттяжка Кэнингхэма и грота-шкот), уплощающий риф, натяжение гика-шкота и положение его блока на погоне по ширине яхты, оттяжка гика. Продольный изгиб мачты позволяет контролировать две верхние трети паруса, в то время как другие средства эффективны при изменении профиля у гика.

В слабый ветер, когда важно иметь грот наиболее «пузатым», мачта должна быть прямой, грота-шкот и оттяжку гика выбирают не до конца, оттяжка Кэнингхэма растрявлена. Блок на погоне гика-шкота перемещают от ДП в сторону наветренного борта; гика-шкот втугую не выбирают.

Для увеличения «пуза» стакселя или генуи блок (кипу) стаксель-шкота перемещают вперед и ближе к ДП яхты. При этом «пузо» перемещается вперед, натяжение задней шкаторины ослабляется, зазор между гротом и стакселем увеличивается.

С усилением ветра мачте придают изгиб с выпуклостью, направленной вперед, увеличивая натяжение ахтерштага (при оснастке типа 3/4 или 7/8) или регулируя натяжение промежуточного штага и бакштагов (при топовой оснастке). Благодаря этому излишек паруса убирается в образовавшийся серп у передней шкаторины, «пузо» становится меньше и перемещается ближе к мачте. Оттяжку Кэнингхэма, грот-шкот и оттяжку гика выбирают втугую; блок гика-шкота смешают по погону на подветренный борт. Шкоты выбирают более туго, чем в слабый ветер. При необходимости сделать парус еще более плоским в нижней части берут уплощающий риф, используя люверсы, расположенные вблизи гика.

Профиль генуи может быть сделан более плоским при передвижении блока стаксель-шкота назад и к борту большем натяжении передней шкаторины. Значительное влияние на профиль передних парусов оказывает натяжение штага: для того чтобы парус стал более плоским, необходимо по возможности ликвидировать прогиб штага.

Большое влияние на тяговые характеристики паруса кроме величины «пузо» оказывает место положения максимальной выпуклости от передней шкаторины. На рис. 2.9 показано распределение разрежения на подветренной стороне жесткой модели паруса с относительной величиной «пузо» $f/b = 0,188$ при отстоянии максимального «пузо» на 40 и 60 % хорды от передней кромки и при угле атаки $\alpha = 15^\circ$ (характерный «провал» на эпюре давления является следствием развитого вихревого пузыря — см. рис. 2.3). Как видим, в создании движущей силы главную роль играет передняя часть паруса, где концентрируется разрежение у паруса с «пузом», расположенным на 40 % хорды от передней шкаторины. Когда же «пузо» смешено к задней шкаторине, область разрежения охватывает и заднюю часть профиля, вследствие чего увеличивается составляющая R , направленная против движения яхты. Таким образом, при смешении «пузо» к задней шкаторине эффективность паруса снижается как в результате падения подъемной силы в передней части паруса, так и в результате роста сил сопротивления, тормозящих ход судна.

Лавировочные паруса шьют с максимальной глубиной «пузо», расположенной от передней шкаторины на расстоянии от 35 ÷ 40 % ширины паруса b для плоских парусов, до 40 ÷ 50 % b для более полных.

Во всех поперечных сечениях максимальная глубина «пузо» должна находиться в указанных пределах. Поэтому по мере увеличения ширины паруса по направлению к гику соответственно увеличивается и абсолютная величина «пузо». У гика на обезветренном парусе «пузо» образует «мешочек», который в сильный ветер можно убрать в скатку уплощающего рифа.

Форма паруса. С точки зрения аэродинамики крыла наиболее выгодным был бы парус с эллипсовидной верхней частью. Именно в его верхней части образуются потоки воздуха, перетекающего с наветренной стороны на подветренную — в область разрежения. В результате возникают вихри, срывающиеся с кромки паруса и уходящие в пространство. Эти возмущения требуют затрат кинетической энергии ветра, которые выражаются в росте общего аэродинамического сопротивления судна в виде составляющей индуктивного сопротивления.

Очевидно, что наибольшим индуктивным сопротивлением обладает четырехугольный гаффельный парус, у которого перетекание воздуха происходит по верхней и нижней широким кромкам. Поэтому коэффициент подъемной силы здесь резко падает (см. рис. 1.8).

У паруса с эллипсовидной верхней частью величина подъемной силы из-за плавного уменьшения площади паруса у верхнего конца также плавно убывает. Благодаря этому плавно убывает и интенсивность перетекания воздуха через кромки, не происходит местного изменения угла атаки и коэффициента подъемной силы.

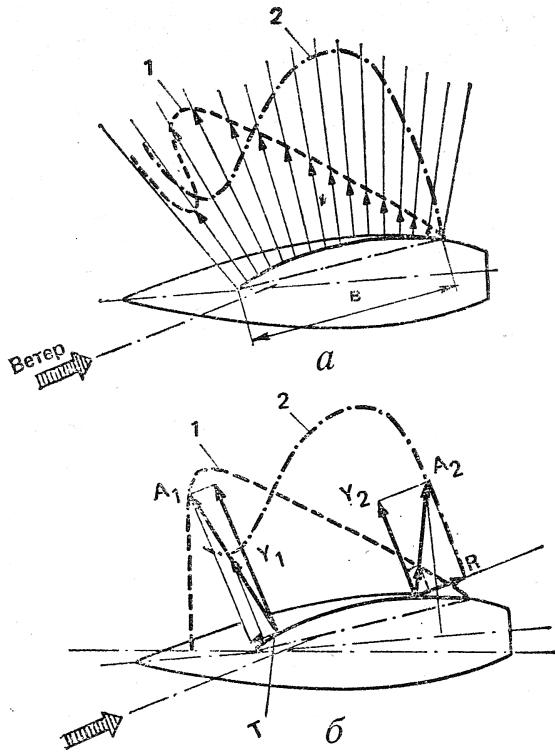


Рис. 2.9. Эффект распределения разрежения на подветренной стороне паруса на результирующую аэродинамическую силу на парусе
 a — эпюра распределения разрежения; b — силы на парусе; 1 — парус с максимальным «пузом», расположенным на расстоянии $0,4b$ от передней шкаторины; 2 — парус с «пузом», расположенным на $0,6b$ от передней шкаторины. veY_1 и Y_2 — подъемна сила; \mathbf{T} и \mathbf{R} — составляющие силы \mathbf{A} по направлению ветра

Попытка приблизить форму паруса к эллипсовидной при существующих ограничениях ширины фаловой доски и эластичности мачты была сделана, например, на английском двенадцатиметровике «Лайонхэт» — претенденте на Кубок Америки 1980 г.: верхняя часть мачты на нем была сильно изогнута. Испытания в аэродинамической трубе показали, что грут с гнутой мачтой дает примерно $10 \div 30\%$ увеличения движущей силы по сравнению с обычным бермудским парусом или увеличение скорости лавировки на ветер порядка 4%.

У треугольного паруса основная площадь и, следовательно, нагрузка сосредоточены в нижней трети. По мере приближения к фаловому углу площадь и подъемная сила убывают, что сопровождается соответствующим уменьшением скорости и фактического угла атаки паруса к набегающему потоку. Близ фалового угла также усиливается отрицательный эффект мачты поскольку размеры ее сечения увеличиваются относительно хорды паруса. Эксперименты показали, что если срезать бермудский парус на 15% высоты от вершины, то практически его тяга не уменьшится.

Существенное влияние на характеристики паруса оказывает аэродинамическое удлинение паруса (отношение длины передней шкаторины) к его средней хорде, измеренной на половине высоты, или отношение квадрата высоты паруса и его площади.

На рис. 2.10 представлены поляры трех парусов различного удлинения — от $\lambda = 1$ до 6, имеющих одинаковое «пузо» $f/b = 7,4\%$. Сравнивая поляры можно заметить, что при угле атаки $\alpha = 10^\circ$ наивысшую аэродинамическую силу дает парус с максимальным удлинением.

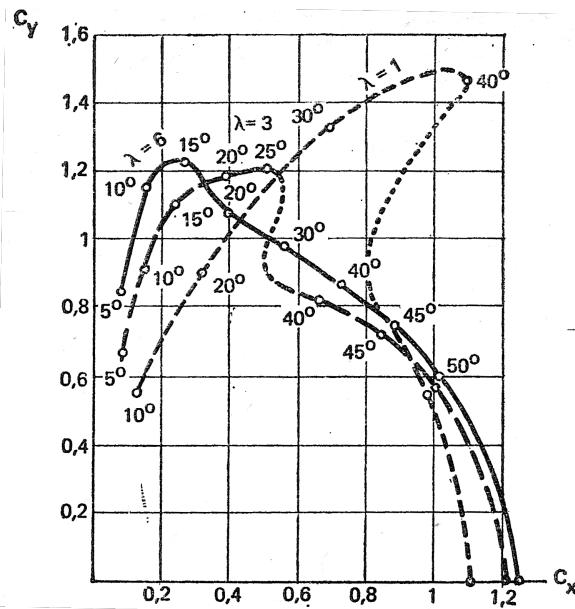


Рис. 2.10. Поляры парусов с различным аэродинамическим удлинением

нием $\lambda = 6$. Этот же парус имеет наивыгоднейшее направление аэродинамической силы для получения максимальной тяги на курсе бейдевинд.

Аэродинамическая сила на парус имеющем $\lambda = 6$ достигает максимума при $\alpha = 15^\circ$, затем падает. При угле атаки около 35° , т. е. на полных курсах, заметное преимущество получай более широкие паруса, имеющие $\lambda = 1$. Таким образом, можно сделать вывод, что парус с большим удлинением при переходе яхты на полный курс становится менее выгодным. На курсе полный бакштаг, например, более быстроходной может оказаться яхта, оснащенная широкими гафельными парусами с удлинением около 1. Вот почему несмотря на общепризнанное преимущество бермудских парусов, гафельные паруса довольно часто применяют на моторно-парусных яхтах, у которых паруса используются преимущественно при сильных ветрах и на попутных курсах.

У большинства современных яхт лавировочные паруса имеют отношение длин шкаторин от 3 до 5; паруса для полных курсов — дрифтеры, блуперы и спинакеры шьют с соотношением шкаторин, близким к 1.

Пределом для использования парусов большого удлинения является ограниченная остойчивость яхт, не позволяющая чрезмерно повышать положение ЦП. Более высокая парусность требует также рангоута большего сечения, что приводит к распространению влияния мачты на большую часть площади грота.

2.4. Взаимодействие парусов

Мы рассматривали особенности — аэродинамики одиночного паруса как крыла с тонким поперечным профилем. Большинство яхт, однако, оснащены по крайней мере двумя парусами — гротом и стакселем. Поскольку оба паруса расположены в непосредственной близости друг от друга и обтекаются одним потоком воздуха, то естественно предположить наличие их взаимного влияния.

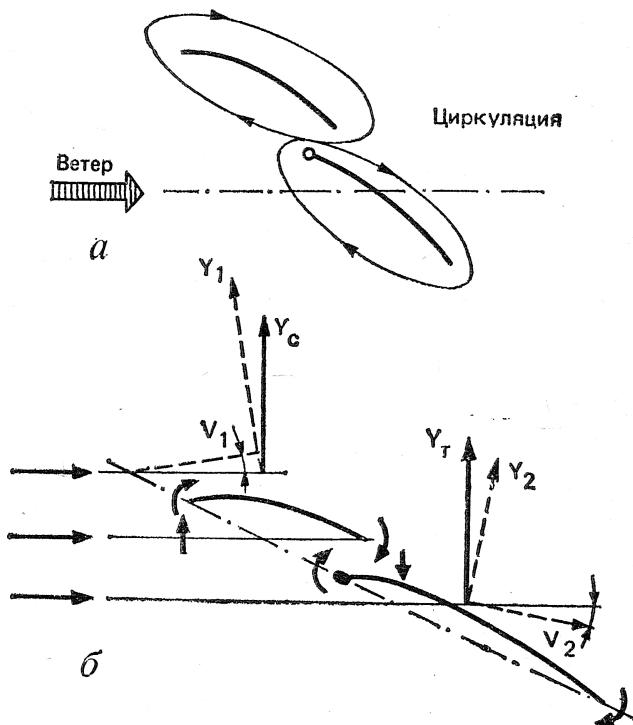


Рис. 2.11. Взаимодействие грота и стакселя

а — циркуляция потока вокруг обоих парусов; *б* — влияние отклонения потока, натекающего на грот и стаксель под действием циркуляции; \mathbf{Y}_C и \mathbf{Y}_T — подъемные силы на стакселе и гроте, работающие как изолированные паруса; \mathbf{Y}_1 и \mathbf{Y}_2 — подъемные силы на парусах, работающих совместно; \mathbf{V}_1 и \mathbf{V}_2 — скорости, вызванные циркуляцией потока вокруг обоих парусов

До недавнего времени среди яхтсменов пользовалась популярностью теория Вентури, заимствованная из авиации. Согласно этой теории, основным назначением стакселя считалось создание щели — сопла между стакселем и гротом, входя в которую, поток воздуха увеличивает свою скорость, способствуя тем самым понижению давления на подветренной стороне грота, особенно в районе, где паруса перерывают друг друга. В результате должна увеличиваться аэродинамическая сила на гроте.

В настоящее время взаимодействие парусов рассматривается на основании вихревой теории крыла — исходя из наличия циркуляции вокруг обоих парусов (рис. 2.11). Основная роль в паре грот — стаксель принадлежит стакселю. Бессспорно, что воздух, протекающий в щели между гротом и стакселем, имеет повышенную скорость. Однако это прежде всего сказывается на скорости потока, обтекающего подветренную сторону стакселя. Частицы воздуха, вырываясь из щели, увлекают с собой воздух с подветренной стороны стакселя подобно эжектору. Соответственно ускоряется поток вдоль всей подветренной поверхности стакселя, увеличивается циркуляция вокруг его профиля и возрастает аэродинамическая сила. И что еще важно — парус может работать без срыва потока на больших углах атаки.

Вызванная скорость (поперечная составляющая вследствие циркуляции) у передней шкаторины грота увеличивает угол атаки, под которым поток натекает на стаксель. Благодаря этому аэродинамическая сила растет и отклоняется вперед — на более выгодный угол. На курсе байдевинд, к слову сказать, большой генуэзский стаксель дает на 30 % большую движущую силу, чем грот, и на 45 % меньшую силу дрейфа.

Грот работает в области потока, отклоняемого вызванными скоростями у задней шкаторины стакселя. Это приводит к уменьшению угла атаки грота. Однако воздух, отраженный от стакселя, как бы прилипает к подветренной поверхности грота, благодаря чему предотвращается отрыв от нее пограничного слоя.

Стаксель влияет и на положение критической точки: она перемещается с наветренной стороны мачты ближе к ее передней кромке. В результате уменьшается скорость потока с подветренной стороны грота и сильно снижается пик разрежения у передней шкаторины. Поэтому тенденция к отрыву пограничного слоя и образованию завихрений на гроте ослабевает, парус более эффективно работает на больших углах атаки, чем без стакселя. Скорее этим, а не ускорением потока в щели между гротом и стакселем, по теории Вентури, можно объяснить положительное действие стакселя на работу грота.

Чем больше выбирают стаксель, тем меньше становится разность давлений на подветренной и наветренной сторонах грота. Когда они сравняются, выпуклая форма паруса уже не может поддерживаться — парус заполаскивает. Поскольку стаксель более эффективен, чем грот, и дает меньшую кренящую силу, то экипажи крейсерско-гоночных яхт уделяют большое внимание подбору стакселей для различных курсов и силы ветра. В гонках при усилении ветра целесообразно уменьшать площадь парусности рифлением грота продолжая по возможности нести стаксель. На отдельных порывах крен можно уменьшать, потравливая грот.

Поскольку Правила обмера IOR прямо не ограничивают длину нижней шкаторины стакселей, то обычно стараются шить их с максимальным перекроем (заходом стакселя за мачту). Существуют, однако, вполне определенные пределы перекroя, далее которых парус теряет свою эффективность и начинает отрицательно влиять на работу грота.

Прежде всего это обеспечение оптимального угла установки стакселя относительно ДП яхты, который равен для лавировки $12 \div 18^\circ$. Это труднодостижимо при большой длине нижней шкаторины стакселя и сравнительно небольшой ширине палубы яхты. Как правило, кипы стаксель-шкотов удаётся разместить при несколько меньших углах установки паруса — $9 \div 12^\circ$. По этому при слишком «пузатом» стакселе возможен сток потока воздуха с него на переднюю шкаторину грота и заполаскивание ее по всей высоте. Кроме того, возможно сильное скручивание стакселя: в верхней части ветер будет выдувать из паруса и он перестанет работать.

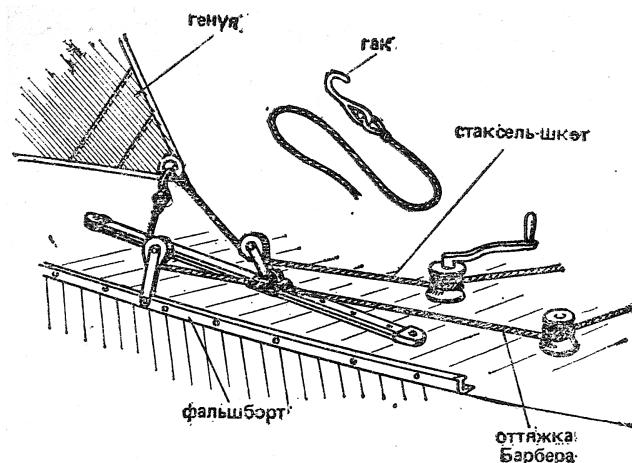


Рис. 2.12. Оттяжка шкотового угла стакселя

Для регулирования положения кип стаксель-шкотов в зависимости от величины стакселя и курса относительно ветра используют специальный фальшборт из металлического уголо-бульбового профиля с большим числом отверстий или крепят кипы на передвижных ползунах, скользящих по прочному палубному рельсу. При настройке стакселя стараются получить равномерный зазор между гратом и стакселем по всей высоте и «пузо» стакселя, смещенное к передней шкаторине. При перемещении кипы вперед тяга шкота сильнее натягивает заднюю шкаторину. В результате «пузо» увеличивается по всей площади, парус меньше скручивается, но возможно заворачивание задней шкаторины на ветер. При перемещении кипы назад, увеличивается натяжение нижней шкаторины; натяжение задней шкаторины будет недостаточным, парус сильно скрутится и может заполаскивать в верхней части. Иногда полезно применить дополнительную снасть — оттяжку шкота (рис. 2.12) для осаживания задней шкаторины. Выбрав втугую парус по нижней шкаторине за шкот, с помощью оттяжки добиваются нужного натяжения задней шкаторины и положения «пузо» по ширине паруса, устраниют сильное скручивание. Правильно отрегулированный стаксель должен давать поток воздуха, направленный по касательной к поверхности грата и при приведении яхты заполаскивать сразу по всей высоте. Хорошую службу при настройке могут оказать индикаторы (см. рис. 2.4–2.5).

Большое влияние на полноту стакселя оказывает прогиб штага. Чем сильнее при усилении ветра прогибается штаг, тем больше становится «пузо» паруса и он начинает задувать на грот. В известной мере прогиб компенсируется специальным раскроем стакселя с выпуклостью в нижней части передней шкаторины и вогнутостью (отрицательным серпом) в верхней. Многие яхты за рубежом снабжают мощными гидравлическими, винтовыми устройствами или талями для увеличения натяжения ахтерштага и даже наклона мачты назад.

2.5. Лобовое сопротивление яхты

Влияние лобового (воздушного) сопротивления яхты на ее ходовые качества исключительно велико. На курсе бейдевинд при ветре 4 балла на преодоление воздушного сопротивления яхты затрачивается около одной трети силы тяги, развиваемой парусами. Поэтому снижение лобового сопротивления так же важно, как и снижение сопротивления воды.

В общем балансе воздушного сопротивления на долю парусов и рангоута приходится $70 \div 78\%$, такелажа — $3 \div 5\%$, корпуса — $15 \div 18\%$, экипажа — $4 \div 6\%$. Поскольку основную роль играют паруса и рангоут, рассмотрим причины, обусловливающие появление на них сил сопротивления.

Воздушное сопротивление, как и сопротивление воды, считают возможным разделить на несколько компонентов. Для парусов их два: индуктивное сопротивление и сопротивление формы (или профильное). Как мы уже говорили, индуктивное сопротивление является неизбежным следствием действия на парусе аэродинамической подъемной силы. По мере роста скорости вымпельного ветра и соответственно величины подъемной силы растет и величина индуктивного сопротивления. В средний ветер в области оптимальных углов атаки паруса ($\alpha = 5 \div 15^\circ$) индуктивное сопротивление существенно выше сопротивления формы. Проявляется оно в виде двух вихревых дорожек, стекающих с нижней шкаторины и близ фалового угла паруса.

Основные факторы, влияющие на индуктивное сопротивление, — аэродинамическое удлинение и форма парусов, угол скручивания и распределение «пузо» по высоте паруса. Чем больше удлинение паруса (т. е. чем меньше относительно высоты паруса длина нижней шка-

торины и верхней части паруса, через которые происходит перетекание воздуха из зоны повышенного давления на сторону разрежения), чем ближе к форме эллипса форма верхней части паруса, тем меньше индуктивное сопротивление. От угла скручивания и величины «пуза» в верхней части паруса зависит величина подъемной силы и ее распределение на этом участке. У треугольного бермудского паруса в верхней части желательно получить большую подъемную силу на единицу площади, чем на середине высоты мачты, потому что тогда характер распределения нагрузки приближается к эллиптическому крылу, имеющему минимальное индуктивное сопротивление. Вот почему в верхней части паруса часто выкраивают с несколько большим «пузом», а скручивание паруса допускается лишь на незначительные углы. Корпус яхты, в непосредственной близости от которого располагаются нижние шкаторины парусов, является своеобразной аэродинамической шайбой, в известной мере снижающей перетекание воздуха через нижние шкаторины.

Профильное сопротивление парусов, в свою очередь, можно разделить на сопротивление трения и давления. Сопротивление трения вызвано вязкими свойствами воздуха и подчиняется тем же законам, что и сопротивление трения воды, хотя коэффициент кинематической вязкости воздуха в 860 раз меньше, чем воды. Нормальным режимом обтекания парусов является турбулентный, при котором коэффициент сопротивления трения в большой степени зависит от степени гладкости поверхности. Более ворсистые и имеющие крупную текстуру хлопчатобумажные ткани обладают большим сопротивлением трения, чем лавсановые или дакроновые, особенно пропитанные смолой.

Сопротивление трения повышается при наличии на парусах большого количества швов, поперечных морщин складок, различных нашивок. Особенно важно иметь гладкую поверхность близ передней шкаторины паруса, где возможно ламинарное обтекание и где формируется поток вдоль подветренной стороны паруса. Наличие здесь морщин или нашивок способствует турбулизации потока и его отрыву от поверхности паруса, в результате чего падает подъемная сила.

Сопротивление давления зависит от формы поперечного сечения — профиля паруса и угла атаки его относительно вымпельного ветра. Очевидно, что сопротивление плоской пластины при нулевом угле атаки во флюгерном положении будет полностью обусловлено трением. По мере увеличения угла атаки появится дополнительное сопротивление, которое при расположении пластины перпендикулярно потоку будет максимальным и полностью представит собой сопротивление давлений. Если при $\alpha = 0^\circ$ коэффициент сопротивления пластины $C_x = 0,004 \div 0,008$, то при $\alpha = 90^\circ$ $C_x = 1,9$. Это означает, что сопротивление давления может в $250 \div 500$ раз превышать сопротивление трения, однако влияние трения на режим обтекания паруса и его подъемную силу заставляет парусных мастеров экипажа яхты уделять качеству отделки парусов достаточно большое внимание.

Сопротивление давления паруса, имеющего «пузо», при малых углах атаки превышает сопротивление плоской пластины. Чем больше относительная величина «пуза» и чем дальше передней кромки оно располагается, тем больше профильное сопротивление. На его величине сильно сказываются искажения правильного профиля — складки, слишком туго набитые в карманах латы, свободно болтающаяся или, наоборот, слишком перебранная задняя шкаторина и т. п.

О вредном, но неизбежном влиянии мачты на тяговые характеристики паруса мы уже говорили. Кроме того, мачта сама по себе является далеко не идеально обтекаемым телом, обладает довольно значительным профильным сопротивлением, которое возрастает с увели-

чением скорости ветра. Немало случаев, когда в сильный попутный ветер яхта под одним рангоутом развивает достаточную скорость, чтобы слушаться руля.

Иное дело обтекатели штага, снабженные липким пазом, которые в последнее время все чаще находят применение на крейсерско-гоночных яхтах (см. рис. 3.15). Выполняемые обычно в виде хорошо обтекаемого алюминиевого или пластикового профиля с толщиной, равной $24 \div 29\%$ хорды, они примерно на 20 % снижают профильное сопротивление стакселя и на 5 % повышают его подъемную силу. Главный эффект состоит в оформлении и утолщении входящей кромки стакселя как аэродинамического профиля. Критическая точка (см. рис. 2.4) перемещается ближе к подветренной стороне обтекателя, благодаря чему пик разрежения вблизи передней шкаторины становится плавнее и достигается при несколько больших углах атаки. Кроме того, обтекатели способствуют уменьшению прогиба штага, отрицательно влияющего на профиль паруса.

В отличие от сопротивления паруса, создающего движущую силу, сопротивление мачты, краспиц, гика, стоячего и бегучего такелажа относят к так называемому паразитному сопротивлению. Оно занимает $10 \div 12\%$ общего воздушного сопротивления, поэтому сокращение длины и уменьшение диаметра всех тросов на яхтах очень важно. Мачты желательно «очистить» от большинства фалов и электропроводки, убрав их внутрь. По возможности внутри мачты следует расположить крепления стоячего такелажа и блоки фалов.

2.6. Ходовые качества яхты на различных курсах

Появившиеся в оснащении яхт приборы позволяют измерять параметры их движения и на основе этих измерений оценивать ходовые качества судна на разных курсах по отношению к ветру количественно, а не «на глазок». Наиболее доступные приборы дают следующую информацию:

- угол между ДП яхты и направлением вымпельного ветра;
- скорость вымпельного ветра;
- скорость яхты относительно воды;
- мгновенное изменение скорости яхты относительно выбранной точки отсчета.

Пользуясь показаниями этих приборов, экипаж может оптимальным образом настроить паруса для каждого курса, чтобы получить наивысшую скорость, а также построить полярную диаграмму ходкости яхты (рис. 2.13). При построении диаграммы яхта считается расположенной в центре нескольких концентрических окружностей, каждая из которых соответствует определенной скорости (4, 5, 6 и т. д. уз). Из центра через 10° проводятся лучи, обозначающие курсы яхты по отношению к направлению истинного (или вымпельного) ветра. Для удобства в правой части диаграммы могут быть нанесены курсы судна относительно направления истинного, а по левую — относительно вымпельного ветра. Затем на каждом луче откладывается значение оптимальной скорости на данном курсе и при данной силе ветра.

Нетрудно заметить, что поляра скорости яхты на курсе от полного бейдевинда до круто-го бакштага близка к дуге окружности, иными словами, с изменением курсового угла ветра скорость меняется очень незначительно. При переходе яхты на чистый фордевинд скорость заметно падает, особенно в слабый ветер. Объясняется это существенным снижением скорости вымпельного ветра и, поскольку аэродинамические силы пропорциональны ее квадрату, уменьшением силы тяги.

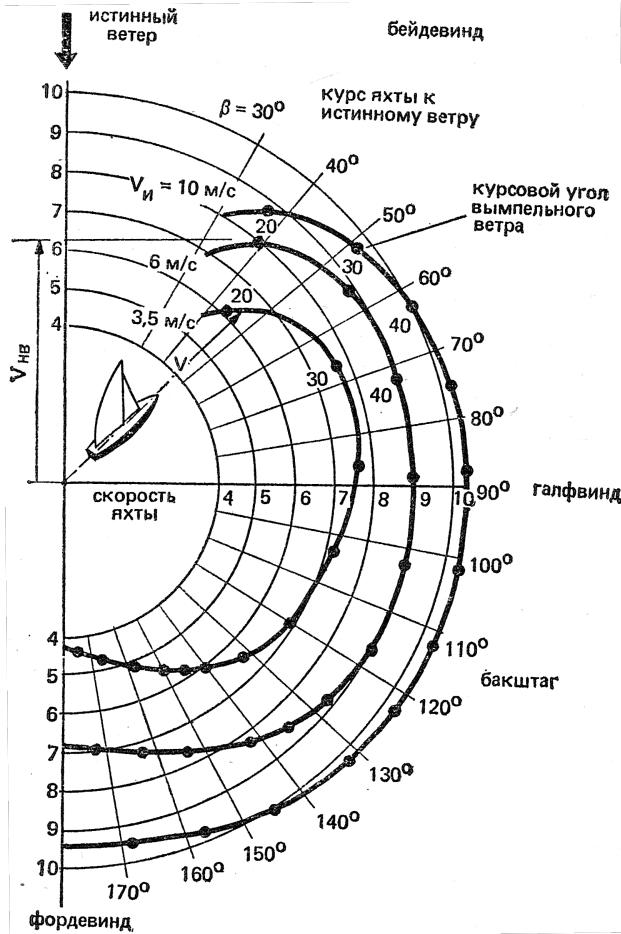


Рис. 2.13. Полярная диаграмма скорости яхты

Постановка дополнительных парусов — спинакера и блупера помогает увеличить скорость яхты в слабый и средний ветер. В сильный же ветер, когда скорость оказывается близкой к предельной, $v = 3 \cdot L_{KV}^{1/2}$, уз. и кривая сопротивления воды круто поднимается вверх, увеличение силы тяги при увеличении парусности практически не дает повышения скорости. На курсе бейдевинд скорость вымпельного ветра и аэродинамические силы максимальные, однако подъемная сила дает очень небольшую составляющую в направлении движения яхты (см. рис. 2.2). С увеличением же на этом курсе крена уменьшается эффективный угол атаки относительно вымпельного ветра, падает величина аэродинамической силы и силы тяги. Поэтому на острых курсах более остойчивая яхта может оказаться быстроходней.

С помощью полярной диаграммы рулевой яхты может решать различные тактические задачи, например выбрать оптимальный курс в лавировку. Он определяется по наибольшей скорости продвижения прямо против ветра. Для этого следует провести касательную к поляре для данной силы ветра — перпендикуляр к его направлению. Точка касания поляры указывает наиболее выгодный курс. При плавании полным курсом, зная расстояние до конечной точки, можно с помощью поляры определить, как выгоднее будет пройти дистанцию — курсом фордевинд или двумя бакштагами со сменой галса.

Для того чтобы облегчить возможность использования полярной диаграммы, на кривых скорости наносят курсы яхты относительно вымпельного ветра. Получаются они построением треугольника скоростей по данным снятым с диаграммы (см. рис. 2.1, б) поскольку с

движущейся яхты определить направление истинного ветра можно только приближенно — с помощью компаса и волны либо по береговым приметам.

Глава 3

Некоторые особенности конструкции крейсерско-гоночных яхт

3.1. Классификация и основные требования, предъявляемые к крейсерско-гоночным яхтам

Яхты для дальних плаваний (крейсерские яхты) можно разделить на три основные группы, отличающиеся по своему назначению: крейсерско-гоночные, крейсерские и туристские. Основным назначением **крейсерско-гоночных** яхт (их правильнее было бы называть гоночными яхтами открытого моря) является успешное выступление в маршрутных гонках на длинные дистанции. Крейсерско-гоночные яхты имеют характерное парусное вооружение с узкими и высокими парусами, свободную палубу, насыщенную механизмами и устройствами для управления парусами и их настройки (рис. 3.1). Типичными представителями этой группы яхт являются, например, однотонник «Марина», яхты «Конрад-44» и «Конрад-54».

Крейсерские яхты — достаточно быстроходные суда, используемые для дальних спортивных плаваний определенной категории сложности и протяженности. Суда этого типа принимают также участие в морских гонках, хотя и с меньшими шансами на успех при выступлении в одной зачетной группе с гоночными яхтами. Крейсерские яхты, рассчитанные на многодневное пребывание экипажа на борту, имеют лучшие условия обитаемости, большие запасы пресной воды и топлива, часто снабжаются более мощным двигателем. Такие суда имеют палубные рубки, позволяющие увеличить объем внутренних помещений и их высоту; конструкцию корпуса, отвечающую правилам постройки классификационных обществ. При больших измерениях они оснащаются двухмачтовым вооружением. К судам этой группы можно, например, отнести однотонник, построенный небольшой серией на таллинской экспериментальной верфи спортивного судостроения, яхты типа «Конрад-45» и «Опал».

Туристские яхты — мореходные и комфортабельные суда, рассчитанные на длительное плавание, не лимитируемое нормативами времени. Они оснащаются низким парусным вооружением с относительно небольшой площадью парусности, часто стилизуются под старинные кечи, шхуны и тендера. Мощный двигатель и топливные цистерны большой емкости позволяют получить высокую скорость и значительную дальность плавания под двигателем. По скорости и лавировочным качествам они уступают крейсерским.

В зависимости от мощности двигателя, установленного на яхте, ее можно классифицировать как яхту парусно-моторную — со вспомогательным двигателем или как моторно-парусную. В первом случае мощность двигателя составляет $1,5 \div 2,5$ л.с. на каждую тонну полного водоизмещения яхты, что обеспечивает достижение скорости от 5 до 6 уз. По запасу топлива для двигателя яхта имеет дальность плавания $80 \div 120$ миль; используются гребные винты со складывающимися лопастями или флюгерного типа, оказывающие минимальное сопротивление движению яхты под парусами. Двигатель служит лишь для выхода из гавани и входа

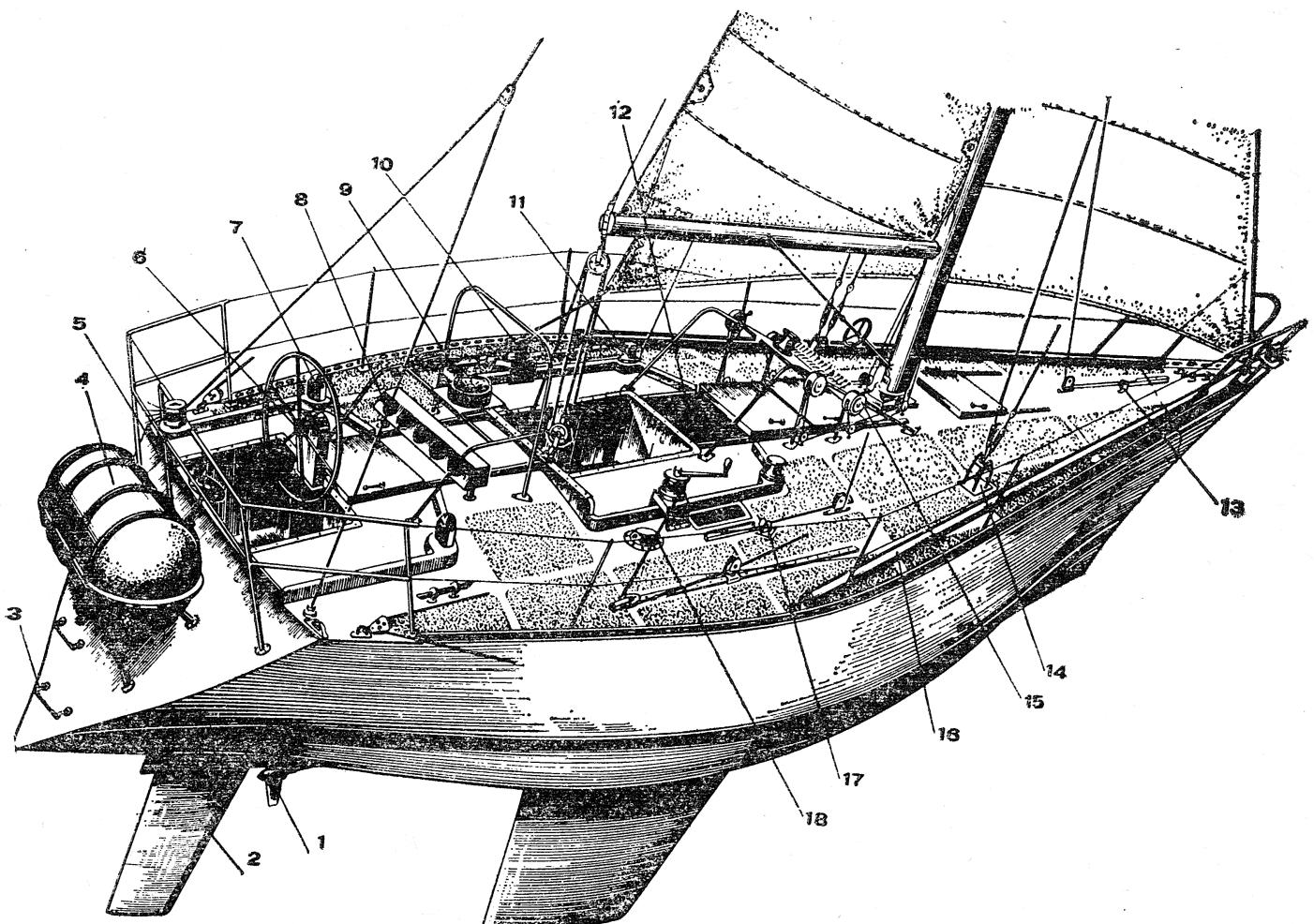


Рис. 3.1. Однотонник «Марина» постройки ленинградской судоверфи ВЦСПС
 1 — гребной винт регулируемого шага; 2 — перо руля; 3 — скоб-трап; 4 — надувной спасательный плот ПСН-6М; 5 — привод натяжного ахтерштага; 6 — штурвал; 7 — путевой компас; 8 — приборная панель; 9 — главный компас; 10 — двухскоростная лебедка; 11 — односкоростная лебедка; 12 — входной люк; 13 — натяжка внутреннего штага; 14 — вант-путенс; 15 — фаловая лебедка; 16 — спинакер-гик; 17 — натяжка багштага; 18 — вентиляционный дефлектор

в нее, для коротких переходов в штилевых условиях и в аварийных ситуациях, а также для подзарядки аккумуляторных батарей.

На моторно-парусных яхтах удельная мощность двигателя достигает $5 \div 8$ л.с./т.; запасы топлива для него принимаются из расчета обеспечения дальности плавания в несколько сотен миль со скоростью $8 \div 10$ уз. Устанавливаются эффективные трехлопастные гребные винты большого диаметра, оказывающие на ходу под парусами большое сопротивление движению. Наличие тяжелого двигателя и запасов топлива обуславливает уменьшение массы балласта до $15 \div 25\%$ водоизмещения яхты, что, в свою очередь, заставляет ограничивать площадь парусности. Моторные парусники — это туристские яхты, у которых двигатель является таким же, если не более важным средством движения, как и паруса.

По району плавания крейсерские яхты делятся на яхты для внутренних вод, озерного и прибрежного морского плавания и яхты для открытого моря (океанские).

Для плавания по относительно закрытым внутренним водам, характерным невысокой волной и наличием большого числа пунктов, в которых яхта может укрыться от непогоды, мореходность яхт может быть ограничена, корпус, рангоут и такелаж могут иметь легкую конструкцию. Оптимальными типами судов для плавания по внутренним водам являются крейсерские швертботы, компромиссы, яхты с тяжелым подъемным килем и небольшие кильевые суда, осадка которых не превышает 1,4 м. Поскольку при дальних спортивных плаваниях и гонках такие суда выходят в довольно обширные водохранилища с неприятной крутой волной, яхты для внутренних вод следует снабжать самоотливными кокпитами, предусматривать надежные закрытия входных и светлых люков и обеспечивать положительную остойчивость при крене до 90° — возможность самовыпрямления в аварийных ситуациях.

Яхты, предназначенные для прибрежного морского и озерного плавания, должны быть рассчитаны на достаточно длительное противодействие сильному ветру и крупной волне и способность отлавливать от подветренного берега. Для таких судов обязателен самоотливной кокпит, прочный рангоут и такелаж, каюта достаточного объема, оборудованная койками для отдыха экипажа, работоспособный на волне камбуз, штурманский стол для ведения прокладки и компас.

Наиболее жесткие требования к мореходности, оборудованию и снабжению предъявляются к яхтам открытого моря.

Для судов, участвующих в гонках, эти требования дифференцируются в зависимости от сложности маршрута — категории гонок.

Самые крупные и мореходные яхты, называемые неофициально яхтами нулевого класса, или макси-яхтами, имеют гоночный балл по правилам IOR, близкий к максимально допустимому значению $19 \div 22$ м. Такие суда строятся почти исключительно для трансокеанских и кругосветных гонок. Они рассчитываются на достижение максимально возможных скоростей на трассах с попутными ветрами с тем, чтобы ликвидировать преимущество, которое дает гандикап меньшим по размерам яхтам. Наибольшая длина макси-яхт составляет $21 \div 24$ м; длина по КВЛ — около 19 м; ширина — около 5,5 м; водоизмещение — $30 \div 35$ т; масса балластного фальшкиля — $16 \div 18$ т; осадка — до 3,6 м; обмерная площадь парусности — около 240 м^2 . В гонках экипаж таких яхт состоит из $13 \div 17$ человек. Корпуса их строятся из алюминиевых сплавов, реже — из стеклопластика или деревянной конструкции.

Наиболее многочисленную группу яхт на любых гонках составляют яхты длиной от 10 до 12,5 м (III–II классов IOR). Среди них имеется немало сравнительно дешевых однотипных судов, построенных по одному проекту что позволяет в ряде случаев выделить их в отдельные стартовые группы и повысить интерес экипажей к соревнованиям. Дальнейшим развитием типизации является введение так называемых «тонных» или «уровневых» классов яхт, которые строятся по специальным правилам. Основным признаком для деления на классы служит величина гоночного балла IOR. Таких классов шесть: «двуhtonники» (с гоночным баллом не более 32 футов — 9,76 м); «однотонники» (27,5 фута — 8,38 м); «3/4-тонники» (24,5 фута — 7,47 м); «полутонники» (21,7 фута — 6,60 м); «четвертьтонники» (18,5 фута — 5,65 м) и «минитонники» (16,5 фута — 5,18 м). Для каждого из этих классов имеются специальные требования к планировке корпуса, оборудованию и т. п. Это типичные гоночные яхты ограниченной обитаемости, хотя участвуют в гонках на дистанциях $150 \div 400$ миль. Они могут выступать и в соревнованиях с яхтами других типов с учетом гандикапа.

Основным требованием, предъявляемым к крейсерско-гоночным яхтам, является их высокая эффективность в гонках при высоких мореходных качествах.

Высокий надводный борт, большая ширина корпуса и значительная масса балласта ($40 \div 50\%$) позволяют обеспечить достаточную остойчивость яхты для несения эффективной парусности в сильный ветер. Единственным приемлемым типом вооружения для крейсерско-гоночных яхт малых и средних размеров является бермудский шлюп благодаря его высоким аэродинамическим качествам. Яхта оснащается большим числом вспомогательных парусов, средств для их настройки, позволяющих получить максимальную тягу при ветре любой силы и на любом курсе яхты по отношению к нему. Работу экипажа с парусами облегчают палубные шкотовые и фаловые лебедки, стопора, оттяжки и т. п.

Крейсерско-гоночную яхту стараются оборудовать электронными приборами, облегчающими навигацию и ведение гонки. В их комплект входят эхолоты, лаги, указатели скорости и направления вымпельного ветра, курса яхты относительно него, радиопеленгаторы. На крупных и дорогих яхтах за рубежом не редкость специальные системы радионавигации «Декка», «Лоран» и «Омега» и даже аппаратура для определения места с помощью искусственных спутников Земли. Большинство яхт снабжаются двумя-тремя радиостанциями УКВ и КВ диапазонов для связи с берегом и судейским судном при участии в гонке.

3.2. Общее расположение и конструкция корпуса

Обитаемости крейсерско-гоночных яхт должно уделяться достаточно внимания.

Типичным для гоночных яхт является общая компоновка и планировка внутренних помещений на яхте типа «Марина» (см. рис. 3.1 и 3.2). Характерной является палуба, свободная от рубок и надстроек, что диктуется необходимостью обеспечить удобство работы экипажа с парусами, а также снизить воздушное сопротивление, что важно при лавировке против сильного ветра. Для того чтобы получить нужную высоту внутри каюты, корпус яхты выполнен с повышенным бортом и значительной поперечной погибью палубы.

Гладкопалубный тип утвердился на яхтах меньших размерений вплоть до «минитонников». Однако в большинстве случаев для того чтобы выдержать регламентируемую правилами классов высоту помещения, у входа устанавливается небольшая рубка, совмещенная с входным люком.

Функционально размещение экипажа в двух кокпитах — рулевого в кормовом у самого транца и шкотовых — в кокпите близ миделя. Располагаясь позади всего экипажа, рулевой контролирует его действия, имеет хороший обзор парусов, а шкотовые не создают ему помех. Дифферентовка яхты в меньшей степени зависит от числа людей в кокпите, так как он находится ближе к общему центру тяжести судна, чем при традиционном кормовом расположении.

Под палубой экипаж располагается, по существу, в одном большом помещении в средней части яхты. Поперечная переборка, установленная под мачтой, отделяет форпик, используемый в качестве парусной кладовой. Здесь же размещены унитаз с принудительной прокачкой и небольшая раковина.

Кают-компания, она же и каюта для отдыха, оборудована мебелью облегченной конструкции и газовым камбузом. Здесь же, близ центра тяжести яхты, установлен вспомогательный дизель, благодаря чему существенно снизилось его влияние на период килевой качки и соответственно уменьшился прирост сопротивления при лавировке против волн.

В кормовой части судна, отделенная легкой полупереборкой, расположена штурманская каюта со спальными местами для капитана и старшего помощника. Для оперативной связи

штурмана или вахтенного начальника, ведущего прокладку по карте, с рулевым предусмотрена открывающийся светлый люк у переднего комингса рулевого кокпита.

Несколько иные принципы планировки общего расположения 15,3-метровой яхты, рассчитываемой на длительные гонки и плавания в океане. Обеспечению комфорта для экипажа в данном случае уделяется больше внимания. Легкими переборками внутренний объем яхты делится на семь отсеков, или кают. Фор-и ахтерпики используются в качестве шкиперских кладовых. Паруса хранятся в носовом кубрике и в тамбуре перед мачтой, куда они подаются с палубы через сдвижной люк.

Полная вместимость яхты по числу спальных мест составляет 13 человек, но трубчатые койки в носовом кубрике и над парусным рундуком используются только на стоянке и в тихую погоду. Наиболее комфортабельное помещение — кормовая трехместная каюта (для владельца или капитана) расположено в непроходной части и через небольшой лючок сообщается с кокпитом рулевого.

Кают-компания, камбуз и штурманская рубка расположены вблизи центра тяжести яхты, где меньше ощущается килевая качка и удары волн. Здесь же установлен вспомогательный дизель, закрытый звукоизолирующим капотом, под пайолами расположены цистерны с запасами топлива и питьевой воды.

Двухместная каюта в носовой части яхты может быть использована для размещения вахтенных начальников или гостей.

Объемы под койками, шкафы и закрытые полки используются для размещения личных вещей экипажа и запасов провизии в упаковке.

Освещение и вентиляция внутренних помещений осуществляется через входной люк и форлюк, снабженные прозрачными крышками, через открывающиеся светлые люки на палубе и иллюминаторы в комингсах рубки. В штормовую погоду помещения вентилируются через дефлекторные головки типа «Дорадо».

Большую часть внутренних помещений яхты занимают койки, минимальная длина которых должна быть равна 1950 мм при ширине в голове 650 и в ногах 500 мм. Каждая койка снабжается закладной доской или парусиновым обвесом, предотвращающим падение людей при большом крене и качке.

Штурманский уголок оборудуется столом размером не менее 600 × 1000 мм для карт. Около стола или под ним размещаются ящики для карт, навигационных пособий и проекционного инструмента. На переборке закрепляются индикаторы основных навигационных приборов: лаг, эхолот, указатель курса яхты по отношению к вымпельному ветру, компас, радиопеленгатор, барометр, часы и т. п. Здесь же может быть установлена и судовая радиостанция.

Камбуз оборудуется газовой плитой в карданном подвесе, разделочным столом, мойкой для посуды, ящиками, для расходных запасов провизии, полками для посуды. Для безопасной работы кока кастрюли должны надежно фиксироваться на плите, в удобных местах устанавливают поручни и подножные упоры, предусматривается откидное сиденье.

Стол в кают-компании предпочтителен качающейся конструкции с противовесами маятникового типа и ограждением для посуды. Стол на «Свене-51» снабжен в средней части глубокими гнездами для удержания чашек с бульоном или кофе в штормовых условиях.

Подобная планировка типична для яхт длиной до 18 м и может быть названа сквозной или проходной, так как все помещения сообщаются между собой через вырезы в легких и прочных поперечных переборках. На более крупных яхтах применяется отсечный принцип планировки, при которой некоторые помещения (машинное отделение, фор- и ахтерпики)

отделяются от остальных глухими водонепроницаемыми переборками и имеют самостоятельное сообщение с верхней палубой.

От конструкции корпуса требуется не только высокая прочность, но и способность сохранять водонепроницаемость при длительных и многократно повторяющихся нагрузках.

Корпуса современных яхт строят из качественной древесины, стеклопластика и легких алюминиевых сплавов (реже — из стали и армощемента). Стеклопластик в настоящее время наиболее распространенный в мире материал для постройки яхт, особенно малых и средних (до 16 м длиной) размеров. Благодаря применению методов холодного формования корпусов в специальных формах — матрицах из стеклопластика возможно изготовить корпус практически с любыми обводами. В отличие от деревянных и металлических яхт, корпуса которых собирают из множества деталей набора, обшивки и палубы, корпус пластмассовой яхты состоит из двух монолитных частей — собственно корпуса и палубы, которая формуется за одно целое с кокпитом и рубкой.

Прочной основой стеклопластика являются несколько слоев стекловолокнистых материалов. Синтетические смолы, которыми пропитываются стекломатериалы (на полиэфирной или эпоксидной основе), при затвердевании связывают слои прочной основы между собой и придают пластику водонепроницаемость. В наружный отделочный слой смолы вводится краситель-пигмент, так что при хорошем качестве изготовления пластмассовый корпус не нуждается в окраске (подводная часть пластмассовых яхт окрашивается необрастающими красками). В местах, требующих усиления, при формировании корпуса укладываются дополнительные слои стекломатериала или заформовываются конструкции из металла.

Жесткость и прочность корпуса малых пластмассовых яхт обеспечивается переборками, деталями обстройки каюты, которые приформовываются к обшивке с помощью «мокрых угольников» — полос стеклоткани, пропитанных связующим. Толщина обшивки таких корпусов составляет от 5 до 15 мм. На яхтах длиной более 10 м обшивку дополнительно подкрепляют продольными стрингерами, выклеиваемыми заодно с обшивкой, или шпангоутами. Специальные подкрепления в виде флоров и продольных балок, разносящих нагрузку на большую площадь обшивки, приформовываются в местах приложения сосредоточенных нагрузок — у стапса мачты, в районе крепления балластного фальшкиля, под двигателем (рис. 3.3, а).

Высокая прочность стеклопластика позволяет получить конструкцию необходимой прочности при малой толщине материала. Однако такая конструкция, например палуба, не обладает еще одним важным свойством — жесткостью, начинает «дышать» под нагрузкой. Для повышения жесткости палуб, переборок и наружной обшивки часто используют трехслойные (сэндвичевые) конструкции. Состоит такая конструкция из наружных тонких слоев стеклопластика и склеенного с ними внутреннего слоя — заполнителя из прочного легкого пенопласта или древесины бальзы.

Кили на пластмассовых яхтах чаще всего делают в виде сварных профилированных коробок из нержавеющей стали, которые присоединяют к корпусу на сквозных болтах, проходящих через усиленные флоры. Иногда балласт в виде свинцовой или чугунной дроби укладывают в полость киля, отформованного совместно с корпусом, и заливают связующим, которое после отвердевания превращается вместе с дробью в монолит.

Корпуса пластмассовых яхт долговечны, легки, стойки к воздействию атмосферы и морской воды, не подвержены гниению и повреждению червями. Недостатком материала является чувствительность к истиранию и к действию концентрированных нагрузок.

Малая жесткость корпусов требует подкреплять их продольными переборками, как это, например, сделано на яхте «Конрад-54», или трубчатыми ферменными конструкциями для предотвращения общего изгиба корпуса под действием тяги штагов и давления мачты.

В последние годы судостроительная древесина становится все более дефицитным и дорогим материалом на мировом рынке. Для яхтостроения применяются отборная высококачественная древесина тика, красного дерева и сибирского кедра (для обшивки) и дуба (для прочных деталей набора и вообще для всех частей судна), белого и гондурасского кедра. Используются также хорошо выдержаные прямослойная сосна и ель, а также лиственница.

В известной степени выручает широкое применение клееных конструкций и деталей, в которых можно использовать короткомерный материал. Благодаря качественному подбору древесины в клееной детали она оказывается более прочной при меньшем сечении. В целом корпус получается более легким и прочным, чем собранный на металлическом крепеже.

Клееной по пазам из реек выполняют и традиционную обшивку вгладь, которая ранее набиралась из досок и конопатилась. Клееная обшивка монолитная и водонепроницаемая, но имеет недостаток — при сильных колебаниях влажности рейки могут трескаться и усыхать каждая в отдельности. Поэтому для стран с жарким климатом этот метод не применяется. Лучшие яхты строятся с обшивкой из тика в подводной части корпуса и из красного дерева в надводной.

Более легкая и прочная — двухслойная (а на самых крупных яхтах — и трехслойная) обшивка. Доски внутреннего слоя располагаются диагонально по отношению к ДП, а наружного — вдоль судна, поэтому такую обшивку часто называют диагонально-продольной. По правилам постройки яхт допускается уменьшение суммарной толщины двухслойной обшивки на 10 %, а трехслойной — на 15 % по сравнению с монолитной.

С конца 60-х гг. получил развитие еще один метод постройки деревянных корпусов яхт, при котором используются широкие полосы тонкого 3–4-миллиметрового шпона, укладываемые диагонально на позитивную форму — пуансон в несколько слоев (шпон для постройки легких гоночных швертботов и яхт применяется в зарубежной и отечественной практике еще с 30-х годов). Каждая полоса предварительно пропитывается разжиженным эпоксидным связующим, которое проникает глубоко в поры древесины и консервирует ее от загнивания, предотвращает проникновение в обшивку древоточцев. Поверх уложенного и закрепленного временно на пуансоне первого слоя наносится связующее и накладывается второй слой полос и т.д. Эпоксидная смола плотно заполняет все зазоры между кромками полос шпона и объединяет его слои в обшивку-скорлупу, подобную стеклопластиковой. Снаружи корпус может быть покрыт лаком или краской либо оклеен слоем стеклоткани.

Корпуса небольших яхт по этому методу могут иметь безнаборную скорлупную конструкцию — прочность придают детали обстройки интерьера — переборки, рундуки и т. п. Более крупные корпуса (самой большой построенной яхтой является 28-метровая копия старинного кэча) формуют прямо по набору, состоящему из редко расставленных переборок и рамных шпангоутов, а также из продольных реечных стрингеров, установленных через $160 \div 200$ мм. По этому же методу делают палубы с надстройками и рубки.

При постройке деревянных корпусов утвердилась поперечная система набора — с довольно часто расставленными шпангоутами. Правила постройки яхт регламентируют размеры связей корпуса для различных типов шпангоутов, но наибольшее распространение получила постройка корпуса на гнутых шпангоутах, на ламинированных из реек и на комбинации ламинированных и гнутых. Между парой ламинированных шпангоутов могут устанавливаться два или три гнутых. Для восприятия усилий от фальшкиля и давления мачты в

корпусе устанавливают переборки, усиленные рамные шпангоуты (иногда выполняемые из металлических профилей). Внизу ветви шпангоутов соединяют деревянными листовыми или коваными металлическими флорами, разносящими нагрузку на достаточно большую часть шпангоута по ширине корпуса (рис.3.3, б).

Палубный настил на деревянных и металлических яхтах делается чаще всего из водостойкой фанеры. Фанерная палуба легче и прочнее обычного настила из палубника — не течет, не рассыхается под воздействием солнца, не требует постоянного ухода. Ее можно окрасить, оклеить стеклотканью на эпоксидном связующем или покрыть парусиной на краске. На фанеру могут быть наклеены тонкие декоративные планки из тика, имитирующие традиционный палубный настил. Нелакированная тиковая палуба обладает помимо прочих еще одним достоинством — по ней не так скользко ходить, как по палубе из другой древесины или окрашенной.

Корпуса многих крейсерско-гоночных яхт, особенно длиной более 15 м, построены цельносварными из алюминиево-магниевых сплавов. Сплавы эти (например, АМг5В) обладают высокой стойкостью против коррозии в морской воде, легко деформируются в холодном состоянии, хорошо свариваются в среде инертного газа аргона. Толщина наружной обшивки на яхтах длиной 15 ÷ 16 м составляет 5 ÷ 6 мм; кильевой пояс может быть изготовлен из листов толщиной до 8 мм. За редким исключением, на алюминиевых яхтах используется поперечная система набора, причем расстояние между шпангоутами составляет 350 ÷ 550 мм. Шпангоуты изготавливают из полособульбовых или тавровых прессованных профилей. Свинцовый или чугунный фальшкиль должен быть надежно изолирован от алюминиевого корпуса с помощью битумной мастики или эпоксидного компаунда.

Крейсерско-гоночные яхты из стали в последние годы строят крайне редко, хотя в конце 60-х гг., когда стальной корпус давал яхте преимущество при обмере по правилам RORC, было построено немало стальных «однотонников» и даже яхт меньших размерений. Толщина наружной обшивки на цельносварных яхтах длиной 12 ÷ 18 м варьируется от 4 до 6 мм.

Так как сталь и алюминий обладают лучшей теплопроводностью, чем дерево и стеклопластик, на яхтах из этих материалов необходима тепловая изоляция жилых помещений. Такая изоляция в виде плит из экспандита (прессованная пробка), поропласта и других материалов наклеивается изнутри на наружную обшивку и зашивается декоративными материалами — пластиком, фанерой, линкрустом.

Палубы и надстройки металлических яхт изготавливают из фанеры или металла с покрытием деревянным настилом или нескользящей мастикой.

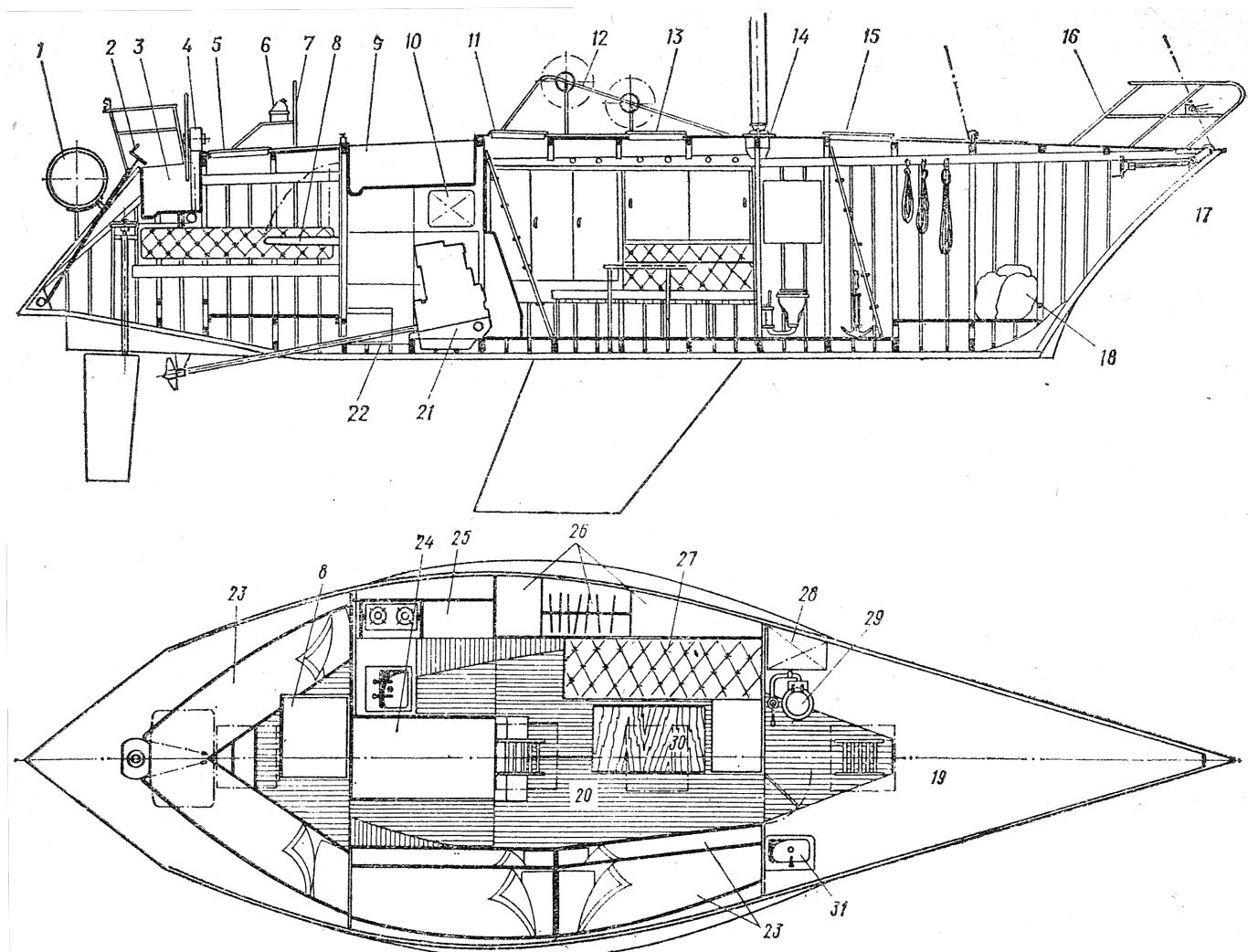


Рис. 3.2. Общее расположение однотонника «Марина»

1 — спасательный плот; 2 — привод натяжки ахтерштага; 3 — кокпит рулевого; 4 — колонка штурвала; 5 — ахтерлюк; 6 — путевой компас; 7 — поручень-стойка компаса; 8 — штурманский стол; 9 — кокпит шкотовых; 10 — топливный бак; 11 — входной люк; 12 — стойка лебедок и стопоров; 13 — светлый люк; 14 — стеңс; 15 — форлюк; 16 — носовой релинг; 17 — натяжка штага; 18 — паруса; 19 — форпик; 20 — салон; 21 — двигатель; 22 — аккумуляторы; 23 — конки; 24 — моторное отделение; 25 — камбуз; 26 — шкафы; 27 — диван; 28 — цистерна питьевой воды; 29 — унитаз; 30 — стол; 31 — умывальник.

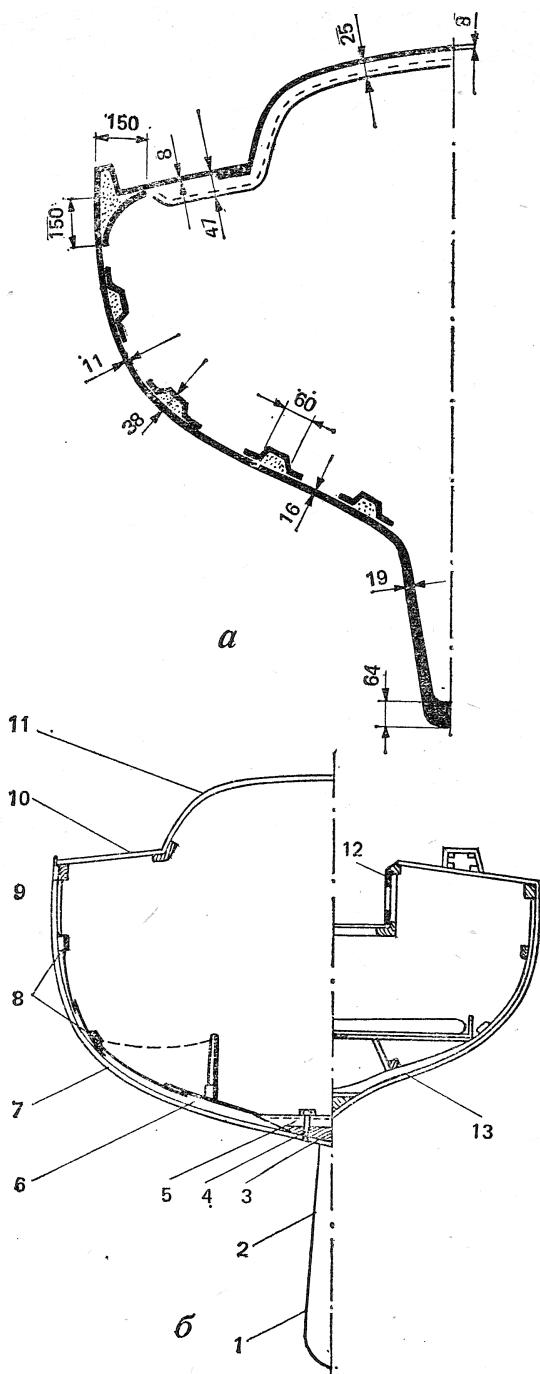


Рис. 3.3. Конструктивный мидель-шпангоут

а — пластмассовой яхты длиной 13,2 м; б — яхты деревянной конструкции длиной 12,8 м;
 1 — внутренний свинцовый балласт 2,73 т; 2 — плавник киля, сварной из стальных листов $\delta = 6$ мм; 3 — киль 90 × 460 мм; 4 — болт M25; 5 — флор, сталь $\delta = 6$ мм; 6 — ламинированный шпангоут 65 × 125 мм, kleеный из пяти реек по толщине; 7 — обшивка из семи слоев 3-миллиметрового шпона древесины каури (сорт красного дерева); 8 — стрингеры 25 × 50 мм; 9 — привальный брус 50 × 75 мм; 10 — палуба, три слоя фанеры толщиной по 6,4 мм; 11 — рубка, 7 слоев шпона каури $\delta = 3$ мм.

3.3. Устройства, системы и снабжение крейсерско-гоночных яхт

Безопасность эксплуатации и обитаемость яхты в большой степени зависят от того, насколько хорошо судно оснащено соответствующим оборудованием, устройствами и системами. К числу важнейших судовых устройств относятся якорно-швартовное, рулевое, леерное устройства и яхтенный тузик.

Якорное устройство. Количество и вес становых якорей, калибр якорной цепи и ее длина для крейсерских яхт определяются правилами классификации и постройки (табл. 4). Яхта, уходящая в дальнее плавание, должна быть укомплектована не менее чем двумя становыми якорями, один из которых примерно на 20-25 % должен быть тяжелее основного, наиболее часто используемого якоря. Кроме того, на судне должны быть завозные якоря или верпы. Масса самого большого верпа (стоп-анкера) принимается обычно равной 75 % основного станового якоря, а самого легкого — дрека — 25 % станового. Наиболее распространенным типом якоря на отечественных яхтах остается адмиралтейский якорь, обладающий высокой держащей силой практически на любом грунте. К недостаткам адмиралтейского якоря относят сравнительно большую массу и необходимость вооружать его перед каждой постановкой на якорь.

Классы яхты IOR	VI	V	IV – II	III
Якоря:				
количество, шт.	1	1	2	2
вес, кг	15	18	12, 18	18, 25
Якорная цепь:				
длина, м	30	30	40	60
калибр, мм	5	6	7	8
Якорный канат:				
окружность, мм	30	50	60	
длина, м	55	60	70	
Завозной канат:				
окружность, мм	40	50	60	60
длина, м	45	50	55	60
Швартовые концы:				
окружность, мм	45	50	55	60
длина, м	5	5	6	8
Ведра, шт.	1	1	1	2
Помпа водоотливная с диаметром цилиндра не менее, мм	25	30	40	50

Таблица 4. Нормы снабжения крейсерско-гоночных яхт якорями, якорными и швартовыми канатами и водоотливными средствами

Примечание. Вес якорей указан для адмиралтейского якоря. При применении бесштоковых якорей их вес должен быть на 25 % больше. В случае применения якорей повышенной держащей силы они подбираются по величине держащей силы, которая должна быть не менее, чем у адмиралтейского якоря, указанного в таблице.

На яхтах находят применение также легкие бесштоковые якоря с поворотными лапами типа Данфорта, Матросова и Холла, а также якорь-плуг (или лемеховый). Относительно своей массы якоря Данфорта, Матросова и лемеховый развивают очень высокую держащую силу на песчаных грунтах и в плотном иле, но уступают адмиралтейскому при стоянке на каменистом грунте и гальке. Кроме того, при съемке в сильный ветер, когда яхту без помощи двигателя трудно привести в положение «панер», требуются большие усилия для отрыва якорей этих типов от грунта.

Для определения необходимой массы адмиралтейского якоря можно воспользоваться приближенной формулой:

$$W = 8\sqrt[3]{D^2}, \text{ кг} \quad (3.1)$$

где D — водоизмещение яхты в тоннах. Массу второго якоря можно принять равной 75 % массы первого. Калибр якорной цепи подсчитывается по формуле:

$$d = 4,7\sqrt[3]{D}, \text{ мм} \quad (3.2)$$

Якорные цепи предпочтительнее канатов, так как цепь благодаря большой массе прижимает веретено якоря к грунту и амортизирует рывки яхты при волнении.

При стоянке на якоре цепь или канат крепятся на яхте за прочный битенг, кнехт или берется на стопора. Специальные механизмы для выборки каната или цепи — шпили и брашпили применяются только на самых крупных яхтах длиной свыше 15 м. Для отрыва якоря от грунта на яхтах меньших размерений применяют тали со скобой, перекладываемой за звенья цепи.

Чем ближе к форштевню закреплены клюзы, полуклюзы или роульс для якорной цепи, тем меньше яхту водят на стоянке и легче выбирается цепь. Лучшим устройством считается роульс со стопором, установленный на форштевне.

Для размещения якорных цепей яхты оборудуются цепными ящиками. Предпочтительнее узкие и высокие ящики, в которые цепь «самоукладывается» без завалов и калышек. Конец цепи крепится на судне к жвака-галсу — короткому куску цепи с быстроотдающимся устройством, которое при полном вытравливании якорь-цепи появляется из палубного клюза и готово к немедленной отдаче.

Необходимым дополнением якорного устройства являются томбуй и буйреп, а также крепления якорей по-походному на их штатных местах.

Швартовное устройство состоит из битенгов и кнехтов, установленных в носовой и кормовой частях палубы, киповых планок (полуклюзов), придающих швартовам правильное направление и предохраняющих их от перетирания о ватервейс или фальшборд. Длину швартовых концов, для которых используются синтетические тросы из капрона, лавсана и т. п., рекомендуется принимать равной удвоенной длине яхты, а диаметр подбирать так, чтобы разрывная нагрузка троса была бы не меньше водоизмещения яхты.

Рулевое устройство. Румпель — наиболее простое и надежное устройство, при котором рулевой хорошо чувствует яхту, если, конечно, рулевые петли хорошо отцентрированы и правильно выбран коэффициент компенсации балансирного руля. Недостатком румпеля являются его длина, мешающая работе в кокпите, и довольно значительные усилия при управлении яхтой в свежий ветер. В большую волну при попутных ветрах иногда приходится управлять яхтой с помощью румпель-талей, между румпелем и подходящими утками на палубе.

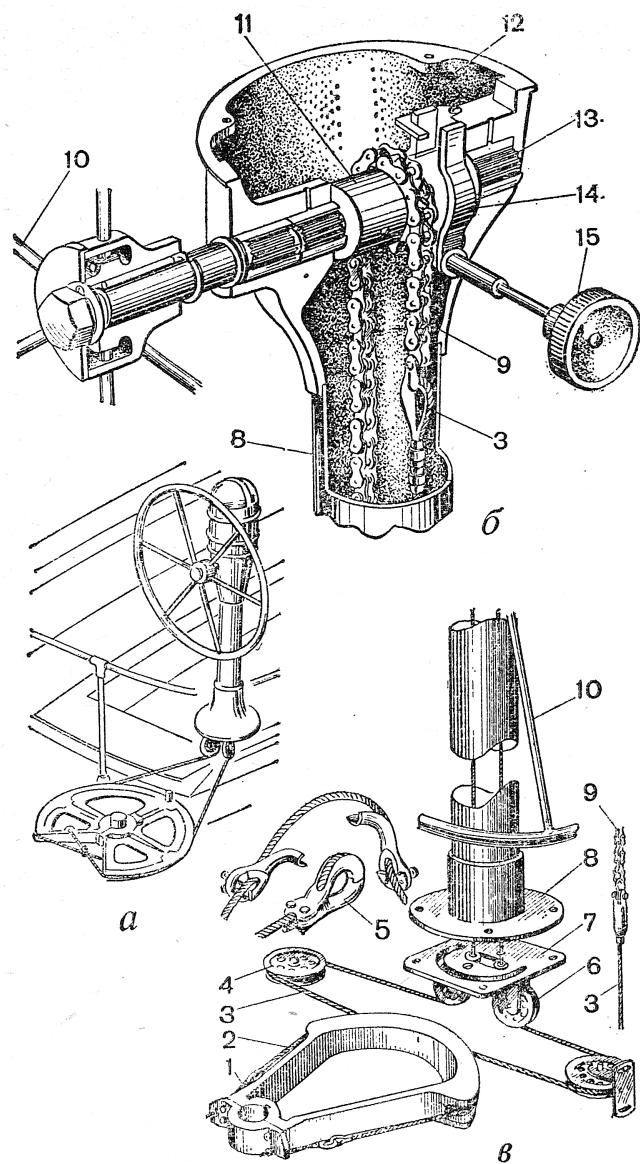


Рис. 3.4. Рулевой штуртросовый привод со штурвальной колонкой

1—натяжное устройство; 2—сектор; 3—штуртрос; 4—направляющий шкив; 5—разъемный коуш;
 6—самоустанавливающийся блок; 7—плита блоков; 8—колонка; 9—цепь Галля; 10—штурвал;
 11—звездочка; 12—корпус рулевой машинки; 13—игольчатый подшипник; 14—колодочный
 стопор; 15—привод стопора.

Яхты свыше 10 м длиной иногда управляются с помощью штурвала большого диаметра и тросовой передачи на сектор, закрепленный на баллере над сальником гельмпорта (рис. 3.4).

Штурвал устанавливается в кокпите на рулевой колонке (*а*) и имеет на валу звездочку (*б*), которую огибает роликовая цепь, включенная в среднюю часть штуртроса. Если на колонке стоит компас, то детали привода и цепь делаются из немагнитных материалов. Для передачи применяется гибкий стальной трос конструкции 6 × 19+ос достаточного диаметра, чтобы выдержать рывки, передаваемые рулем на волнении. Критическое значение имеют диаметры направляющих шкивов и их ориентация точно по оси троса; диаметр шкива по желобку для троса должен быть не менее $16 \div 19$ диаметров троса.

Штуртросовый привод не является самотормозящимся в отличие от ранее применявшихся винтовых рулевых машинок, поэтому рулевой сохраняет (при отсутствии люфтов) хорошее чувство руля. Тормоз, имеющийся на колонке, позволяет застопорить руль в определенном положении и на стоянке. Сектор (*в*) (иногда он заменяется диском с желобками для троса) снабжается тросовыми или другими ограничителями поворота руля.

Леерное устройство состоит из жестких трубчатых ограждений — релингов, установленных в носу и корме, стоек и лееров. Размеры и конструкция леерного ограждения регламентируются правилами обеспечения безопасности плавания при проведении крейсерских гонок.

Для того чтобы большой генуэзский и стаксель не ложился на леера, носовой релинг выполняют разрезной конструкции — со щелью, в которую проходит нижняя шкаторина генуи на острых курсах. На леерах в районе кокпита закрепляют парусиновые обвесы, защищающие экипаж от ветра и брызг. С внутренней стороны на них пришивают карманы для бросательного конца и других мелких предметов снабжения, которые желательно иметь на палубе.

На яхте, выходящей в крейсерское плавание, **тузик** является необходимой деталью снабжения. Минимальные размеры тузика, позволяющие безопасно использовать его на закрытых акваториях: длина — 2,4 м, ширина — 1,2 м, высота борта — 0,4 м. Предпочтительнее тузики с катамаранными обводами или с носовым транцем, как более вместительные и остойчивые на волнении. Существенными деталями оборудования тузика являются мягкий круговой кранец, закрепленный по привальному брусу, рым для буксировки в нижней части форштевня или на киле, гнездо в транце для голанения и подвески якоря при его завозе. На палубе яхты или на крыше рубки предусматривают подушки для укладки тузика и обушки для крепления найтов. Для подъема шлюпки массой более 100 кг на палубу используются гик, специальная стрела или шлюпбалки.

Системы. Крейсерско-гоночные яхты оборудуются осушительной, сточной, вентиляционной системами, а также системами водо- и газоснабжения.

Осушительная система состоит из ручных насосов, приемных трубопроводов с сетками и отливных трубопроводов, выведенных за борт выше ватерлинии. Применяются ручные диафрагменные помпы, одно- и двухцилиндровые насосы, а также насосы-альвееры. Правила классификации оговаривают производительность насоса или Диаметр его цилиндра (см. табл. 4). Диаметр трубопроводов составляет обычно половину диаметра цилиндра.

Согласно правилам безопасности крейсерских гонок, на яхтах, участвующих в гонках 1–3-й категорий, одна из помп обязательно должна быть установлена так, чтобы ею можно было пользоваться из кокпита, когда все входные люки закрыты. Простейший вариант — всасывающая поршневая помпа, смонтированная в днище кокпита, в который она подает трюмную воду, сливающуюся самотеком через отливные шпигаты.

Если отливной трубопровод выводится за борт, он должен быть снабжен невозвратно-запорным клапаном.

К приемнику осушительного насоса должен быть обеспечен беспрепятственный сток воды через все флоты и переборки либо к распределительному коллектору у помпы из каждого отсека подводятся отдельные трубопроводы.

Система водоснабжения на яхте состоит из цистерн пресной воды (они обычно размещаются под пайолами вблизи центра тяжести яхты), наливных и воздушных труб, расходных трубопроводов с насосом и кранами.

Цистерны большой емкости снабжают продольными отбойными переборками. Наливная труба заканчивается на палубе герметичной резьбовой пробкой, а конец воздушной трубы располагается так, чтобы исключить попадание внутрь цистерны морской воды и быть на виду при заполнении цистерн.

На яхтах получили распространение две системы подачи воды из цистерн к раковинам на камбузе и в умывальнике: гравитационная — самотеком из небольшой расходной цистерны, расположаемой под палубой, или под давлением воздуха, которое создается при нагнетании воды в полузаполненную расходную цистерну (гидрофор) (рис. 3.5). Гидрофор располагается под пайолами и не занимает полезного объема внутри яхты. В обоих случаях насос пресной воды может быть ручным или с электроприводом от аккумуляторной батареи. Вода на камбуз может подаваться с помощью ручной или педальной диафрагменной помпы непосредственно к расходному крану.

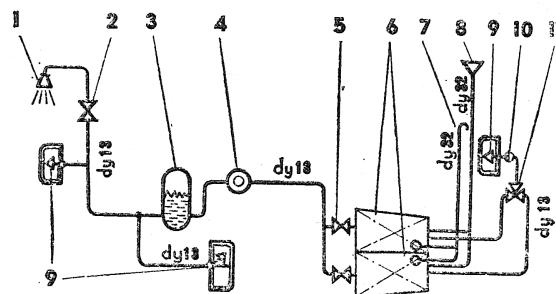


Рис. 3.5. Схема системы водоснабжения с гидрофором (под давлением)

1 — душ; 2 — запорный кран $dy\ 13$; 3 — гидрофор емкостью 30 литров; 4 — нагнетательный насос; 5 — запорный кран $dy\ 18$; 6 — цистерны пресной воды; 7 — воздушная трубка; 8 — заливная горловина; 9 — раковина; 10 — педальная диафрагменная помпа; 11 — трехходовой кран $dy\ 13$ (dy — внутренний диаметр трубопровода)

Постоянно повышающиеся требования к чистоте водной среды не оставляют в стороне и спортивные суда. В настоящее время на многих яхтах устанавливают специальную сточную систему, содержащую цистерну, в которой собираются загрязненные воды от камбуза, умывальника и гальюна. Опорожнение этой цистерны производится с помощью специальных установок в гаванях. Непосредственный выброс сточных вод за борт допускается во многих районах моря только за пределами трехмильной прибрежной зоны.

Унитазы на яхтах, как правило, оказываются расположеными ниже ватерлинии, вследствие чего необходимо специальное устройство для промывки забортной водой и откачки грязной воды за борт, если судно не оборудовано сточной цистерной.

На многих яхтах используются газовые камбузные плиты. При значительном числе экипажа и автономности плавания требуется установка баллонов большой емкости и монтаж системы газоснабжения.

Пропан-бутан тяжелее воздуха, оказывает отравляющее действие на организм человека, и смесь его с воздухом в определенной пропорции взрывоопасна. Поэтому к системе газоснабжения предъявляются особые требования. Баллоны с газом должны устанавливаться в вертикальном положении, желательно в помещении, изолированном от жилых кают или на верхней палубе. Дно помещения для баллонов должно располагаться выше ватерлинии и иметь шпигат для стока газа за борт. Отсек баллонов должен хорошо вентилироваться.

Газовые баллоны снабжаются редукционными клапанами для понижения давления с $8 \div 16$ атм до 0,05 атм. Трубопровод, соединяющий баллон с плитой, выполняется из медных труб или дюритового шланга с минимальным количеством соединений и с запорным краном перед плитой.

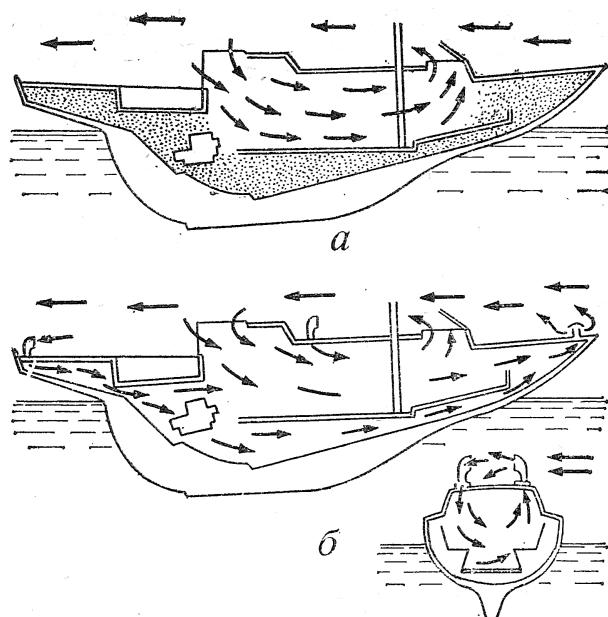


Рис. 3.6. Схема циркуляции воздуха в помещениях яхты

а — недостаточная циркуляция воздуха (заштрихованы невентилируемые объемы); *б* — правильная циркуляция воздуха

Система естественной вентиляции должна обеспечивать непрерывную циркуляцию воздуха во всех помещениях яхты (рис.3.6). Это возможно, если расположить нагнетательные вентиляционные головки в корме, а поток воздуха в помещениях судна направить с кормы в нос. Хорошая вентиляция важна не только для нормальных условий жизни экипажа в море, но и для увеличения срока службы самой яхты. При плохой вентиляции (особенно трюма и пространства между наружной и внутренней обшивками) на деревянных деталях корпуса появляется грибковая плесень и гниль.

Наиболее распространенные тип вентиляционных головок, используемые как для притока, так и вытяжки представлены на рис. 3.7.

При установке вспомогательного двигателя моторный отсек отделяется от остального трюма водонепроницаемым фтором или переборкой. Под двигатель устанавливают поддон для сбора утечек топлива и масла. Топливные баки располагают по возможности (бензобаки — обязательно) вне моторного отсека, а горловины для их заполнения и воздушные трубы выводят на палубу.

Двигатели обслуживаются системами: топливной, водяного охлаждения, газовых хлопней.

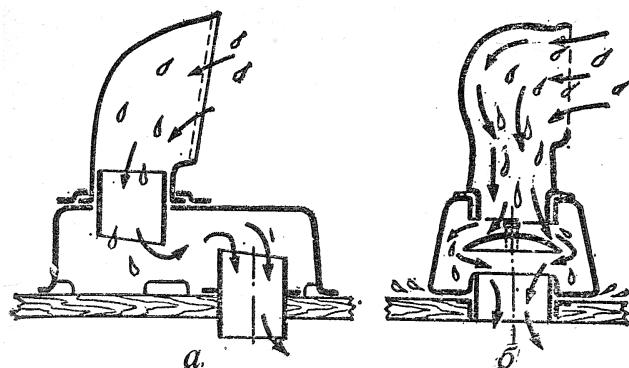


Рис. 3.7. Вентиляционные головки брызгозащищенного типа для яхт
а — типа «Дорадо»; б — фирмы «Никро Фико»

Электрооборудование. Для внутреннего освещения кают и питания навигационных огней применяется постоянный ток напряжением $6 \div 12$ в на малых яхтах и 24 в — на больших. Источниками тока служат кислотные или щелочные аккумуляторные батареи, которые подзаряжаются от генератора, навешенного на двигатель, или через зарядное устройство от береговой сети. Емкость батареи составляет обычно $100 \div 300$ а·ч.

Мощность ламп для внутреннего освещения кают достаточна $15 \div 25$ вт, Для навигационных огней и освещения палубы — $12 \div 15$ вт. Отличительные бортовые огни устанавливают на носовом релинге, на комингсах рубки или на краспицах таким образом, чтобы их не закрывали паруса. Белый топовый огонь, который яхта должна нести при движении под мотором, устанавливается на передней мачте на высоте $2 \div 5$ м над палубой, а кормовой — на кормовом релинге или гакаборте. В качестве якорного штагового огня можно использовать переносную лампу; для сигнализации служит клотиковский огонь, устанавливаемый на топе мачты. Яхты внутреннего плавания должны быть снабжены импульсными лампами-отмашками, расположенными на вантах или комингсах рубки.

Для освещения палубы и парусов на нижних краспицах устанавливают фары мощностью $6 \div 12$ вт. Для освещения компаса, штурманского стола и камбуза предусматривается автономное освещение.

Аккумуляторы устанавливают в моторном отделении вблизи стартера двигателя и заключают в водонепроницаемые ящики с вентиляционными трубками. Электропроводка выполняется морским кабелем. Потребители электроэнергии разбиваются на несколько групп, каждая из которых снабжается на распределительном щите отдельными предохранителями и выключателями.

3.4. Парусное вооружение

Подавляющее большинство крейсерско-гоночных яхт, принимающих участие в гонках, оснащается одномачтовым вооружением типа шлюп даже при площади парусности $150 \div 200$ м². Шлюп обладает высокими тяговыми характеристиками, прост в управлении и обеспечивает хорошую управляемость яхты.

Однако при увеличении парусности свыше 100 м² становятся ощутимы недостатки оснастки этого типа, которые требуют подчас сложных конструктивных решений. Увеличивается высота мачты и соответственно размеры ее поперечного сечения и масса: для раскрепления

мачты требуется тяжелый стоячий такелаж. Высокое расположение центра парусности вызывает необходимость повышать остойчивость, увеличивать массу балласта. При усилении ветра экипажу приходится брать рифы на гроте и заменять передние паруса на меньшие по площади. В прошлом при парусности $60 \div 200 \text{ м}^2$ яхты нередко оснащались вооружением типа иол. Площадь бизани на иоле составляет всего $10 \div 12\%$ общей площади парусности, и роль этого паруса в создании тяги невелика. Бизань, однако, оказывает существенное влияние на центровку яхты, обеспечивает исключительную поворотливость, особенно когда в штормовых условиях несут небольшой стаксель в комбинации с бизанью.

Вооружение типа кэч, которое целесообразно при оснащении яхт парусностью $120 \div 250 \text{ м}^2$ благодаря более равномерному распределению общей площади между тремя основными парусами (бизань $-20 \div 25\%$, грот $-45 \div 50\%$, стаксель $-30 \div 35\%$) предпочтается для оснащения крейсерских и гоночных океанских макси-яхт. Для уменьшения влияния стекающего с грота потока воздуха на работу бизани бизань-мачту часто относят на значительно большее расстояние от грот-мачты, чем при традиционной оснастке этого типа.

Кэч обладает заметно худшими качествами на лавировке, чем шлюп или иол, но лучше идет под стакселем и бизанью и устойчивее лежит в дрейфе, чем иол.

Тендер в его классическом виде — с двумя или тремя передними парусами — стакселем и кливером, так же как и шхуна, в последние годы практически не применяется. Многие шлюпы снабжаются внутренним (нижним) штагом, на котором могут ставиться дополнительные стаксели как в слабые, так и в свежие ветра. Но основную роль играет топовый генуэзский стаксель. Шхуной вооружают яхты парусностью $200 \div 300 \text{ м}^2$, причем используется преимущественно стаксельное вооружение.

В 60-е гг. крейсерско-гоночные яхты предпочитали вооружать шлюпом с топовым стакселем, поскольку стаксель является более эффективным парусом, чем грот. К тому же при топовой оснастке допускается установка спинакера большей площади, чем при оснастке типа 7/8 или 3/4 — по положению точки крепления основного штага относительно общей высоты мачты. В последние годы, однако, наметилась тенденция вновь оснащать яхты, особенно младших классов (четверть- и полутонники) шлюпом типа 7/8 или 3/4. Как показал опыт параллельных испытаний однотипных яхт, топовый и 7/8 варианты равнозначны по лавировочным качествам. На полных курсах яхта с топовой оснасткой получает преимущество в скорости благодаря большей площади спинакера. Однако уже на крутом бакштаге из-за малой площади грота топовый шлюп проявляет склонность к бочкингу. На бакштаге и галфвинде шлюп типа легче в управлении как благодаря меньшей величине сил, действующих на спинакере, так и за счет повышения роли грота.

К достоинствам оснастки типа 7/8 относят также меньшее сечение мачты и возможность регулировать ее изгиб с помощью штагов и бакштагов. Этот тип оснастки лучше для сильных и свежих ветров; топовая оснастка предпочтительна для слабого ветра.

Подавляющее большинство яхт оснащается мачтами, изготовленными методом прессования из алюминиево-магниевых сплавов. Оптимальные весовые характеристики получаются в случае использования профилей мачты с переменной толщиной стенки, утолщающейся в тех местах поперечного сечения, где действуют наибольшие напряжения (рис. 3.8). Соотношение размеров продольной и поперечной оси сечения составляет $1,25 \div 1,50$. Для яхт меньших размерений применяются мачты овального сечения и с постоянной толщиной стенки.

Деревянные мачты выполняются клееной пустотелой конструкции овального или прямоугольного сечения со скругленными углами. Толщина стенок составляет $1/5$ поперечного размера, а в местах крепления такелажа и в нижней части мачта делается сплошной.

Алюминиевые мачты на 40 % легче деревянных и более надежны в длительной эксплуатации и позволяют сделать внутреннюю проводку фалов, чем существенно снизить воздушное сопротивление.

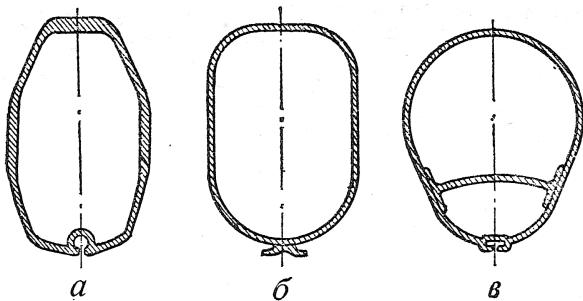


Рис. 3.8. Поперечное сечение мачт из легкого сплава

а — мачта с переменной толщиной стенки для топовой оснастки крупных яхт; б — мачта крейсерской яхты водоизмещением около 3 т; в — мачта мореходной крейсерско-гоночной яхты

Стоячий такелаж изготавливается из жестких стальных тросов конструкции 1 × 19 — спиральной свивки из 19 нержавеющих стальных проволок. В отечественной практике применяется трос 6 × 7+1ОС, а на зарубежных яхтах можно видеть такелаж из сплошной нержавеющей проволоки. Следует помнить, что от жесткости троса зависит распределение нагрузки от парусов между мачтой и стоячим такелажем. Чем меньше проволок в пряди при данном диаметре троса, тем больше его жесткость и тем на меньшую длину он растягивается при повышении нагрузки — усилении ветра. Особенно важно иметь жесткий трос на стоячем такелаже в верхней части мачты — на топ-вантах, штаге и ахтерштаге с тем, чтобы уменьшить его прогиб, который увеличивается по мере удаления от опорной точки — пяртнера или степса.

Суммарная разрывная нагрузка, которую должны выдерживать ванты одного борта, составляет около $1,25D$ — водоизмещения яхты. Это показатель не только прочности, но и жесткости стоячего такелажа. Между отдельными вантами суммарную нагрузку можно распределить в зависимости от схемы закрепления мачты такелажем, и в первую очередь от количества краспиц (рис. 3.9).

Для штага и ахтерштага при топовом стакселе применяют такой же трос, как и для самых прочных вант. Следует учитывать, что обрыв штага равносителен потере мачты. При оснастке типа 7/8 штаг должен иметь такую же прочность, что и одиночные нижние ванты; ахтерштаг и бакштаги — не менее прочности троса для верхних вант.

Важное значение имеет угол между мачтой и вантой. Угол менее 12° можно считать недостаточным — получается большое усилие сжатия в мачте, а ванты необходимо вырубать из более толстого троса. Оснастка с тремя парами краспиц позволяет увеличить угол между вантами и мачтой в полтора раза. Длина нижних краспиц при трех рядах краспиц может быть увеличена, так как ближе к палубе «пузо» генуи увеличивается и она не касается концов краспиц.

Стоячий такелаж яхты является инструментом для настройки грота и оказывает влияние на работу стакселя. Если на малых яхтах (швертботах) в слабый ветер при прогибе топа мачты на подветренную сторону нагрузка на грот и крен яхты уменьшается, то на больших судах это недопустимо. Отклонившийся от среднего положения топ означает уменьшение

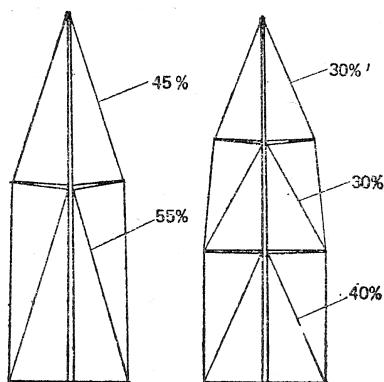


Рис. 3.9. Схема раскрепления мачт крейсерско-гоночных яхт и нагрузки на ванты в процентах от общего усилия

угла между мачтой и вантой, снижение поддерживающей способности ванты, увеличение прогиба штага. Кроме того, увеличивается плечо приводящего к ветру момента.

Поэтому на яхтах с топовым вооружением важно установить топ мачты жестко и точно в *ДП* и не допускать его отклонения под нагрузкой. При установке мачты ее выравнивают с помощью клиньев в пяртнерсе строго по *ДП*. Затем, подняв на грота-фале рулетку, регулируют положение топа с помощью натяжения верхних вантов, контролируя по рулетке равные расстояния от топа до симметричных относительно *ДП* точек на правом и левом фальшбортах. Затем добиваются с помощью натяжения средних и нижних вант прямолинейности ликпаза по всей высоте мачты.

Верхние ванты набивают так, чтобы на ходу в средний ветер при крене $15 \div 20^\circ$ подветренная ванта была бы не слишком туго набита, не имела бы слабины. Натяжение средних и нижних вантов делается несколько меньше. Если нижние ванты двойные, то сначала набивают передние, с тем чтобы они были несколько более тугими.

Необходимое натяжение придается штагу обычно с помощью ахтерштага при топовом вооружении и бакштагов при оснастке типа 7/8. Ахтерштаг выбирается так туго, как только это возможно: предварительное его натяжение может составлять $30 \div 40\%$ разрывной нагрузки троса.

Используя продольный такелаж, экипаж крейсерско-гоночной яхты имеет возможность регулировать изгиб мачты в продольной плоскости и тем самым изменять профиль грота в зависимости от ветровых условий. Для придания мачте прогиба применяют два основных способа: с помощью перемещения мачты в пяртнерсе вперед и с помощью натяжения ахтерштага при слегка ослабленном штаге. Величина прогиба мачты невелика: в зависимости от размеров поперечного сечения мачты, схемы оснастки, устройства краспиц и т. п. она может составлять от $1/2$ до $3/4$ продольного размера поперечного сечения мачты. Однако и этого достаточно, чтобы сделать грот более плоским при усилении ветра. Величина прогиба регулируется с помощью внутреннего штага и бакштага. Нижний конец этого штага снабжается ползуном, скользящим по продольному рельсу, и мощными тялями, позволяющими создать достаточное натяжение штага. При перемене галса внутренний штаг приходится отдавать для переноса генуи на другой борт.

С помощью продольного такелажа можно изменять в довольно широких пределах наклон мачты с целью получения оптимальной центровки яхты.

Управление наклоном мачты осуществляется с помощью гидроцилиндров на фор- и ахтерштагах, связанных трубопроводами в общую систему, либо механически с помощью винтовой натяжки и «бесконечного» троса, соединяющего штаги под палубой. Величина перемещения топа на крупных яхтах может достигать $1,2 \div 1,5$ м.

Паруса крейсерско-гоночных яхт шьются из синтетических тканых материалов на основе волокон полистера — продукта крекинга нефти. Впервые такая ткань под названием терилен была сделана в 1941 г. в Англии, а применение ее для парусов началось с 1951 г. Аналогичные материалы, изготавливаемые в других странах, получили другие названия: дакрон (в США), лавсан (в СССР), тергал (во Франции), тревира (ФРГ) и т. п. Это легкие и прочные ткани, обладающие необходимой плотностью и гладкостью поверхности. Последние два свойства достигаются каландрованием и в ряде случаев пропиткой в небольших количествах синтетической смолой.

Благодаря заполнению смолой микропор между нитями ткани уменьшается ее склонность к повышенной деформации при действии растягивающей нагрузки по диагонали — под углом к нитям основы и утка, что приводит к большим искажениям формы паруса. Синтетика не гниет, устойчива к воздействию масел и многих химических веществ.

Хлопчатобумажная парусина — миткаль и перкаль, из которых иногда еще шьют паруса, существенно уступают дакрону и лавсану по прочности, воздухонепроницаемости, а главное — паруса из них под нагрузкой получают большую остаточную деформацию — вытягиваются.

Легкие спинакеры шьют из нейлона — ткани на основе полиамидного синтетического волокна, получаемого из каменного угля. Эта ткань сильно тянется под нагрузкой, хотя остаточные деформации парусов невелики, и недостаточно стойкая к воздействию солнечных лучей.

При выборе ткани для парусов кроме ее прочности следует учитывать еще и фактор деформации под нагрузкой. Паруса из легкой ткани, конечно, более удобны для укладки и хранения, однако в сильный ветер они сильно вытягиваются и теряют свою форму.

«Пузо» паруса перемещается назад, он становится малоэффективным. Помимо размеров и площади парусов играют роль также размерения яхты, ее водоизмещение и район плавания. Для парусов яхт открытого моря используется ткань более тяжелая, чем для яхт, плавающих на внутренних воде хранилищах и в закрытых заливах. Приближенно вес ткани (дакрон или лавсан) для основных парусов можно рассчитать по формуле:

$$\omega = 33 \cdot L_{\text{КВЛ}}, \quad (3.3)$$

где ω — вес ткани, $\text{г}/\text{м}^2$; $L_{\text{КВЛ}}$ — длина яхты по КВЛ, м.

Таким образом, для яхт длиной по ватерлинии $9 \div 10$ м для грота и стакселя необходима ткань весом $300 \div 340 \text{ г}/\text{м}^2$. Генуэзские стакселя на таки яхтах шьют из ткани весом $245 \div 400 \text{ г}/\text{м}^2$; легкую геную — из ткани $130 \div 200 \text{ г}/\text{м}^2$; для спинакеров используется нейлон весом около $100 \text{ г}/\text{м}^2$.

Для того чтобы пройти дистанцию гонки с максимальной возможной скоростью, яхта должна быть оснащена достаточным числом сменных передних парусов, рассчитанных на плавание различными курсами по отношению к ветру, скорость которого может изменяться в течение гонки. Правила обмера IOR в целях снижения стоимости оснащения яхт для гонок ограничивают число парусов, которое может быть на борту судна во врем соревнований. Кроме основного грот разрешается иметь запасной, спицкий из той же ткани, что и основной,

один штормовой комплект из трисель и стакселя. Количество стакселей спинакеров ограничивается для каждого класса. На иолах и кечах можно иметь еще запасную бизань и три бизань-стакселя (апселя).

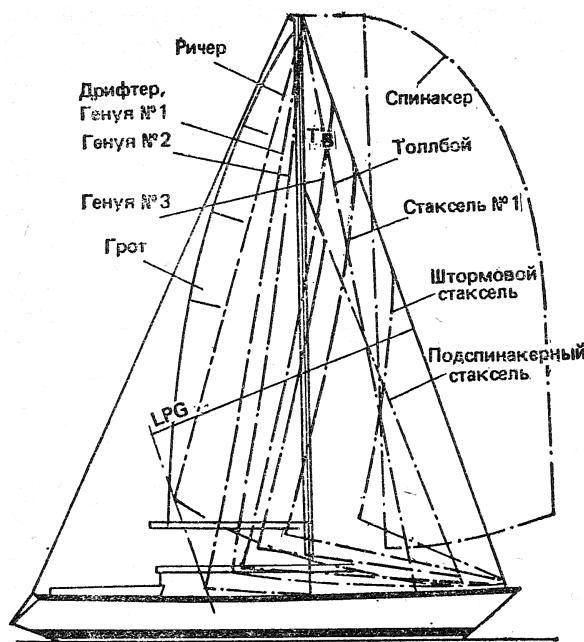


Рис. 3.10. Типичное оснащение крейсерско-гоночной яхты парусами

Передние паруса являются основным движителем яхты, поэтому и подбору уделяется много внимания. Характерный для топовой оснастки небольшой яхты ($L_{KBL} \approx 8$ м) набор парусов представлен на рис. 3.10.

Дрифтер — лавировочный парус для ветра до двух баллов (0,3 м/с), спитый из самой легкой ткани (нейлон) весом 65 г/м². Выкраивается с достаточной полнотой и «пузом», расположенным ближе к середине ширины паруса. Обычно ставится без карабинов, поэтому передняя шкаторина ликуется стальным тросом и снабжается оттяжкой Кэнингхэма для регулирования профиля.

Генуэзский стаксель №1 — самая большая лавировочная генуя с низким шкотовым углом, находящимся на пределе обмера LPG. Хорошо оснащенные яхты снабжаются генуей полного покрова для слабого ветра (3÷6,5 м/с), спитой из дакрона весом 190÷220 г/м² и плоской генуей из ткани весом 220÷340 г/м² для ветра 5÷11 м/с. Оба паруса имеют такую же площадь, что и дрифтер.

В дополнение к большой генуе на острых курсах к ветру иногда между ней и гротом ставят стаксель сравнительно плоского покрова, спитого из дакрона весом 110÷150 г/м². Передняя шкаторина его может крепиться к внутреннему штагу или быть свободной; в последнем случае она облицовывается стальным тросом. Фаловый угол располагается на 3/4 или 7/8 высоты переднего треугольника, галс крепится к палубе в пределах 30÷40% основания переднего треугольника I. Кроме того что этот стаксель сам создает тягу, он усиливает циркуляцию вокруг генуи, способствуя повышению и своей тяги.

При усилении ветра до 10÷14 м/с генуя №1 меняется на **геную №2**, более плоскую в верхней части, с меньшей площадью и приподнятым над палубой шкотовым углом. При

ветре $13 \div 18$ м/с ($6 \div 8$ баллов), когда на гроте берут второй риф, ставится генуя №3 из дакрона весом $300 \div 370$ г/м² еще меньшей площади и с вогнутой задней шкаториной.

Стаксель №1 — прочный и плоский парус, облицованный по передней шкаторине стальным тросом, с вогнутой задней шкаториной и высоким шкотовым углом, который ставится в сильный ветер и при большой волне вместе с гротом на любых курсах относительно ветра.

Если направление ветра по отношению к курсу судна составляет угол более 50° , преимущество генуи с низкой нижней шкаториной, имеющей большое аэродинамическое удлинение паруса и незначительное перетекание воздуха в щели между нижней шкаториной и корпусом яхты, утрачивает свое значение. В этом случае ставится **ричер** — полноскроенный легкий парус ($160 \div 250$ г/м²) с высоко поднятым шкотовым углом и большим серпом по нижней шкаторине. Шкот ричера проводится под гиком на транец яхты. Этот парус эффективно работает от полного бейдевинда до бакштага (при курсе $45 \div 120^\circ$ к направлению ветра) при скорости ветра до 13 м/с.

В дополнение к ричеру может быть поставлен узкий крыловидный парус — **толлбой**. Его назначение — направлять струи воздуха на подветренную сторону грота и тем самым ликвидировать возникающие здесь завихрения. Галсовый угол толлбоя крепится примерно на половине основания переднего треугольника от мачты; обычно он снабжается устройством для перемещения в поперечном направлении — радиусным рельсом с ползуном или тялями, закрепленными к фальшбортам. Чем полнее курс яхты, тем дальше на наветренную сторону и ближе к мачте смещается галс толлбоя (см. рис. 3.12, а). Для повышения жесткости этого паруса его снабжают латами и стальным ликтросом по передней шкаторине. В слабый ветер (менее 2 баллов) постановка толлбоя нерациональна.

При слабом ветре и на 70° ричер заменяют на **спинакер**. В свежий ветер (5 баллов) такая замена целесообразна уже при галфвинде, а в сильный ($6 \div 7$ баллов) — при крутом бакштаге.

По своей площади спинакеры являются самыми большими парусами, которые яхта может нести при ветре данной силы. Максимальная ширина спинакера по правилам IOR ограничивается величиной $1,8 \cdot I$, а длина боковых шкаторин $0,95\sqrt{I^2 + IC^2}$, где IC — самый больший из следующих размеров: длина спинакер-гика, наибольшая ширина спинакера, деленная на 1,8, или I . Существует несколько разновидностей спинакеров, рассчитанных на разные условия плавания (рис. 3.11).

Сферический спинакер (рис. 3.11, а) для слабого ветра шьется из самого легкого нейлона весом 30 г/м². Выкраивается обычно из горизонтальных полотнищ, в верхней куполообразной части может иметь средний вертикальный шов. Для поддержания формы паруса при самых слабых дуновениях ветра должен иметь форму верхней части, приближающуюся к полусфере. Такой парус можно нести при ветре до 4 баллов и его курсовом угле до 60° .

Радиальный спинакер (рис. 3.11, б) в верхней части шьется из полотнищ, расходящихся лучами из фалового угла; в остальной части полотнища горизонтальны. Покрой этого спинакера более плоский, форма купола приближается к эллипсоиду. Материал — нейлон весом $50 \div 60$ г/м²; парус рассчитан на ветер от 3 до 6 баллов при курсовых углах от 180° до 60° .

Спинакер «звездного» покрова (рис. 3.11, в) — очень плоский парус, предназначенный для несения, начиная от полного бейдевинда (до 45°). Его площадь превышает площадь самой большой генуи и дает преимущество при ветре от 2 до 6 баллов. Благодаря расположению полотнищ, расходящихся из всех трех углов, мало деформируется под нагрузкой и не увеличивает своей полноты при усилинии ветра. Шьется из нейлона весом до 110 г/м² с максимально допустимой высотой, но узким. Иногда такие спинакеры называют спанкерами.

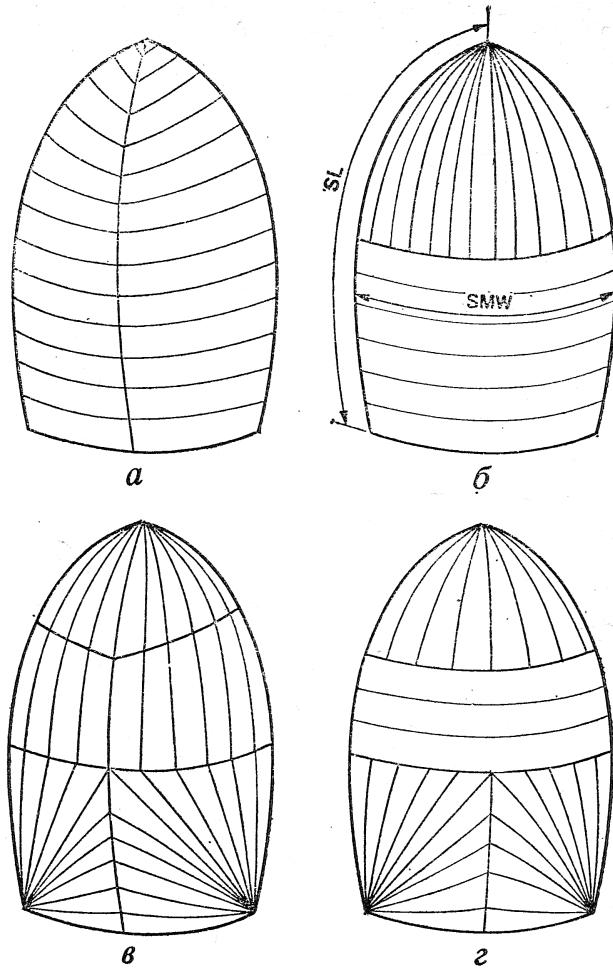


Рис. 3.11. Спинакеры

Площадь сферического спинакера $S = 0,9 \cdot SL \cdot SMW$. Площадь «звездного» спинакера $S = 0,74 \cdot SL \cdot SMW$

Наконец, **штормовой спинакер** (рис. 3.11, г) для ветра свыше 12 м/с шьется из нейлона весом 110 г/м² с комбинированным или «трирадиальным» расположением полотнищ: горизонтальным в средней части и лучевым в каждом углу. Это препятствует сильному растяжению ткани, что дает парусу излишнюю полноту, которая приводит к образованию застойной зоны внутри спинакера и неустойчивости его работы. Этот парус имеет площадь, примерно равную 25 % площади наибольшего спинакера.

Вместе со спинакером во время гонки яхта может нести дополнительные носовые паруса - толлбой (его назначение то же, что и в паре с генуей, рис. 3.12), блупер и подспинакерный стаксель.

Блупер (другие названия: шутер, бигбай, подветренный спинакер) — очень полно скроенный стаксель из легкого нейлона весом 65 г/м² с вогнутой передней и выпуклой нижней шкаториной, который по своим обмерам удовлетворяет правилам IOR для стакселей и может ставиться одновременно со спинакером на галсовой оковке для других носовых парусов. Главный эффект блупера — стабилизация яхты на курсе, так как он ставится по другую сторону от спинакера и противодействует его уваливающему действию. Кроме того, благодаря блуперу центр парусности перемещается вперед, умеряется раскачивание яхты, фаловый угол

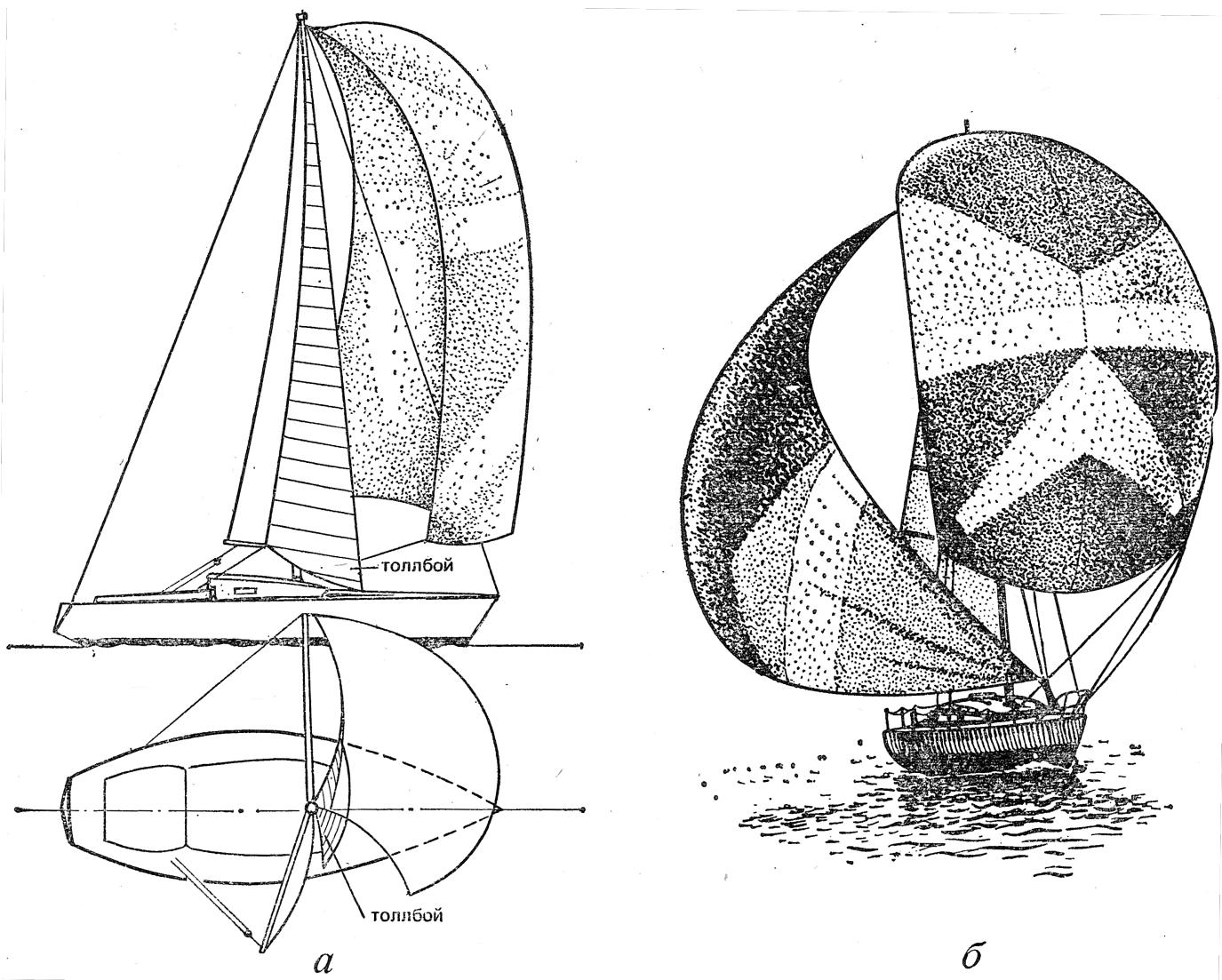


Рис. 3.12. Вспомогательные паруса для полных курсов
а — спинакер и толлбой; б — спинакер и блупер

блупера — свободный, и фал служит таким же инструментом для управления парусом, как шкот и брас для спинакера. Блупер ставится при ветре от 3 до 13 м/с на курсах от полного бакштага до чистого фордевинда ($160 \div 180^\circ$).

Поскольку грот создает помехи для устойчивой работы спинакера и блупера, в свежий ветер и при спокойном море на нем берут риф, а в слабый ветер его лучше убрать совсем.

При направлении ветра к курсу яхты под углом 135° и менее нести, блупер становится нецелесообразно и его заменяют толлбоем или подспинакерным стакселем.

Диаграмма, приведенная на рис. 3.13, суммирует сказанное о применимости различных носовых парусов в средний ветер в зависимости от курса яхты относительно ветра. Залипые черным сектора обозначают рекомендуемый диапазон для несения паруса, заштрихованные — возможный.

Кроме основных и дополнительных парусов каждая яхта, участвующая в крейсерских гонках должна снабжаться штормовыми парусами — стакселем и триселем.

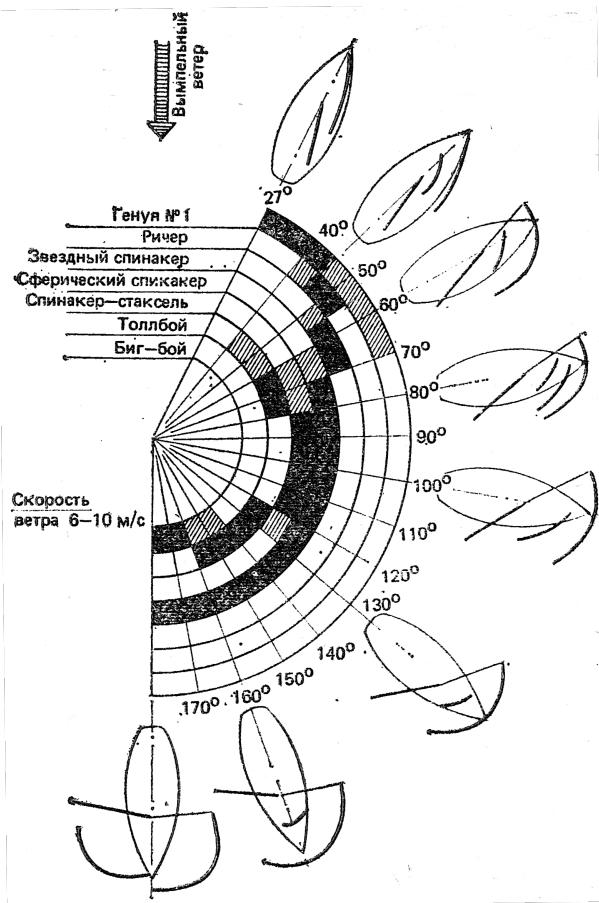


Рис. 3.13. Диаграмма применимости основных и вспомогательных парусов

Бегучий такелаж. Фалы парусов вырубают из гибких стальных тросов двойной свивки, изготовленных из нержавеющей или оцинкованной стальной проволоки. Используются тросы конструкции 7×19 , состоящие из шести прядей по 19 проволок в каждой и такой же седьмой, служащей центральным сердечником, или $6 \times 19 + \text{ос}$ — с сердечником из растительной пряди. Для надежности и долговечности фала важно, чтобы он имел достаточный запас прочности (не менее 4 и не менее 6 в тех случаях, если фал может быть использован для подъема человека на мачту) и был проведен через шкивы достаточно большого диаметра. Если трос огибает шкив под углом 180° , то диаметр шкива (по желобку для троса) не должен быть менее 20 диаметров троса. Если же направление тяги троса изменяется на 90° , то критическим будет диаметр шкива, равный 16 диаметрам троса. Огибая шкивы меньшего диаметра, проволоки троса подвергаются большим напряжениям снятия, и при повторяющихся на качке перемещениях фала по шкиву трос быстро изнашивается. Также важно, чтобы шкивы были изготовлены из более мягкого, чем сталь, материала — прочной пластмассы или бронзы.

На топ мачты обычно проводится один грот-фал, два фала генуи и два спинакер-фала (обычно с вертлюжным блоком). Кроме того, на мачте может быть фал для стакселя, топенанта грота- и спинакер-гиков. При металлической мачте фалы проводятся внутри нее таким образом, чтобы исключалось переплетение отдельных тросов между собой. В нижней части мачты фалы выводят наружу и через направляющие футблоки проводят на лебедки шпилевого типа, обычно устанавливаемые впереди кокпита команды.

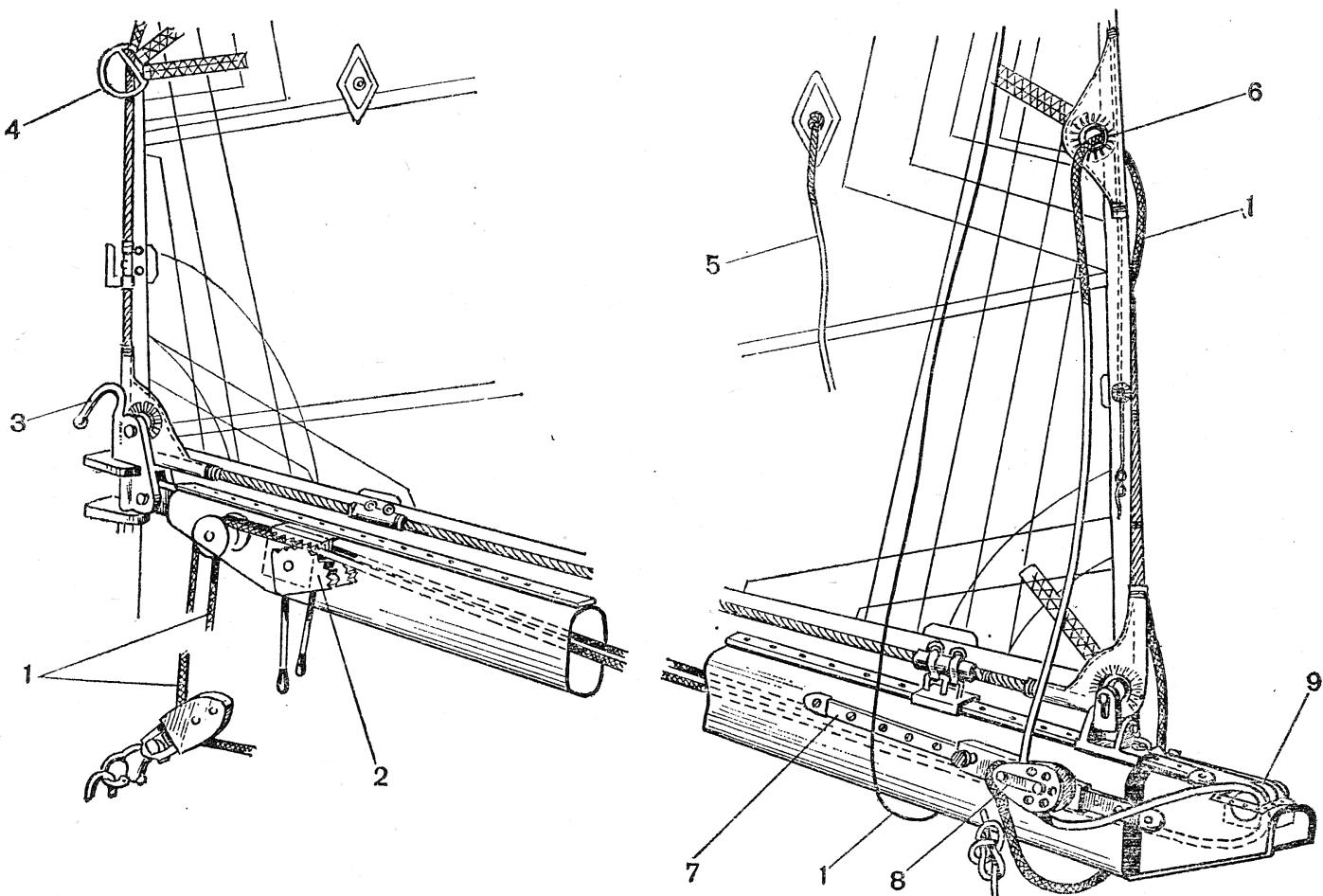


Рис. 3.14. Оснастка гика для взятия рифов

1 — риф-шкентели; 2 — стопора риф-шкентелей; 3 — крюк для закладывания кренгельса скобы; 4 — 5 — штерты; 6 — риф-кренгельс; 7 — рельс; 8 — блок риф-шкентеля на ползуне; 9 — врезные шкивы для шкентелей.

Гика-шкот проводится даже крупных яхтах в 4 лопаря — необходимое усилие для добирания обеспечивается специальной лебедкой. Вместо двухшкивных предпочтительнее одинарные блоки, при которых трос не закручивается и легко травится без его раздергивания. Нижние блоки крепят к ползуну, перемещаемому по поперечному погону с помощью специальных талей.

Для генуи часто применяют шкоты из стального троса, наращивая их на ходовых концах короткими отрезками синтетического троса для закладывания на барабан лебедки. Такие комбинированные шкоты хороши тем, что не вытягиваются в сильный ветер и позволяют сохранить угол атаки паруса при порывах ветра. Для спинакер-шкотов хорош полипропиленовый трос, который не намокаает, а спинакер-брас лучше вырубить из стального тросика — он не вытягивается и позволяет сохранить оптимальную настройку спинакера при порывах ветра.

Оттяжка гика в виде многократных талей на новейших яхтах заменяется винтовым или гидравлическим талрепом, что позволяет отказаться от проводки гика-топенанта.

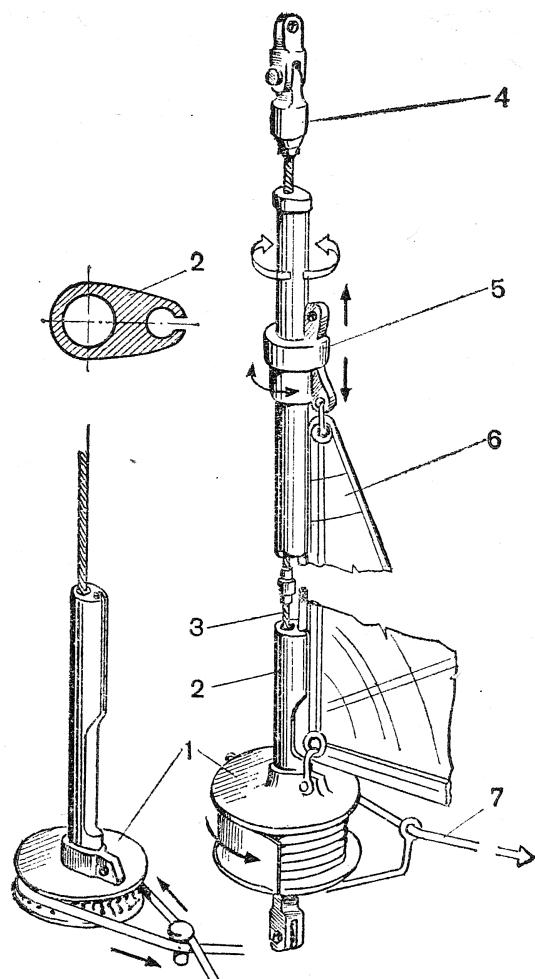


Рис. 3.15. Устройство для закрутки стакселя вокруг штага

1—барабан; 2—обтекатель; 3—штаг; 4—вертлюг; 5—обойма для крепления фалового угла; 6—парус; 7—приводной трос

На рис. 3.14 представлена проводка бегучего такелажа для взятия рифов на гроте, а на рис. 3.15—схема устройства для закрутки стакселя вокруг штага, снабженного обтекателем с ликпазом. На гоночных яхтах это устройство используется для временной уборки генуи при замене ее спинакером либо другим парусом, имеющим свободную переднюю шкаторину. Удобен также обтекатель штага с двумя ликпазами, который позволяет в спокойной обстановке поставить новый стаксель, а затем убрать предыдущий.

В крейсерском плавании устройство для закрутки стакселя может быть использовано для уменьшения его площади, особенно если он скроен специально для этой цели плоским и с высоким шкотовым углом. Последнее позволяет при закрутке стакселя использовать одни и те же кипы стаксель-шкотов.

Глава 4

Правила обмера крейсерско-гоночных яхт

Глава не публикуется, поскольку информация на данный момент устарела— рассмотрены правила IOR

Часть II

Яхтенное судовождение

Судовождение — прикладная наука, рассматривающая вопросы выбора кратчайшего пути судна и обеспечение его безопасности при плавании между заданными пунктами в море и между морскими портами. Судовождение состоит из четырех основных разделов: лоции, навигации (в том числе радионавигации и девиации магнитного компаса), астронавигации и навигационной гидрометеорологии. Здесь будут рассмотрены некоторые теоретические и основные практические сведения из этих разделов судовождения.

Глава 5

Лоция

Морская лоция¹ родилась вместе с мореплаванием. В отличие от навигации или мореходной астрономии, основанных на математическом анализе, лоция носит описательный характер. Поэтому описание каждого конкретного океана, моря или их бассейнов также называется «лоцией». В России первая лоция под названием «Книга морская, зело потребная, явно показующая правдивое мореплавание на Балтийском море» была издана в 1721 г. в Петербурге по указанию Петра I.

Основная задача лоции — помочь мореплавателю избрать наиболее безопасный и выгодный путь для перехода морем. Для этого она дает штурману сведения об опасностях в море, системах ограждения этих опасностей, знакомит его с метеорологическими условиями в районе плавания, дает описание побережья и находящихся на нем портов, гаваней и бухт, указывает наиболее удобные курсы для переходов из порта в порт. Кроме того, лоция содержит все необходимые гидрологические и океанографические данные, характерные для описываемого района.

Обеспечение безопасности мореплавания возлагается на органы гидрографии. Так, в Великобритании этим занимается Гидрографический департамент Адмиралтейства, в Советском Союзе, — Главное управление навигации и океанографии Министерства обороны СССР (ГУНиО МО). Вместе с ГУНиО МО важную роль в обеспечении безопасности мореплавания играют специальные службы Министерства морского флота СССР — Главная морская инспекция, Гидрографическое предприятие, Службы безопасности мореплавания пароходств.

ГУНиО МО проводит научно-исследовательские работы в морях и океанах, собирает и систематизирует материалы для составления и корректуры морских карт и навигационных пособий, занимается ограждением морских опасностей, издает в качестве официальных пособий карты, лоции и другие руководства для мореплавания, а также систематически информирует мореплавателей об изменениях в навигационной обстановке по всем районам плавания.

В целях оказания помощи ГУНиО МО каждый судоводитель обязан немедленно сообщать его учреждениям о всех расхождениях карт, лоций и других пособий с действительностью: о вновь обнаруженных опасностях, об отсутствии на штатных местах знаков ограждения и случаях серьезных неувязок при определении места судна по береговым предметам, о желательности нанесения на карту тех или иных местных приметных береговых сооружений, облегчающих опознание берега и т. д.

5.1. Терминология морской лоции

Как и любая другая наука, лоция имеет свою терминологию. Ниже приводятся основные термины.

Оборудованная береговая полоса.

¹От голландского слова «Loodsen» — вести корабль.

Порт (*port*)² — место, закрытое от волнения, приспособленное для стоянки судов и имеющее средства для их разгрузки и погрузки, а также возможности для ремонта и снаряжения судов и обеспечения их необходимыми запасами (топлива, воды, продовольствия и пр.). Порты бывают военные, торговые и порты-убежища для стоянки во время шторма.

Рейд (*roadstead*) — любое пространство у берега, где судно может надежно встать на якорь. Рейд считается открытым, если он не защищен от ветра и волнения хотя бы с одного направления. Рейд, расположенный в хорошо защищенной бухте, называется закрытым.

Гавань (*harbour*) — часть акваторий порта или рейда, закрытая от волнения, течения и ледохода искусственными сооружениями. В гавани судно может стоять у берега (причальной стенки или пирса).

Бассейн (*dock basin*) — общее наименование части акватории гавани или порта, ограниченной причалами, пирсами, молами. Изолированные бассейны в портах со значительным колебанием уровня воды под влиянием приливов и отливов называются доками. Доступ в док осуществляется через ворота (батопорты) или шлюзы.

Аванпорт (*outer harbour*) — внешняя часть порта или гавани, защищенная от волнения молами, волноломами или имеющая естественное укрытие. Аванпорт обычно имеет большие глубины, чем основная часть порта.

Дамба (*dam*) — гидротехническое сооружение в виде насыпи или вала, служащее для предохранения берега от затопления или размывания, а также для защиты каналов, рейдов и устьев судоходных рек от наносов и волнения.

Мол (*mole*) — оградительное сооружение в портах и гаванях, примыкающее одним концом к берегу. Конечная часть мола, выступающая в море, называется головой мола.

Волнолом (*breakwater*) — внешнее, не связанное с берегом, оградительное гидротехническое сооружение для защиты рейдов или гаваней от волнения.

Пирс (*pier*) — причальное сооружение для судов, одним концом примыкающее к берегу.

Причал (*berth*) — место для стоянки судов в порту, оборудованное причальными приспособлениями — палами, кнектами, тумбами.

Пал (*pawl, bit*) — 1. Деревянная свая или куст свай, забитых в грунт. 2. Чугунная тумба на причале, на которую заводят швартовы.

Фарватер (*fairway*) — безопасный путь плавания судов среди различного рода препятствий, огражденный предостерегающими знаками.

Канал (*canal*) — искусственно прорытое русло для прохода судов через мелководье, обозначенное средствами навигационного оборудования.

Формы береговой черты.

Бухта (*bay*) — небольшой залив.

Фиорд (*fiord*) — узкий глубокий залив или бухта, глубоко вдающиеся в гористые берега.

Навигационные опасности.

²В скобках дается перевод терминов на английский язык

Мель (*flat, ground*) — место, глубины над которым малы по сравнению с окружающими и поэтому опасные для мореплавания.

Отмель (*shoal*) — мель, простирающаяся от берега, с постепенно увеличивающимися глубинами.

Риф (*reef*) — осыхающее или подводное возвышение морского дна со скалистым или коралловым грунтом; скопление камней, опасное для мореплавания.

Банка (*bank*) — отдельно лежащая мель, окруженная значительно большими глубинами. Считается безопасной для мореплавания, если глубина на ней более 20 м.

Бар (*bar of river*) — поперечная наносная мель в устьях рек или лежащая поперек входа в бухту.

Грунты.

Глина (*clay*) — плотный грунт. Совокупность мелких частиц размером Менее 0,001 мм. Обладает вязкостью, якорь держит хорошо.

Ил (*mud, slime, ooze*) — совокупность частиц меньше 0,01 мм. Бывает плотный, вязкий и жидкий. Якорь держит в зависимости от степени плотности. Плохо держит жидкий ил (*ooze*).

Песок (*sand*), **гравий** (*gravel*), **хрящ** — совокупность частиц размером от 0,5 мм (песок) до 5,0 мм (гравий) и крупнее (хрящ). Держащая сила — в зависимости от плотности. Обычно средняя.

Плита, твердый грунт (*hard ground*) — массивные горные породы. Как грунт держит очень плохо.

Навигационное оборудование.

Веха (*spar buoy*) — плавучий предостерегающий знак для ограждения морских опасностей в виде деревянного или металлического шеста с поплавком, топовой фугурой или без нее, установленный на якоре. Может быть снабжена радиолокационным (уголковым или спиральным) отражателем.

Буй (*buoy*) — плавучий предостерегающий знак для ограждения морских опасностей или фарватеров в виде металлического поплавка с фермой, устанавливаемый на якоре. Буи могут иметь устройства для подачи туманных сигналов и освещения в темное время суток, иногда снабжаются пассивными радиолокационными или оптическими отражателями.

Бакен (*beacon*) — в отличие от буя не имеет фермы и обычно не освещается.

Маяк (*light house*) — навигационный ориентир в виде башни отличительной формы и окраски, устанавливаемый на материке, острове или непосредственно на мелководье, оснащенный осветительным устройством с большой оптической дальностью видимости.

Плавучий маяк (*lightship*) — судно, оборудованное маячным огнем и устанавливаемое в районе удаленных от берегов опасностей или перед входом в морской порт (с функциями лоцманской станции).

Створ (*leading line*) — линия или вертикальная плоскость, проходящая через два ориентира (створных знака) и указывающая мореплавателям безопасное направление для движения судна. Задний знак при наблюдении с моря должен быть выше переднего (рис. 5.1). Створы могут быть ведущими, по которым судно идет по заданному направлению; секущими, обозначающими место изменения курса на фарватере; девиационными, используемыми при работах по уничтожению девиации или определении поправки компаса.

Перечисленные термины являются общепринятыми и употребляются в специальной литературе и официальных изданиях. В тех случаях, когда какой-либо термин не совпадает с местным названием предмета, в лоциях данного района обязательно указываются эти различия.

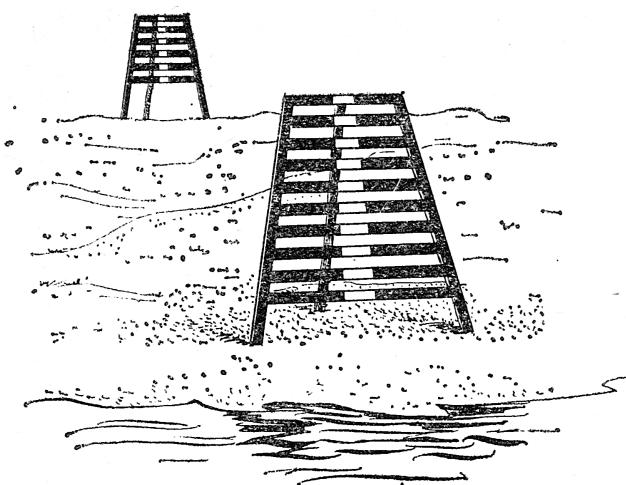


Рис. 5.1. Створные знаки

5.2. Ограждение морских опасностей

Для того чтобы обеспечить безопасность мореплавания, необходимо гогблюдать по крайней мере два условия: с достаточной точностью нанести на навигационную карту все известные морские опасности и оградить эти опасности в море определенными, хорошо видимыми знаками или другими искусственными предметами, по которым мореплаватель мог бы легко ориентироваться и заблаговременно уклониться от встречи с опасностью. Кроме того, каждый мореплаватель нуждается в различных береговых и морских ориентирах для определения своего места в море, опознания побережья, подходов к портам и якорным стоянкам.

Совокупность всех средств и устройств, которые обеспечивают безопасность мореплавания в определенном районе или море, обозначают надводную или подводную опасность, дают возможность опознать открывающийся берег и определить место судна при плавании вблизи берегов, называясь навигационным оборудованием данного района или моря в целом. По месту установки средства навигационного оборудования могут быть береговыми и плавучими.

Основное назначение навигационного оборудования-ограждение морских опасностей. Плавучее ограждение устанавливают на воде — это буи, баканы, вехи и плавучие маяки, которые служат для непосредственного предостережения штурмана о существующей в данном месте опасности (рис. 5.2). Береговое ограждение — морские и береговые маяки, береговые знаки

и башни, створные знаки — устанавливают на прибрежной полосе материков и островов. В некоторых случаях роль берегового ограждения выполняют нанесенные на карту различные приметные места и предметы — отдельные высоты, триангуляционные вышки, приметные здания (церкви, башни и т.д.).

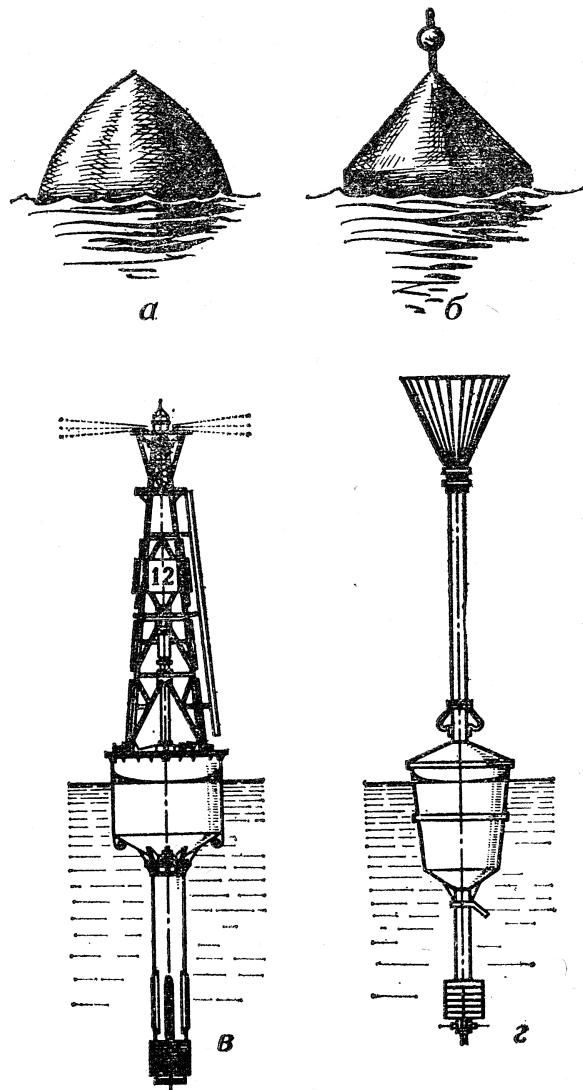


Рис. 5.2. Плавучее ограждение
а, б — Бакен; в — буй; г — веха

По принятой в СССР единой системе ограждения, постоянные морские опасности делят на следующие группы:

1. Навигационные опасности

- Естественные опасности (банки, мели, рифы, скалы и т.д.).
- Кромки искусственных каналов и естественных фарватеров.
- Затонувшие судна.
- Районы свалки грунта.

2. Опасности ненавигационного характера:

- Опасные из-за мин районы и фарватеры в них;
- Запретные для плавания районы и полигоны.
- Районы рыбной ловли.

3. Прочие ограждаемые районы:

- Кабели и мерные линии.
- Карантинные и якорные места.

Существует две системы плавучего ограждения перечисленных опасностей: латеральная и кардиальная.

Латеральная система основана на принципе расположения предостерегательных знаков — буев, баканов, вех — справа или слева относительно сторон фарватера. Эта система применяется в основном при ограждении фарватеров, морских каналов, протяженных фарватеров в районах с минной опасностью, а также при ограждении судовых ходов на реках. Разновидностью латеральной системы можно считать ограждение широких фарватеров и рекомендованных курсов предостерегательными знаками вдоль осевой линии, дающее направление судну не «между знаками», а «от знака к знаку». Правая и левая стороны фарватера, обставленного по латеральной системе, определяются при следовании с моря (для морских и озерных фарватеров).

Кардиальная система — ее принцип основан на ограждении опасностей знаками, расставленными относительно сторон горизонта и указывающими мореплавателю, к какому из главных румбов (N, S, O или W) следует оставить буй или веху, чтобы миновать опасность. Эта система применяется при ограждении естественных навигационных опасностей, а также затонувших судов, запретных для плавания районов, районов свалки грунта, рыбной ловли и районов с минной опасностью. Все буи, как освещаемые, так и неосвещаемые, могут иметь и звуковые сигнальные устройства — колокола, ревуны, гудки. Эти устройства работают при волнении и служат для опознания буев в тумане.

В водах Северо-Западной Европы с 1981 г. действует унифицированная система плавучих средств навигационного ограждения опасностей, которая в дальнейшем должна будет распространена на все районы Мирового океана. Эта система уже принята во всех государствах бассейна Северного моря, проливов Ла-Манш и Па-де-Кале, в Великобритании, Ирландии и на Атлантическом побережье Франции. Основана она на следующих принципах:

- Возможность раздельного и совместного использования латеральной и кардиальной систем ограждения.
- Минимум числа плавучих знаков ограждения, их легкое и надежное опознание по цвету и характеру огня, без применения секундомера.
- На латеральных знаках огни зеленые и красные, на кардиальных — белые, с резко отличающимися характеристиками.
- Затонувшие суда ограждаются, как и все другие навигационные опасности, кардиальными или латеральными знаками.
- Новые опасности ограждаются по этим же правилам. Внешний вид унифицированных знаков показан в приложении ??, д.

В унифицированной системе наименование кардиального знака, как в большинстве стран мира, означает сторону, с которой судно должно пройти его. В водах СССР переход на новую

систему ограждения намечено осуществить в течение пяти лет: в 1981 г.— на Балтийском море, в 1982-1983 гг.— на Азовском и Черном морях, в 1984 г.— в морях Дальнего Востока и в 1985 г.— в морях Северного Ледовитого океана.

Область применения плавучих маяков намного меньше, чем других плавучих предостерегательных знаков. Как правило, плавмаяки устанавливают в районах морских опасностей, значительно удаленных от берега при входе в проливы, каналы или терты (например, плавмаяк «Рижский» в Рижском заливе), часто качестве приемных маяков больших портов. Каждый плавучий маяк окрашивается приметным и отличным от краски других судов образом. Надводные борта плавмаяков обычно окрашиваются в красный цвет. Вдоль обоих бортов большими буквами пишется название маяка. Плавучий маяк, находящийся на своем штатном месте, должен нести на топе мачты решетчатый шар, а ниже него— маячный флаг желтого цвета с прямым синим крестом. Сорванный со своего штатного места плавмаяк считается неработающим и вместо шара и маячного флага должен нести: днем— по одному черному шару в носу и корме (или по одному красному флагу) ночью— по одному красному огню на тех же местах. Плавмаяки могут так же подавать туманные и другие сигналы. В последнее время плавмаяки выходят из употребления и заменяются башенными морскими маяками.

Плавучее ограждение называется **штатным**, если оно нанесено на карты, Дополнительное ограждение, выставляемое для каких-либо специальных целей в летнее время, называется **летним**. **Зимнее** ограждение выставляется после ледостава в замерзающих портах для обозначения входа и выхода из портов, а также участков и рейдов для безопасного движения ледоколов и проводимых ими караванов. О выставлении летнего или зимнего ограждения сообщается в «Извещениях мореплавателям».

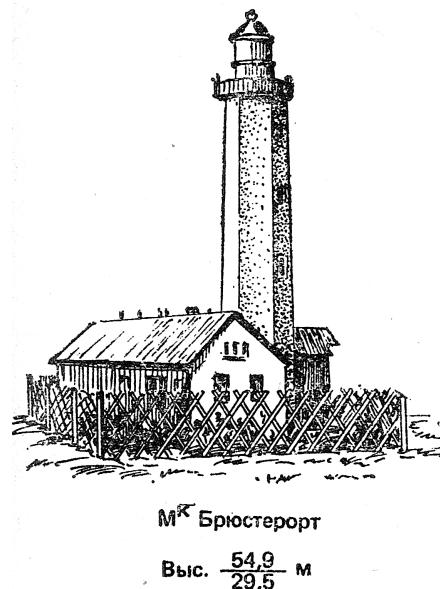


Рис. 5.3. Береговой маяк

Средства **берегового ограждения**— маяки, освещаемые и неосвещаемые знаки, створы и т. д.— устанавливают для того, чтобы облегчить мореплавателям ориентировку в море относительно морских опасностей, лучше опознать берег и вход в порт или на рейд, определить место судна при плавании в видимости берегов. Основным береговым ориентиром является маяк. Оснащенный мощным источником света, маяк в хорошую погоду ночью имеет даль-

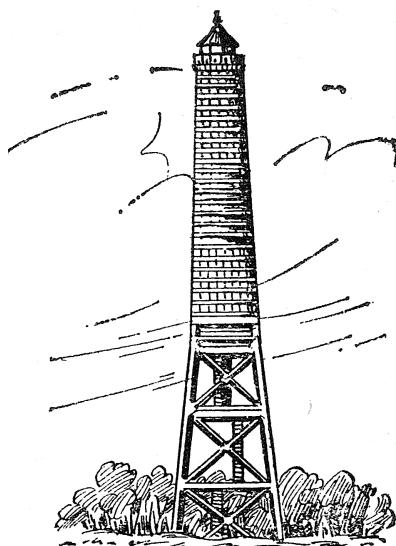


Вайндо (Стеншер)

Пр (7^с) 13МВыс. $\frac{19,8}{15,5}$ м

Белая круглая башня

Рис. 5.4. Морской маяк



Свет. зн. Лесной

Выс. $\frac{39,5}{38,0}$ м

Рис. 5.5. Береговой знак

ность видимости до $15 \div 20$ миль и более. Мореплаватели относятся к сигналам маяков с самой высокой степенью доверия, так как местоположение их неизменно.

В отличие от других навигационных знаков маяк обслуживает мореплавателей круглые сутки и в любую погоду. В зависимости от места установки береговые маяки делят на собственно береговые и на морские.

Береговые маяки возводят обычно на высоких, выдающихся в море мысах материка или больших островов (рис. 5.3), **морские** — на расположенных вдали от берега естественных или искусственных островках или просто на подводной скале (рис. 5.4). По своему назначению береговые маяки могут быть опознавательными (указательными) и створными. Первые, как

видно из названия, обычно служат приемными знаками при входе в какой-либо порт или канал (например, Дообский маяк при подходе к Новороссийску), поворотными знаками в том месте, где проходящие суда обычно меняют свой курс (например, Поворотный в Японском море), предостерегательными знаками, указывающими на определенную навигационную опасность (например, Родшер в Финском заливе). Створные маяки ставят для облегчения прохода судов в узкостях или входа на рейд, в гавань или в порт (например, Таллинские створные маяки).

Во избежание путаницы все маяки отличаются друг от друга не только внешним видом, но и характеристикой огня и туманного сигнала. Практически установлено, что маяки с одинаковой характеристикой не должны располагаться ближе чем в 80 милях друг от друга.

Главные требования к маякам сводятся к следующему:

- Местонахождение каждого маяка должно быть точно нанесено на карту.
- Он должен быть хорошо виден и днем и ночью.
- Огонь маяка не должен приниматься за любой случайный огонь на берегу.
- Маяк должен иметь надежную туманную сигнализацию.

Кроме маяков на берегу устанавливают освещаемые и неосвещаемые знаки. Освещаемые знаки отличаются от маяков меньшей величиной и тем, что на них ставят автоматические источники света, менее мощные и не требующие постоянного обслуживания. Неосвещаемые знаки служат ориентирами только в дневное время (рис. 5.5).

5.3. Сигнальные и другие станции

Кроме знаков плавучего и берегового ограждения безопасность мореплавания обеспечивает ряд специальных сигнальных станций, задача которых — передача на суда, находящиеся в море, сведений, имеющих значение для безопасного плавания. Они могут находиться при маяках или работать самостоятельно. К таким станциям относятся прежде всего радиостанции, которые в зависимости от своего назначения передают метеорологические сводки, радионавигационные извещения, сигналы времени и медицинские советы. Эти передачи ведутся по установленной программе, по запросу или в определенное время суток.

Телефонные станции при маяках позволяют связать их с ближайшим портом или населенным пунктом. Метеосводки и радионавигационные извещения (сокращенно МЕТЕО и НАВИМ) информируют мореплавателей об ожидаемой погоде и изменениях в навигационной обстановке. Их передают все береговые станции Министерства морского флота открытым текстом. Эти извещения могут быть очередными и срочными. Последние передаются немедленно по поступлении на радиостанцию, а очередные — по расписанию передач. Сигналы времени по радио даются в соответствии с программой, установленной данной станции, подробности о которой указываются в лоциях и в специальном издании «Радиосигналы времени».

Кроме радиосвязи для передачи на суда нужной информации используются также звуковые, флаговые (фигурные) и световые средства сигнализации. Для подачи таких сигналов на хорошо видном с моря месте устанавливают сигнальные посты, оборудованные мачтой, на которой поднимаю определенные сочетания флагов или фигур, обозначающих необходимы

сигналы. В темное время суток эти сигналы передаются азбукой Морзе помошью клотикового фонаря или сочетаниями красного, зеленого и белого огней. С сигнальных постов обычно подаются следующие сигналы:

«Предупреждение об опасности» — подается плавучими маяками, на мачте которых для судов, чей курс ведет к опасности, поднимается двухфлажный сигнал по Международному своду сигналов — «Вы идете к опасности» с одновременным пуском ракет (ночью сигнал дается только ракетами). Сигнал подается до тех пор, пока судно не увидит его и не изменит своего курса.

«Лоцманские сигналы» — они регулируют движение судов по каналу или фарватеру, сообщают о глубинах на фарватерах, о приливах и отлива в порту, о течениях и о высоте воды и т. п.

«Штормовые сигналы» — для предупреждения мореплавателей и населения портовых городов о надвигающихся штормах и сильных ветрах. Эти сигналы имеют значение для ограниченного района и служат в основной предупреждением для выходящих в море судов (см. приложение ??, e).

Туманные сигналы, имеющие весьма серьезное значение для безопасности плавания вблизи берегов, подают воздушными и подводными средствами звуковой сигнализации при снижении видимости (туман, снежный заряд, мороз и т. п.). В советских водах оздушные туманные сигналы подаются береговыми маяками при помощи следующих устройств:

наutoфон — мембранный излучатель со звуком, напоминающим звук горна. Дальность слышимости достигает $3 \div 4$ миль;

сирена — паровая или пневматическая с неподвижным или вращающимся рупором. Издает сильный воющий звук и имеет среднюю дальность слышимости $6 \div 8$ миль;

диафон — издает сильный прерывистый звук, слышимый на расстоянии $6 \div 8$ миль;

туманный горн — имеет однотонный звук с небольшой дальностью слышимости (до 2 миль).

Применяется в основном на плавучих маяках;

свисток (или ревун) — применяется на морских буях. Работает автоматически при волнении определенной силы;

пушка — выстрелы производятся с промежутком 10 мин. При ветре с моря выстрелы даются чаще;

взрывы — сильный звук от взрыва специального патрона на большой высоте; распространяется во все стороны и считается надежнее пушки;

колокол — в настоящее время применяется только на морских буях в качестве дублирующего средства на маяках.

Береговые маяки подают двухударный звон с промежутком до 3 мин; плавучие маяки — трехударный звон с промежутком до 2 мин.

Отдельно могут быть выделены **радиопеленгаторные станции и радиомаяки**, которые, передавая определенные сигналы, служат для определения места судна в море при помощи радиопеленгов.

Лоцманские станции обеспечивают лоцманскую проводку судов в порт и из порта, а **спасательные станции** оказывают помощь судам, терпящим бедствие.

Все сведения о маяках, сигнальных станциях и передаваемых ими сигналах даются в «Лоциях» и отдельных изданиях «Огни и знаки» по каждому морю. В этих же изданиях имеются данные о лоцманских и спасательных станциях. Пункты, где имеются такие станции, обозначают на картах.

5.4. Морские карты

Морские карты — основное пособие каждого штурмана. По своему назначению карты делятся на две основные группы: навигационные, непосредственно используемые в судовождении, и справочные — сборные листы, карты ветров, течений, часовых поясов, радиомаяков и т. д. К навигационным относятся следующие карты:

генеральные (общие) карты, которые имеют масштаб от 1 : 500 000 до 1 : 5 000 000 и служат для общего изучения изображаемых на них морей, океанов и их частей и для нанесения предварительной прокладки. На генеральных картах показывают только главные маяки и огни. Освещаемые буи и дневное плавучее ограждение наносят только у внешних опасностей и на подходах к портам. Изобаты нанесены по глубинам 20, 50, 100 и 200 м;

путевые карты, масштаб которых от 1 : 100 000 до 1 : 500 000, служат для ведения навигационной прокладки и определения места судна с достаточной для мореплавания точностью. Внешние средства навигационного обеспечения наносят на этих картах полностью, а внутри рейдов и портов с большой разрядкой. Изобаты нанесены по глубинам 5, 10, 20, 50 и 100 м;

частные карты, которыми пользуются для прокладки при плавании в непосредственной близости от берегов, в шхерах и узкостях и при подходе к берегу. Они имеют масштабы от 1 : 25 000 до 1 : 75 000. Изобаты нанесены по глубинам 2, 5, 10, 20, 50 м и все навигационные опасности с их береговым и плавучим ограждением;

планы дают подробные изображения портов, бухт, гаваней, якорных стоянок и других ограниченных акваторий. Масштаб планов от 1 : 500 до 1 : 25 000. Все навигационные ограждения на планах наносят полностью.

Для того чтобы правильно пользоваться картой, надо уметь читать ее, т. е. понимать все нанесенные на карту условные обозначения и правильно разбираться в них. Чтение карты следует начинать с заголовка, в котором указывается ее название (район плавания), числовой масштаб с указанием главной параллели, к которой он отнесен, меры, в которых даны глубины и высоты прибрежных гор, а также год, к которому приведено магнитное склонение. После заголовка прочитывают расположенные под нижней рамкой отметки о датах последней (большой и малой) корректуры данной карты и год ее издания.

Все примечания, предупреждения (печатаемые красным цветом), рисунки маяков и планы портов помещаются на карте таким образом, чтобы не закрывать береговой черты и водной поверхности. Адмиралтейский номер карты проставляется во всех четырех углах. С 1968 г. номера советских морских карт состоят из пяти цифр. Первая из них обозначает район Мирового океана, вторая — масштаб карты, третья — район океана или моря, последние две цифры — порядковый номер карты данного района океана или моря.

После предварительного знакомства с картой подробно просматривают район, в котором предстоит плавать, чтобы во всех подробностях изучить навигационную обстановку — глубины, опасности и систему их ограждения, береговую черту, расположение маяков и знаков.

Для изображения на карте состояния и особенностей поверхности моря его дна и побережья применяется система условных обозначений, приведенная в приложении ??, а.

Глубины на современных картах показываются в метрах и дециметрах. Точки с одинаковыми глубинами соединяются линиями равных глубин — изобатами. Изобата отделяющая прибрежное мелководье либо отдельную мель или банку, называется **линией опасности**, или **предостерегательной изобатой**. Для малых судов линией опасности считается 10-метровая изобата.

Грунты обозначаются условными сокращениями, например: *П* — песок, *И* — ил, *Кор* — кораллы и т. д. Сложные грунты указывают сочетаниями сокращений составляющих грунтов: *ИП* — илистый песок, *ГрП* — гравий с песком, *СрГл*, *МК* — серая глина, мелкий камень. Буквами обозначаются также цвет и характеристика грунта: *жлП* — желтый песок, *срмПГл* — серый мелкий песок с глиной. Если составляющие грунта располагаются слоями, то первым пишется верхний слой *мППл* — мелкий песок на плите.

Естественные навигационные опасности — банки, мели, рифы дают на картах контуром из точек с обязательным указанием наименьшей глубины над ними. Все остальные морские опасности обозначаются различными условными знаками. Если положение или существование показанной на карте опасности вызывает сомнения, то рядом с обозначением такой опасности или внутри нее ставятся пометки: *ПС* — «положение сомнительно» или *СС* — «существование сомнительно».

Места якорных стоянок обозначаются рисунком якоря. Изображение якоря без штока означает стоянку для малых судов, а якоря со штоком — для больших судов. Район с плохим грунтом обводят пунктиром с надписью: *плх* (плохой грунт).

Величина магнитного склонения указывается либо в заголовке карты, если она одинакова для всей карты, либо в центре картушки, расположенной на водной поверхности карты; центр картушки совмещается с точкой, где было определено склонение. В этой же картушке указывается годовое изменение склонения. Иногда величины склонений дают и без картушек. Так как картушки склонений имеют истинные направления, ими можно пользоваться вместо транспортира. Районы магнитных аномалий обводят сплошной толстой линией.

Почти все средства навигационного оборудования имеют свои условные знаки. То, что не имеет своего знака, обозначается кружком с точкой в центре. Эта точка на карте соответствует точному местоположению знака на местности. Освещаемые знаки и маяки имеют на карте цветные изображения огней и их характеристики. Расцветка маячных огней показывается цветными окружностями с центром в точке нахождения маяка или частями окружности в пределах угла освещения. Характеристика огня дается рядом с маяком в одну строчку, например: **ГрПр(3)(25с)10M(н)**, что означает — группопротивной огонь с тремя проблесками и периодом 25 с, дальность видимости 10 миль, туманный сигнал — наутофон.

Направления, обозначающие граничные углы освещения маяков, на картах читаются от маяка в море.

Створы обозначают на картах **сплошными линиями** (ходовая часть) и **пунктиром** (неходовая часть, а также поворотные и секущие створы на мерных линиях).

Морские течения, которые необходимо учитывать при прокладке, наносят на карты в виде стрелок: показывающие направление постоянного течения — с оперением, переменное — волнистой линией. Скорость течения с точностью до 1/4 уз пишется сверху стрелки. Приливные течения обозначают стрелкой с оперением сверху, отливные — без оперения (см. рис. ??).

Различные **приметные строения и предметы на берегу**, чье место определено, — церкви, башни, отдельные высоты, — также показывают условными знаками. Точное место показанного на карте предмета относится к середине основания или к центру условного знака.

Представляющие для мореплавателя серьезную опасность **затонувшие суда** обозначаются пятью различными знаками: для затонувших судов с частями корпуса, возвышающимися над водой и представляющими явную опасность; с мачтами над водой; для судов, глубина над которыми меньше 18 м и больше 18 м; осыхающих.

При подборе карт для плавания необходимо иметь в виду, что для прокладки следует использовать только карты самого крупного масштаба и откорректированные по день выхода в море. Корректура карт — это нанесение на нее тех изменений в морской и навигационной обстановке, которые произошли со дня ее издания: вновь обнаруженные опасности, упразднение одних знаков навигационной обстановки и открытие других, результаты новых промеров и т. д., о которых должен знать мореплаватель.

Большая корректура нужна при появлении новых гидрографических данных или накоплении большого числа малых корректур, которые существенно изменяют оригинал карты. Поэтому большая корректура проводится только картографическим производством — издаются новые исправленные карты.

Малая корректура обычно предусматривает незначительные изменения. Ее выполняют от руки красными чернилами или тушью. Малая корректура карт, находящихся на складе гидрографии, производится работниками гидрографии, а карт, имеющихся на судах, — штурманами на основании «Извещений мореплавателям» (в плавании — по радиоизвещениям НАВИМ). Дата последней корректуры на получаемых из гидрографии картах должна быть указана под нижней рамкой карты со ссылкой на номера использованных «Извещений мореплавателям».

5.5. Навигационные пособия

Кроме морских карт в практике судовождения используют различные навигационные пособия, и в первую очередь «Лоции», которые дополняют и уточняют сведения, данные на картах, облегчая тем самым решение навигационных задач. Кроме «Лоций» ГУНиО МО СССР издает и другие, вспомогательные, пособия: «Каталог карт и книг», книги «Огни и знаки», справочники «Радиомаяки», различные таблицы и бланковые издания, в том числе и книгу «Условные знаки морских карт и карт внутренних водных путей».

«Лоции» издают отдельно для каждого моря или части океана. В общем случае каждая книга «Лоции» состоит из четырех основных разделов:

1. **общий обзор**, в котором содержатся сведения о границах описываемого района, навигационно-географические и гидрометеорологические данные, сведения о портах и якорных стоянках, а также правила плавания в иностранных водах;
2. **навигационное описание**, которое для удобства разделено по районам, и содержащее последовательно отдельные участки побережья, заливы, проливы, порты, фарватеры, приметные места, морские опасности, а также дающее наставления для плавания в различных местах, имеющих какие-либо особенности;
3. **справочный отдел**, где имеются таблицы расстояний между портами, словарь местных и иностранных слов и терминов, встречающихся в «Лоции» и на картах, и другие сведения;

4. **алфавитный указатель**, содержащий географические названия всех портов, мысов, проливов, заливов, якорных стоянок и т. п. Если «Лоция» охватывает иностранные воды, алфавитный указатель состоит из двух частей, в которых названия даются в русской и латинской транскрипции.

Кроме письменного материала «Лоция» содержит фотографии и рисунки приметных береговых мест и сборный лист карт данного района или моря.

Так как срок службы «Лоции» около 10 лет, в течение этого времени периодически выпускаются дополнения и изменения, содержащие корректурный материал. Обязательным документом для корректуры «Лоций» являются также «Извещения мореплавателям». Учет корректуры ведется на специальном листе, вклеенном в самом начале книги.

«Огни и знаки» издаются чаще «Лоций» (через каждые $3 \div 5$ лет) и служат постоянным дополнением к ним. Их выпускают для каждого моря отдельно. Здесь есть все нужные штурману данные о маяках, освещаемых знаках, огнях и буях. Для получения этих данных надо найти в алфавитном указателе по названию маяка его номер, по которому и отыскивают сам маяк. О каждом маяке книга «Огни и знаки» сообщает следующие сведения: номер; название; положение (где находится маяк); широту и долготу с точностью до одной минуты; число, цвет, характер огня; дальность видимости огня (огней) в ясную погоду (в милях); высоту огня от уровня моря и от основания маяка (в метрах); описание маяка, его вид и окраску, высоту сооружения от его основания (в метрах); дополнительные сведения.

Как и «Лоции», книги «Огни и знаки» нуждаются в своевременной корректуре, основанием для которой служат «Извещения мореплавателям». Кроме того, по мере накопления материала периодически издаются «Дополнения к книгам „Огни и знаки“».

«Извещения мореплавателям» — основные документы для корректуры карт и пособий — издают для всех морей Советского Союза и тех иностранных вод, которые охвачены советскими картами и пособиями, а также отдельно для районов плавания в советских водах, обслуживаемых Гидрографической службой флотов. Каждое «Извещение мореплавателям» имеет свой порядковый номер и ссылку на документ, по которому оно объявляется.

Вспомогательным пособием для штурмана является «Каталог карт и книг», который содержит подробные сведения о картах и навигационных пособиях и служит для подбора карт и пособий к предстоящему плаванию. Для того чтобы подобрать карту или «Лоцию», пользуются сборными листами, помещенными в каталоге.

«Радиотехнические средства навигационного оборудования» содержат сведения о морских радиомаяках и радионавигационных системах, о радиостанциях, передающих МЕТЕО и НАВИМ.

Кроме этих пособий ГУНиО МО СССР издает также «Мореходные таблицы» (МТ) и «Морские астрономические ежегодники» (МАЕ), служащие для решения навигационных и астрономических задач.

Глава 6

Практическая навигация

Слово «навигация» произошло от латинского «navigatio» — судоходство. Судовождение является предметом штурманской специальности. От знаний и опыта штурмана зависит безаварийное плавание судна.

Штурманское дело на яхтах имеет ряд особенностей, осложняющих работу штурмана. К этим особенностям относятся:

1. небольшая высота глаза над уровнем моря, что уменьшает видимость и усиливает влияние рефракции, искажающей формы предметов;
2. ограниченный обзор, снижающий возможности наблюдения и пеленгования;
3. значительные дрейф и рыскливость яхты на волнении и постоянный крен, которые вносят ошибки как в счисление, так и в обсервации;
4. обычно слабая оснащённость техническими средствами судовождения.

6.1. Форма и размеры Земли. Географические координаты

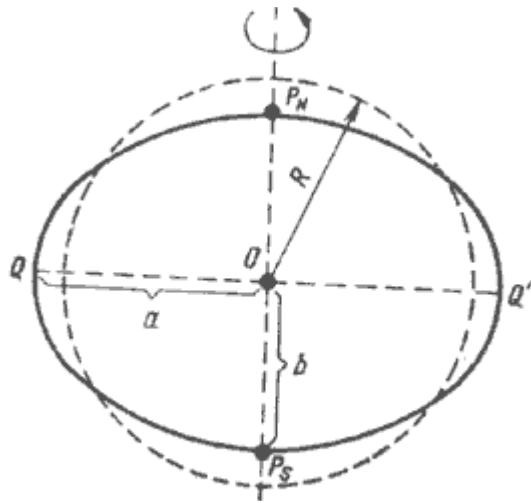


Рис. 6.1. Эллипсоид вращения

В результате исследований установлено, что действительной формой Земли является геоид — неправильное геометрическое тело, близкое по форме к эллипсоиду вращения (сфероиду). Эллипсоид вращения образуется при вращении эллипса $P_N Q P_S Q'$ вокруг его малой оси $P_N P_S$ (рис. 6.1). Разность между длинами большой и малой полуосей земного сфероида составляет только 21 382 м, т. е. всего 0,3 % длины большой полуоси. Поэтому при решении большинства навигационных задач допустимо для упрощения всех расчетов принимать Землю за шар с радиусом 6 371,1 км., имеющий поверхность и объем почти одинаковые с земным эллипсоидом.

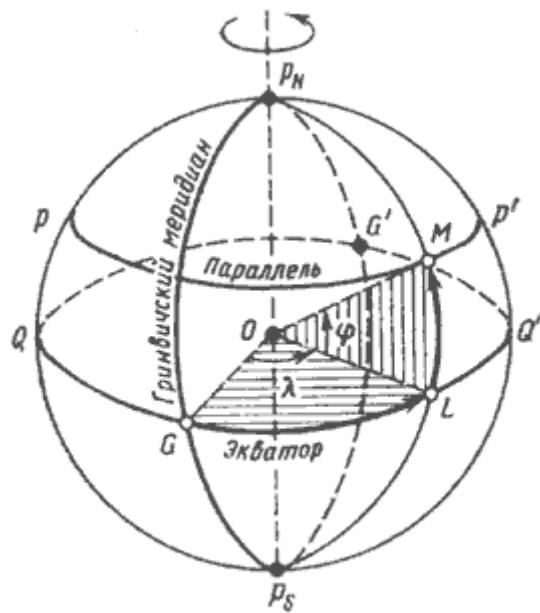


Рис. 6.2. Географические координаты

Положение различных объектов на поверхности Земли может быть определено с помощью географических координат. Для отсчета координат на земной шар условно нанесена система точек и кругов (рис. 6.2).

Введем ряд определений. Воображаемая прямая, вокруг которой происходит суточное вращение Земли, называется **земной осью**.

Точки пересечения ее с поверхностью Земли называются **географическими или истинными полюсами**: северным P_N и южным P_S .

При сечении шара плоскостью получается круг, а на поверхности шара образуется окружность. Если секущая плоскость проходит через центр шара, то круг имеет наибольшие размеры и называется **большим**. Круги, образующиеся от сечения шара плоскостями, не проходящими через его центр, называются **малыми**.

Окружность большого круга QQ' , плоскость которого перпендикулярна земной оси, называется **экватором**. Он делит земной шар на северное и южное полушария.

Окружности малых кругов, плоскости которых параллельны плоскости экватора, называются **параллелями** (pp').

Окружности больших кругов, плоскости которых проходят через ось Земли, называются **географическими или истинными меридианами**. Половину окружности меридиана P_NMP_S , заключенную между полюсами и проходящую через данную точку, называют **меридианом места**.

Меридиан P_NGP_S , проходящий через астрономическую обсерваторию в Гринвиче (Англия), носит название **гринвичского** (начального) меридиана. Гринвичский меридиан вместе с противоположным ему меридианом $P_NG'P_S$ делит земной шар на **восточное и западное полушария**.

В систему географических координат входят две сферические координаты: **широта и долгота**.

Географической широтой какой-либо точки называется угол при центре Земли, составленный отвесной линией (земным радиусом), проведенной через данную точку, и плоскостью

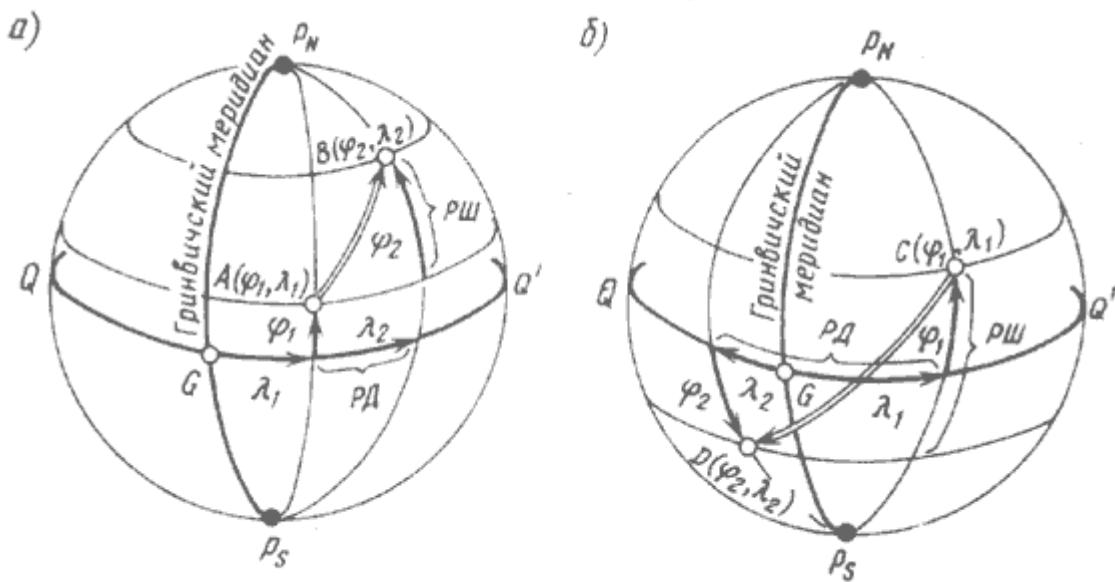


Рис. 6.3. Разность широт и разность долгот

экватора (угол MOL , см. рис. 6.2). Широта измеряется дугой меридиана от экватора до параллели данной точки. Она отсчитывается к северу или югу от экватора от 0 до 90° . Если точка находится в северном полушарии, ее широте приписывается наименование N (северная), если в южном — S (южная). Широту обозначают греческой буквой « φ ».

Географической долготой какой-либо точки называется двугранный угол между плоскостью гринвичского меридиана и плоскостью меридиана данной точки (угол GOL , см. рис. 6.2). Долгота измеряется меньшей из дуг экватора между гринвичским меридианом и меридианом точки и отсчитывается от гринвичского меридиана к востоку или западу от 0 до 180° . Если точка находится в восточном полушарии, то долготе приписываются наименование E (восточная), если в западном — W (западная). Долготу обозначают греческой буквой « λ ».

Разность широт и разность долгот. Географические координаты судна в результате сделанного перехода изменяются. Изменения широты и долготы судна называются разностями широт и долгот. **Разность широт ($PШ$)** двух точек на земной поверхности измеряется дугой меридиана, заключенной между параллелями этих точек. Наибольшее значение $PШ$ может составить 180° , что соответствовало бы перемещению судна из одного полюса в другой. Если судно перемещалось по какой-либо одной параллели, то $PШ$ равна 0° . Вычисленной $PШ$ приписывается наименование к N или к S в зависимости от того, в каком направлении перемещалось судно. **Разность долгот ($PД$)** двух точек на земной поверхности измеряется меньшей из дуг экватора, заключенных между меридианами этих точек. Так как за разность долгот принимается всегда меньшая из дуг экватора, то ее значение не может превышать 180° . Если при сложении разноименных долгот получено значение, большее 180° , то за $PД$ принимается дополнение до 360° . Такой случай может возникнуть при пересечении судном меридиана 180° . Вычисленному значению $PД$ приписывается наименование к E или W в зависимости от того, в каком направлении перемещалось судно. Если северной широте и восточной долготе условно приписать знак «плюс» (+), а южной широте знак «минус» (-), то значение $PШ$ и $PД$ можно вычислить по алгебраическим формулам:

$$PШ = \varphi_2 - \varphi_1; \quad (6.1)$$

$$PД = \lambda_2 - \lambda_1, \quad (6.2)$$

где φ_2 и λ_2 — координаты конечной, а φ_1 и λ_1 — начальной точек плавания.

Знак результата, полученного при вычислении по формулам, покажет наименования $PШ$ и $PД$. Если при вычислении $PД$ берется дополнение до 360° , то наименование $PД$ меняется. Чтобы не ошибиться в значении и наименовании вычисляемых $PШ$ и $PД$, следует хорошо представлять взаимное расположение меридианов и параллелей на земном шаре (см. рис. 6.3). На практике бывает нужно найти координаты точки, в которую пришло судно, если заданы координаты пункта отхода, а также $PШ$ и $PД$, характеризующие положение точки прихода. Вычисления можно произвести по алгебраическим формулам:

$$\varphi_2 = \varphi_1 + PШ; \quad (6.3)$$

$$\lambda_2 = \lambda_1 + PД, \quad (6.4)$$

где φ_2 и λ_2 — координаты конечной, а φ_1 и λ_1 — начальной точек плавания.

6.2. Единицы длины и скорости в судовождении

За основную единицу длины, служащую для измерения расстояний в море, в судовождении принята морская миля. **Морской миляй** называется линейное значение $1'$ дуги земного меридиана. Принято округленное значение средней величины морской мили, равное 1852 м. Кабельтов — единица длины для измерения небольших расстояний. Он равен одной десятой части мили. Округлённо кабельтов считается равным 185 м.

Глубины моря и высоты предметов на большинстве навигационных карт измеряются в метрах. На старых английских картах для указания высот предметов применялись футы (0,3048 м), а для указания глубин — футы и морские сажени (6 футов, или 1,83 м). Скорость судна при плавании в море измеряют узлами.

Узел — это единица скорости, равная 1 морской милю в час, т. е. 1,852 км/ч.

6.3. Основные линии и плоскости наблюдателя. Видимый горизонт наблюдателя и его дальность. Дальность видимости предметов и огней

Для ориентирования в море принята система условных линий и плоскостей наблюдателя.

На рис. 6.4 изображен земной шар, на поверхности которого в точке M располагается наблюдатель.

Его глаз находится в точке A . Буквой e обозначена высота глаза наблюдателя над уровнем моря.

Линия ZMn , проведенная через место наблюдателя и центр земного шара, называется отвесной или вертикальной линией. Все плоскости, проведенные через эту линию, называются вертикальными, а перпендикулярные ей — горизонтальными.

Горизонтальная плоскость HH' , проходящая через глаз наблюдателя, называется плоскостью истинного горизонта наблюдателя.

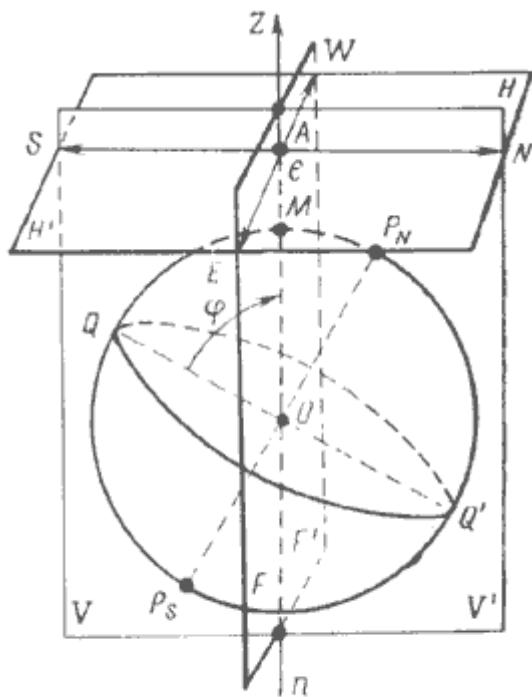


Рис. 6.4. Основные линии и плоскости наблюдателя

Вертикальная плоскость VV' , проходящая через место наблюдателя M и земную ось, называется плоскостью истинного меридиана.

В пересечении этой плоскости с поверхностью Земли образуется большой круг P_NQP_SQ' , называемый истинным меридианом наблюдателя.

Прямая, полученная от пересечения плоскости истинного горизонта с плоскостью истинного меридиана, называется линией истинного меридиана или полууденной линией $N - S$. Этой линией определяется направление на северную и южную точки горизонта.

Вертикальная плоскость FF' , перпендикулярная плоскости истинного меридиана, называется плоскостью первого вертикала. В пересечении с плоскостью истинного горизонта она образует линию $E - W$, перпендикулярную линии $N - S$ и определяющую направления на восточную и западную точки горизонта.

Линии $N - S$ и $E - W$ делят плоскость истинного горизонта на четверти: NE , SE , SW и NW .

Плоскость истинного горизонта наблюдателя HH' может быть представлена только в воображении.

В открытом море наблюдатель видит вокруг судна водную поверхность, ограниченную малым кругом CC_1 (рис. 6.5). Этот круг называется видимым горизонтом наблюдателя.

Расстояние D_e от места судна M до линии видимого горизонта CC_1 называется дальностью видимого горизонта.

Теоретическая дальность видимого горизонта D_T (отрезок AB) всегда меньше его действительной дальности D_e . Это объясняется тем, что из-за различной плотности слоев атмосферы по высоте луч света распространяется в ней не прямолинейно, а по кривой AC . В результате наблюдатель может видеть дополнительную часть водной поверхности

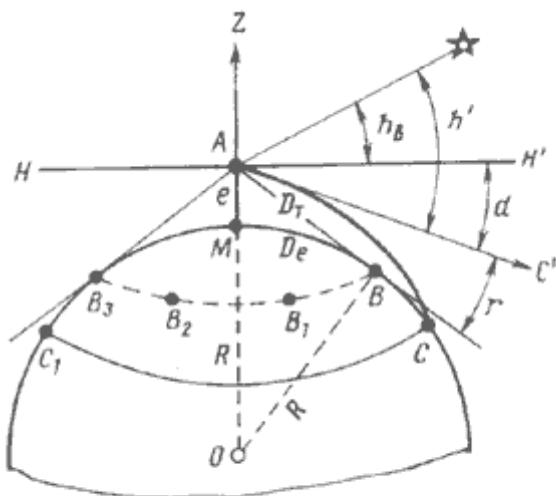


Рис. 6.5. Видимый горизонт наблюдателя

сти, расположенную за линией теоретического видимого горизонта и ограниченную малым кругом CC_1 . Этот круг и является линией видимого горизонта наблюдателя.

Явление преломления световых лучей в атмосфере называется земной рефракцией. Рефракция зависит от атмосферного давления, температуры и влажности воздуха. В одном и том же месте Земли рефракция может меняться даже на протяжении одних суток. Поэтому при расчетах берут среднее значение рефракции. Формула для определения дальности видимого горизонта:

$$D_e = 2,08\sqrt{e}, \quad (6.5)$$

где D_e в морских милях; e — высота глаза наблюдателя над уровнем моря — в метрах.

В результате рефракции наблюдатель видит линию горизонта в направлении AC' (см. рис. 6.5), касательном к дуге AC . Эта линия приподнята на угол r над прямым лучом AB . Угол r также называется земной рефракцией. Угол d между плоскостью истинного горизонта HH' и направлением на видимый горизонт называется **наклонением видимого горизонта**.

Дальность видимого горизонта позволяет судить о видимости предметов, находящихся на уровне воды. Если предмет имеет определенную высоту h над уровнем моря, то наблюдатель может обнаружить его на расстоянии:

$$D_N = D_h + D_e = 2,08\sqrt{e} + 2,08\sqrt{h}, \quad (6.6)$$

где: D_N в морских милях, e — высота глаза наблюдателя над уровнем моря — в метрах, h — высота предмета над уровнем моря — в метрах.

На морских картах и в навигационных пособиях приводится заранее вычисленная дальность видимости огней маяков D_K с высоты глаза наблюдателя 5 м. С такой высоты D_e равна 4,7 мили. При e , отличной от 5 м, следует вносить поправку. Её величина равна:

$$\Delta D_K = 2,08\sqrt{e} - 4,7 \quad (6.7)$$

Тогда дальность видимости маяка D_n равна:

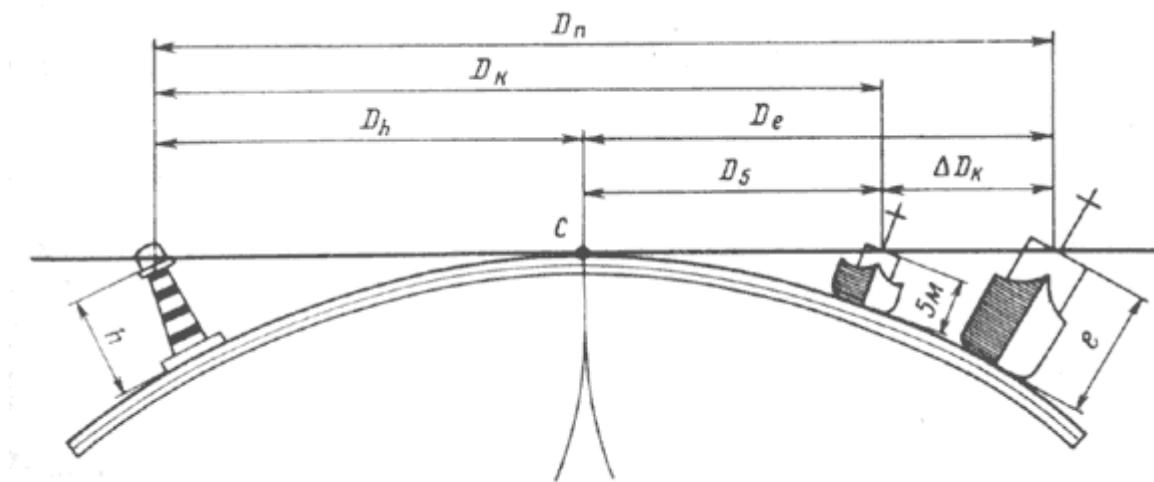


Рис. 6.6. Дальность видимости предмета

$$D_n = D_K + \Delta D_K \quad (6.8)$$

где: D_n , D_K и D_K в морских милях, e — высота глаза наблюдателя над уровнем моря — в метрах.

Дальность видимости предметов, рассчитанная по данной формуле, называется геометрической, или географической. Вычисленные результаты соответствуют некоторому среднему состоянию атмосферы в дневное время суток. При мгле, дожде, снегопаде или туманной погоде видимость предметов, естественно, сокращается. Наоборот, при определенном состоянии атмосферы рефракция может быть очень большой, вследствие чего дальность видимости предметов оказывается значительно больше рассчитанной.

6.4. Системы деления горизонта

Направления на поверхности Земли наиболее удобно определять путем измерения горизонтальных углов между плоскостью истинного меридиана наблюдателя и вертикальной плоскостью, проведенной, например, через тот или иной ориентир или совпадающей с диаметральной плоскостью судна.

В эпоху парусного флота направления в море указывались в румбах (направлениях). По этой системе весь горизонт делится на 32 румба, из которых четыре отнесены к главным (N , E , S и W), четыре — к четверtnым (NE , SE , SW и NW), восемь, расположенных между главными и четверtnыми румбами — к трехбуквенным (NNE , ENE , ESE и т. д.) и еще шестнадцать — к промежуточным румбам (рис. 6.7). Название трёхбуквенных румбов складывается из названий главных и четверtnых, между которыми они находятся. Название промежуточных румбов состоит из названия ближайшего главного или четверtnого румба, приставки «тэн» (ten), которая означает предлог «к», и названия главного румба, в сторону которого уклонен данный промежуточный румб. Угол в $11^{\circ} 1/4$ между двумя смежными румбами также называется румбом. В каждой четверти горизонта румбы имеют порядковые номера от 1 до 8, причем нумерация румбов ведется от N или S в обе стороны: к E и W .



Рис. 6.7. Системы деления горизонта
внутренний круг — румбовая; средний — четвертная; наружный — круговая

С появлением судов с механическими двигателями и повышением точности судовождения истинный горизонт стали делить на 360° , а счет направлений в румбах применять лишь для указания направления ветров, волнения и течения. Первоначально была введена четвертная система деления горизонта на градусы. За начало отсчета в ней принимаются два направления — *N* и *S*, от которых счет ведется к *E* или *W* от *O* до 90° . В настоящее время в навигации принято отсчитывать направления только от *N*-й части истинного меридиана по часовой стрелке от 0 до 360° . Такая система деления истинного горизонта носит название круговой (см. рис. 6.7).

6.5. Истинные курсы и пеленги. Курсовой угол

Путевым углом называют двугранный угол между нордовой частью плоскости истинного меридиана и вертикальной плоскостью, совпадающей с линией перемещения судна.

Если на судно не влияет ветер, вызывающий дрейф и течение, линия перемещения судна совпадает с направлением его диаметральной плоскости. В этом случае направление движения судна определяется истинным курсом. **Истинным курсом (ИК)** называется двугранный угол между нордовой частью плоскости истинного меридиана и носовой частью диаметральной плоскости судна.

Направление на ориентир определяется двугранным углом между нордовой частью плоскости истинного меридиана и вертикальной плоскостью, проходящей через место наблюдателя и ориентир. Этот угол называется **истинным пеленгом (ИП)**. Оба угла отсчитываются от нордовой части истинного меридиана по часовой стрелке от 0 до 360° . Угол, отличающийся от *ИП* на 180° , называется **обратным истинным пеленгом (ОИП)**:

$$ИП = ИК + КУ \quad (6.9)$$

$$ИК = ИП - КУ \quad (6.10)$$

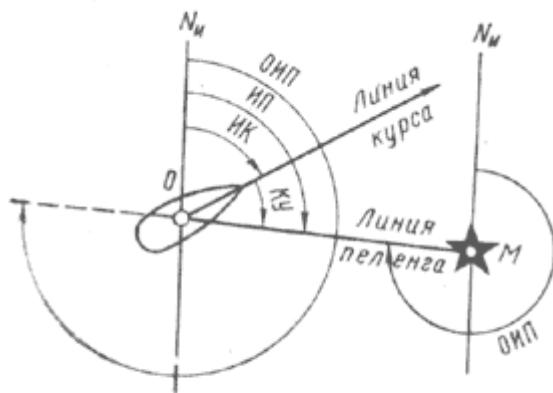


Рис. 6.8. Изображение истинного курса, истинного пеленга и курсового угла

$$КУ = ИП - ИК \quad (6.11)$$

Если KU задан по полукруговому счету, то $ИП$ и $ИК$ вычисляют по формулам:

$$ИП = ИК + K_{пр.борт} \text{ или } ИП = ИК - K_{лев.борт} \quad (6.12)$$

$$ИК = ИП - K_{пр.борт} \text{ или } ИК = ИП + K_{лев.борт} \quad (6.13)$$

Когда KU предмета равен 90° правого или левого борта, то говорят, что предмет находится на траверзе, указывая при этом наименование борта.

6.6. Земной магнетизм. Магнитное склонение. Магнитные курсы и пеленги

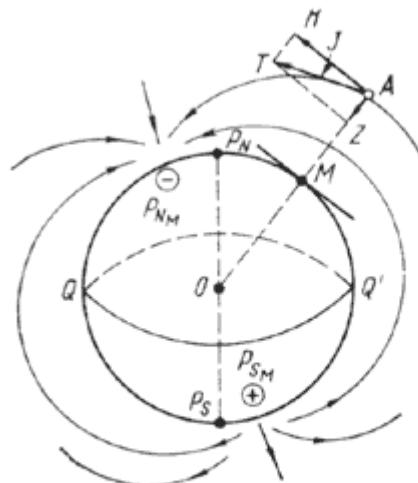


Рис. 6.9. Магнитное поле Земли

В магнитном отношении Земля представляет собой огромный по величине магнит, магнитное поле которого окружает земной шар. Магнитные полюсы Земли располагаются срав-

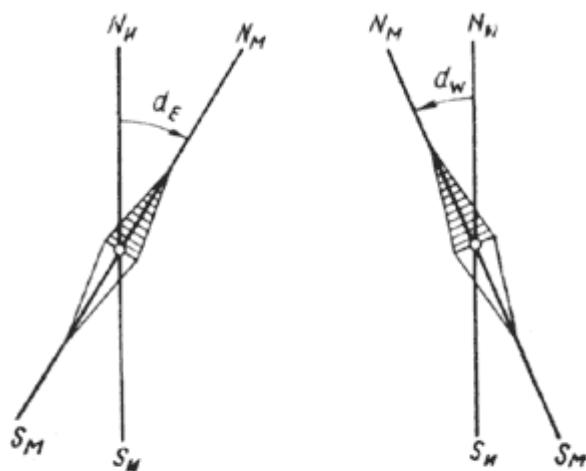


Рис. 6.10. Магнитное склонение
 d_E — восточное; d_W — западное

нительно недалеко от географических, но с ними не совпадают. Кроме того, они постепенно изменяют свое положение.

Силовые линии магнитного поля Земли выходят из южного магнитного полюса P_S и замыкаются в северном P_N (рис. 6.9).

Вертикальная плоскость, проходящая через ось свободно подвешенной магнитной стрелки, называется плоскостью магнитного меридиана, а след от пересечения этой плоскости с плоскостью истинного горизонта — магнитным меридианом $N_M - S_M$ (рис. 6.10).

Горизонтальный угол, на который в данной точке Земли плоскость магнитного меридиана отклоняется от плоскости истинного меридиана, называется магнитным склонением d . Оно отсчитывается от северной части истинного меридиана N_M к E или к W от 0 до 180° . Если северная часть магнитного меридиана N_M отклонена от N_M к востоку, то склонение имеет наименование E (восточное) и ему приписывается знак плюс (+), если к западу, то W (западное) со знаком минус (-).

В отдельных точках Земли магнитное склонение отличается как по значению, так и по наименованию. В большей части судоходных районов склонение не превышает $25^\circ E$ или W . Исключением являются высокие широты, где склонение может достигнуть десятков градусов, а между одноименными магнитными и географическими полюсами даже 180° .

Чтобы правильно использовать магнитный компас, необходимо знать значение магнитного склонения в районе плавания. С этой целью на навигационные карты наносят значение и наименование склонения. Однако наблюдениями установлено, что значение склонения не остается постоянным даже в одном и том же месте. В отдельных районах за год склонение может изменяться до $0,2 \div 0,3^\circ$. Поэтому на навигационных картах указывают также год, к которому отнесено склонение, и значение его годового изменения. Эти сведения наносят различными способами. Обычно надписи о значении склонения помещают в центре картушек, размещенных на водной поверхности. Иногда такие же надписи наносят на карту без изображения картушек, например «Магн. скл. $1,2^\circ W$ ». Если значение склонения одинаково для всего района, охватываемого картой, то данные о нем помещают в заголовке карты. Значение годового изменения склонения обычно указывают в заголовке карты, однако, если

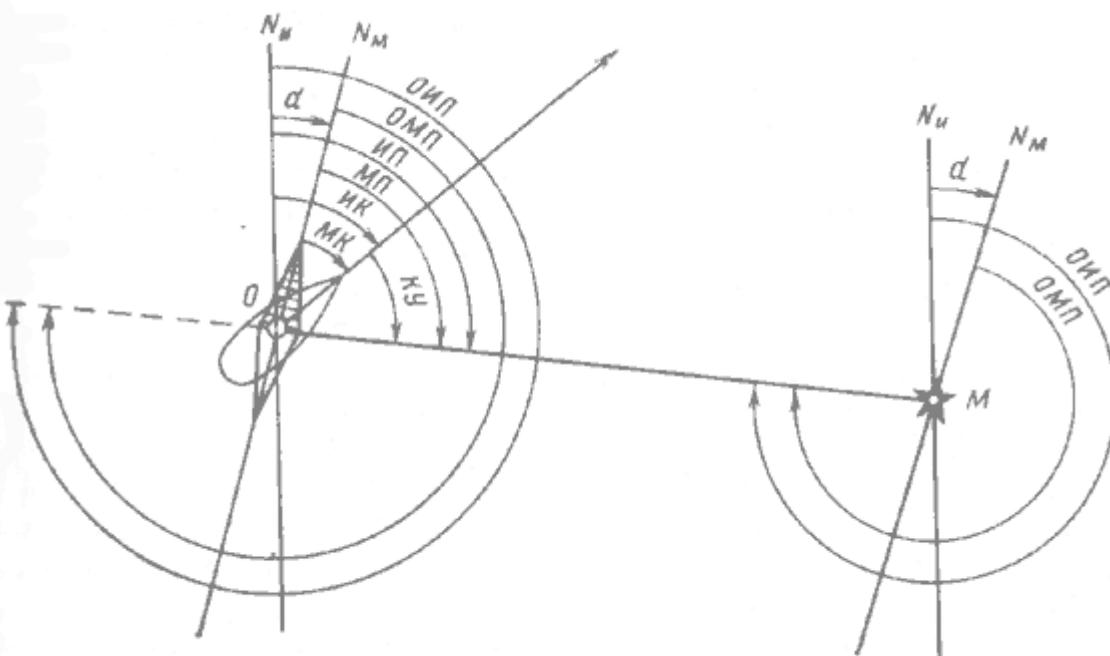


Рис. 6.11. Зависимость между истинными и магнитными направлениями

оно неодинаково в разных районах карты, его показывают рядом со сведениями о значении склонения.

Магнитное склонение, учитываемое при расчете поправки компаса, необходимо приводить к году плавания. Для этого к нанесенному на карте склонению прибавляют или вычитывают из него годовое изменение склонения, умноженное на разность лет между годом фактического плавания и годом, к которому относится склонение на карте. Приведенные склонения при подготовке карт к предстоящему плаванию записывают простым карандашом рядом со старыми, которые зачеркивают. Если место судна находится в районе, расположеннном между двумя обозначениями склонения, то нужное склонение определяют путем интерполяции.

В наиболее изученных морях магнитное склонение известно с точностью до $\pm 0,5^\circ$. В океанах, менее изученных в магнитном отношении, ошибки в выбранных значениях склонения могут достигать $\pm 1 \div 2^\circ$. В некоторых пунктах земной поверхности склонение резко отличается от его среднего значения для данного района моря или океана. Такое явление носит название магнитной аномалии. **Магнитные аномалии** возникают в местах, где под поверхностью Земли имеется скопление магнитных пород, создающих добавочное магнитное поле. Границы аномалий очерчены на морских картах кривыми чёрными линиями с указанием крайних пределов изменения магнитного склонения. При плавании в таких районах показания магнитного компаса ненадежны. Протекающие на Солнце явления могут вызывать внезапные и резкие изменения склонения и других элементов земного магнетизма. Продолжительность таких изменений составляет от нескольких часов до нескольких суток, их называют магнитными бурями. Во время магнитных бурь показания магнитных компасов ненадежны.

Магнитным курсом называется угол в плоскости истинного горизонта, отсчитываемый от нордовой части магнитного меридиана по часовой стрелке до носовой части диаметральной плоскости судна; магнитным пеленгом называется угол в плоскости истинного горизонта, отсчитываемый от нордовой части магнитного меридиана по часовой стрелке до направления

на ориентир (рис. 1.11). Угол, отличающийся от $MП$ на 180° , называется обратным магнитным пеленгом ($ОМП$): $ОМП = MП \pm 180^\circ$ или $MП = ОМП \pm 180^\circ$. Магнитные курсы и пеленги могут лежать в пределах от 0 до 360° . Зная магнитное склонение в данном месте Земли, можно по известным магнитным направлениям получить истинные, а также решить обратную задачу. Зависимость между магнитными и истинными направлениями выражается формулами:

$$ИК = MK + d \quad (6.14)$$

$$ИП = MП + d \quad (6.15)$$

$$ОИП = ОМП + d \quad (6.16)$$

$$MK = ИК - d \quad (6.17)$$

$$MП = ИП - d \quad (6.18)$$

$$ОМП = ОИП - d \quad (6.19)$$

Формулы алгебраические. Представляемое в них берется со знаком плюс (+) E или минус (-) W .

6.7. Девиация магнитного компаса. Компасные курсы и пеленги

Находящиеся в магнитном поле Земли детали набора и другие стальные и железные части судна постепенно намагничиваются и приобретают свойства магнита. В результате этого в окружающем судно пространстве возникает собственное магнитное поле, действие которого складывается с магнитным полем Земли. Магнитная стрелка судового компаса устанавливается по равнодействующей сил обоих полей, вследствие чего отклоняется от направления магнитного меридиана. Горизонтальный угол, на который плоскость компасного меридиана отклоняется от плоскости магнитного меридиана, называется девиацией магнитного компаса « δ » (рис. 1.12). Девиация отсчитывается от северной части магнитного меридиана N_K к E (соответственно, со знаком +) или W (со знаком -) от 0 до 180° .

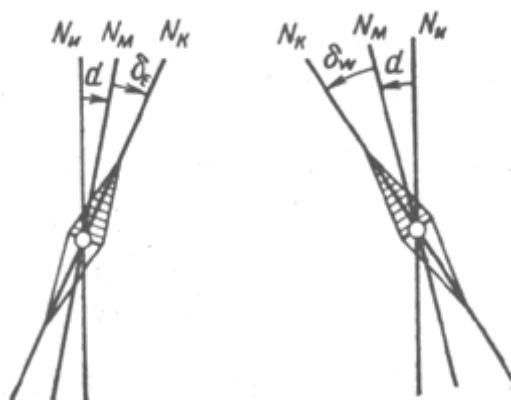


Рис. 6.12. Девиация компаса
 δ_E — восточная; δ_W — западная

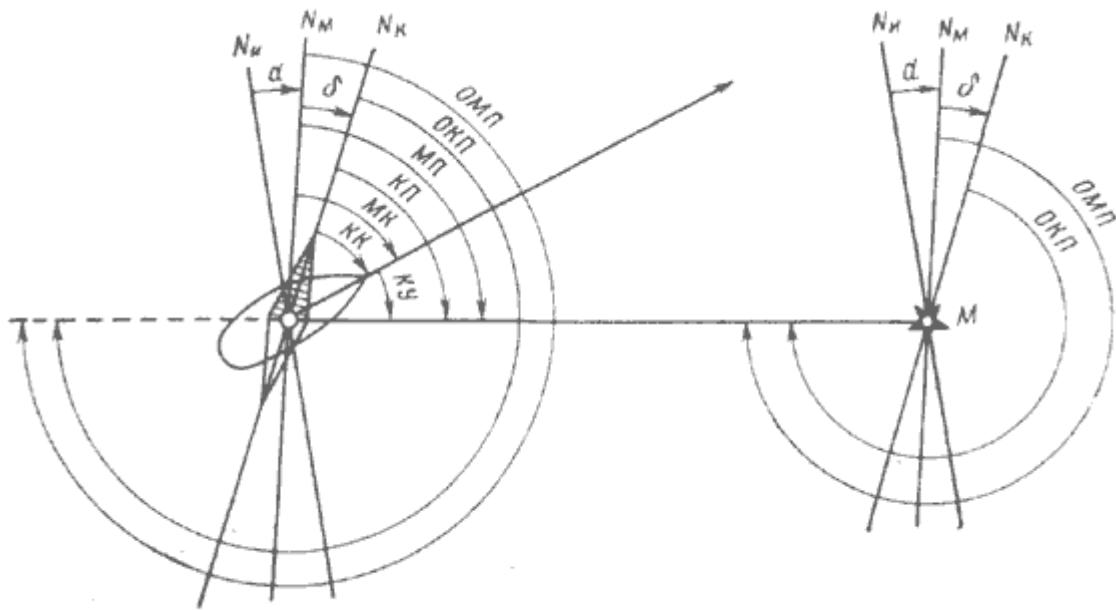


Рис. 6.13. Зависимость между магнитными и компасными направлениями

На каждом курсе девиация у судовых компасов различна. Это объясняется тем, что при изменении курса меняется положение судового железа относительно магнитных стрелок компаса. Кроме того, после поворота судна судовое железо частично перемагничивается, что также приводит к изменению магнитного поля судна. Девиация судовых компасов изменяется на одном и том же курсе при перемене широты места, что связано с изменением напряженности магнитного поля Земли и, следовательно, изменением намагниченности судового железа, а также при каждой погрузке или выгрузке грузов, обладающих магнитными свойствами, при длительной стоянке судна в ремонте, при проведении электросварочных работ вблизи компасов, при сильном сотрясении металлического корпуса судна.

Девиацию судового компаса периодически определяют для различных курсов и заносят в специальную таблицу, откуда ее выбирают при расчетах курсов и пеленгов. Зная значение девиации, можно по замеченным компасным направлениям рассчитывать направления относительно магнитного меридiana. Компасным курсом (*КК*) называется угол в плоскости истинного горизонта, отсчитываемый от нордовой части компасного меридиана по часовой стрелке до носовой части диаметральной плоскости судна; компасным пеленгом (*КП*) называется угол в плоскости истинного горизонта, отсчитываемый от нордовой части компасного меридиана по часовой стрелке до направления на ориентир. Угол, отличающийся от *КП* на 180° , называется обратным компасным пеленгом *ОКП*:

$$OKP = KP \pm 180^\circ \text{ или} \quad (6.20)$$

$$KP = OKP \pm 180^\circ \quad (6.21)$$

Компасные курсы и пеленги могут быть в пределах от 0 до 360° . Зависимость между компасными и магнитными направлениями:

$$MK = KK + \delta \quad (6.22)$$

$$MP = KP + \delta \quad (6.23)$$

$$ОМП = ОКП + \delta \quad (6.24)$$

$$KK = MK - \delta \quad (6.25)$$

$$КП = МП - \delta \quad (6.26)$$

$$OKP = OMP - \delta \quad (6.27)$$

Данные формулы алгебраические. Подставляемая в них девиация δ берется со знаком плюс (+) E или минус (-) W .

Пользуясь этими формулами, можно рассчитать δ со своим знаком:

$$\delta = MK - KK \quad (6.28)$$

$$\delta = MP - CP \quad (6.29)$$

$$\delta = OMP - OKP \quad (6.30)$$

Между KK , CP и KU ориентиров при круговом счете сохраняется следующая зависимость:

$$CP = KK + KU \quad (6.31)$$

$$KK = CP - KU \quad (6.32)$$

$$KU = CP - KK \quad (6.33)$$

6.8. Определение остаточной девиации магнитного компаса.

Таблица девиации

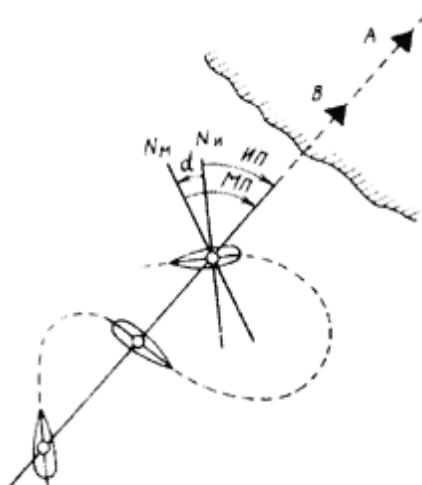


Рис. 6.14. Определение девиации по створу

Чтобы обеспечить надежную работу компасов, производят уничтожение их девиации при помощи магнитов девиационного механизма в нактоузе каждого компаса. Работа по уничтожению девиации проводится специалистами-девиаторами на оборудованных створами девиационных полигонах. Уничтожить девиацию полностью невозможно. Поэтому после проведения работ по уничтожению девиации девиатор приступает к определению остаточной

девиации. Наблюдения проводят на створах, магнитное направление которых ($МП$) известно, на восьми равноотстоящих курсах — главных и четвертных. В момент пересечения створа на каждом из восьми курсов берут по главному компасу $КП$ створных знаков (см. рис. 1.14). Пользуясь соотношением $\delta = МП - КП$ девиатор вычисляет девиацию для восьми курсов, а затем рассчитывать таблицу остаточной девиации компаса с точностью до $0,1^\circ$ обычно с интервалом в 10° или 15° . Полученные данные сводят в таблицу девиации. Аргументом для входа в таблицу (табл. 5) служит KK судна.

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

Таблица 5. Таблица девиации

6.9. Поправка магнитного компаса. Исправление и перевод курсов и пеленгов

Алгебраическая сумма девиации и магнитного склонения, на величину которой компасные направления отличаются от истинных, называется поправкой магнитного компаса:

$$\Delta MK = \delta + d \quad (6.34)$$

Девиацию и склонение берут со своими знаками.

Задачи, связанные с переходом от компасных курсов и пеленгов к истинным, называются исправлением румбов, а задачи, связанные с переходом от снятых с карты истинных курсов и пеленгов к компасным — переводом румбов. Формулы исправления румбов:

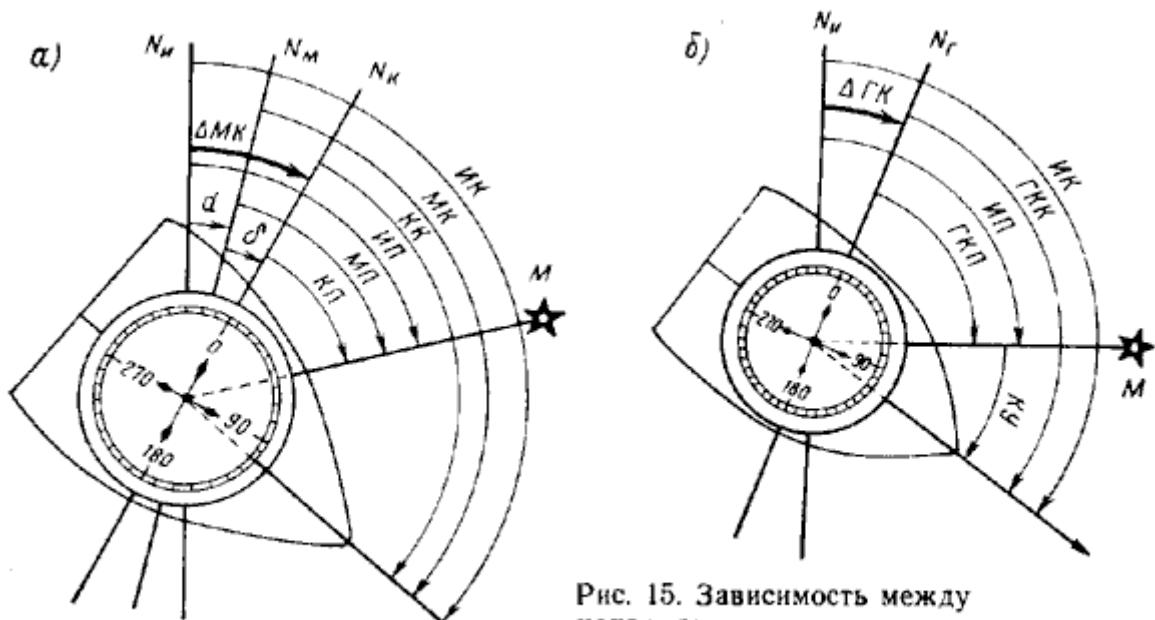


Рис. 15. Зависимость между направлениями:
а — истинными и компасными; б — истинными и гирокомпасными

Рис. 6.15. Зависимость между направлениями

а — истинным и компасным; б — истинным и гирокомпасным

$$IK = KK + \Delta MK \quad (6.35)$$

$$ИП = КП + \Delta MK \quad (6.36)$$

$$ОИП = ОКП + \Delta MK \quad (6.37)$$

Формулы перевода румбов:

$$KK = IK - \Delta MK \quad (6.38)$$

$$КП = ИП - \Delta MK \quad (6.39)$$

$$ОКП = ОИП - \Delta MK \quad (6.40)$$

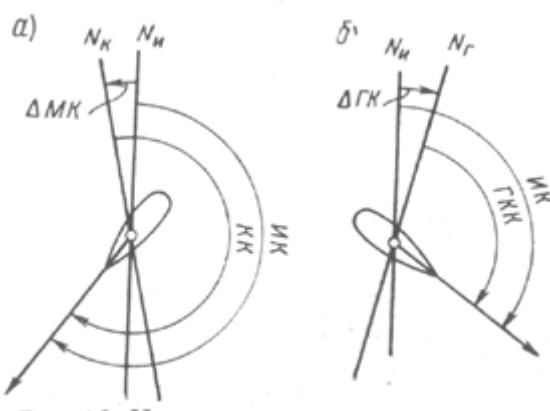


Рис. 6.16. Исправление курса

Для контроля правильности решений навигационных задач бывает полезно сделать чертёж, чтобы представить себе все соотношения (рис. 6.16).

6.10. Общие сведения о картографических проекциях

Если судно, совершая плавание между двумя пунктами, идет постоянным курсом, то оно пересекает все меридианы под одним и тем же углом. Линия, пересекающая все меридианы под постоянным углом, называется **локсодромией** (в переводе с греческого — «кривой бег»). На поверхности земного шара локсодромия изображается в виде спирали, стремящейся к полюсу, но никогда его не достигающей (рис. 6.17).

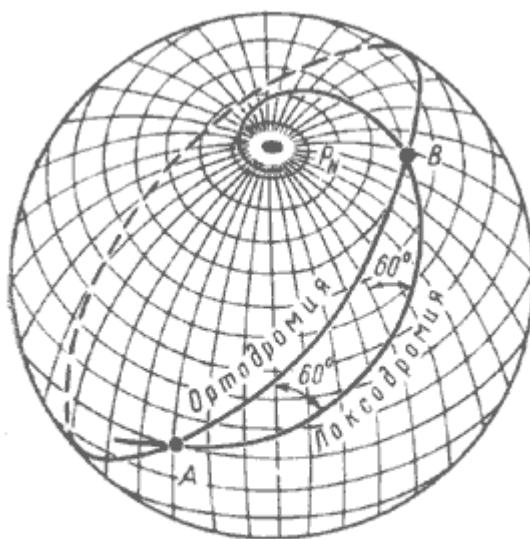


Рис. 6.17. Изображение локсодромии и ортодромии на поверхности Земли

В частных случаях при плавании курсами 0 и 180° локсодромия совпадает с меридианом, а при плавании курсами 90° и 270° — с параллелью.

Плавание по локсодромии, т. е. постоянным курсом, удобно. Это упрощает работу судового дителя. Недостатком плавания по локсодромии является то, что она не является кратчайшим расстоянием между точками на земной поверхности. Кратчайшим расстоянием между данными пунктами на земной поверхности является меньшая дуга большого круга, проходящая через эти точки или **ортодромия** (в переводе с греческого — «прямой бег»). При небольших переходах разность в длине между локсодромией и ортодромией незначительна, ее пренебрегают и совершают плавание по локсодромии.

Морские навигационные карты применяют для графического учета движения судна во время его плавания. Для этого на карте прокладывают локсодромические курсы судна и пеленги на различные ориентиры.

Основные требования, предъявляемые к морской навигационной карте:

1. линия курса и пеленгов должны изображаться прямыми линиями. Поэтому все меридианы на карте должны быть взаимно параллельны, чтобы прямая линия, изображающая линию курса судна, пересекала бы их под одним и тем же углом;

2. карта должна быть равноугольной. Это значит, что углы и направления, измеренные на местности, должны соответствовать углам и направлениям на морской навигационной карте.

Из всех видов картографических проекций в судовождении находят наибольшее применение **меркаторская** и **гномоническая** (центральная).

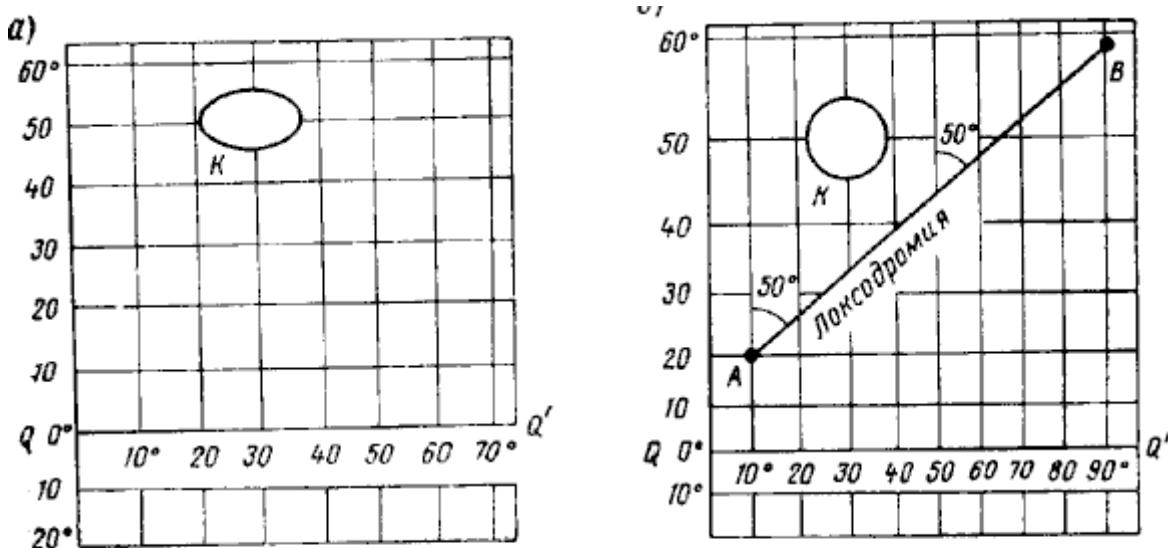


Рис. 6.18. Построение меркаторской проекции
а — сетка меридианов и параллелей; б — меркаторская проекция

Масштаб карты определяется как отношение длины прямой между двумя точками на карте к действительному горизонтальному расстоянию между этими же точками на местности. Различают два вида масштаба: числовой (численный) и линейный.

Числовой масштаб — дробь, числитель которой единица, а знаменатель — число, показывающее, скольким единицам длины на местности равна одна единица на карте.

Линейный масштаб может быть выражен числовым соотношением единиц длины (например, «3 мили в 1 см») или графически. На морских картах линейный масштаб наносят на вертикальные рамки карты.

При развертывании сфероидической поверхности Земли на плоскость возникают искажения, вследствие чего степень уменьшения изображения в разных частях карты различна. Другими словами, масштаб карты меняется при переходе от точки к точке.

Масштаб, присущий данной точке карты, называется **частным**. В заголовках карт указывается числовой масштаб, близкий к среднему значению частных масштабов карт данного моря или района. Такой масштаб называется **главным**. Минута широты, т. е. линейная величина 1 минуты дуги меридиана, представляет собой морскую милю. Морские мили будут изображаться на меркаторской карте разными по длине участками меридианов, увеличивающимися по мере удаления от экватора.

Графическое изображение 1-й морской мили на меркаторской карте на данной широте называется **меркаторской милей**. Измерять расстояние на карте следует меркаторскими милями на соответствующей им широте.

6.11. Классификация морских карт по назначению. Содержание морских навигационных карт

Планы (масштаб 1 : 500—1 : 25 000) предназначены для ориентировки при заходах судов на рейды, в порты, бухты и т. д.

Частные карты (масштаб 1 : 25 000—1 : 50 000) предназначены для плавания в районах, сложных в навигационном отношении: при проходе узостей, в шхерах и непосредственно у берегов.

Путевые карты (масштаб 1 : 100 000—1 : 500 000) используют для обеспечения плавания судна в значительном удалении от берегов, иногда вне видимости береговых ориентиров. Карты этого типа наиболее распространены. Как правило, на путевых картах ведется прокладка пути судна.

Генеральные карты (масштаб 1 : 1 000 000—1 : 5 000 000) используют для ведения прокладки при плавании в открытом море в большом удалении от берегов, для общего изучения условий перехода и для предварительной прокладки.

Побережья морей «покрываются» рядом морских карт, каждая из которых охватывает свой географический район. Для связи с соседними картами и сохранения непрерывности графического счисления пути судна соседние карты имеют «находы», т. е. взаимные перекрытия.

Карты печатают на стандартных листах размером 75×100 см. Кроме того, они могут быть изданы на половине или четверти стандартного листа размерами соответственно 75×50 и 38×50 см. Если какая-то часть побережья не размещается в заданном масштабе на стандартном листе, дополнительно к оттиску карты может быть напечатан клапан на нестандартном листе. Клапан подклеивают к основному листу карты. Иногда клапан печатают на свободном месте непосредственно на карте.

Морским картам присваивают пятизначные адмиралтейские номера. Каждая из цифр номера карты условно обозначает название океана или его части, тип карты в зависимости от ее масштаба, район океана или моря и порядковый номер карты в данном районе. Особые буквенные или цифровые обозначения вводят для справочных карт и карт специального назначения.

Картографическая сетка морской карты заполняется в соответствии со своим назначением географическими и навигационными элементами содержания, надписями и элементами дополнительной характеристики. К географическим элементам содержания карты относятся изображения берегов океанов, морей, заливов, рельефа морского дна и суши, государственных границ, населенных пунктов. К навигационным элементам отнесены порты, средства навигационного оборудования, фарватеры, морские каналы, навигационные опасности, навигационные ориентиры, данные магнитного склонения и другие элементы карты, имеющие навигационный характер. Надписи — это заголовок карты, географические названия, различные пояснения и предупреждения, а также данные об издании и корректуре карты. К элементам дополнительной характеристики относятся врезки, т. е. небольшие крупномасштабные планы или карты важных в навигационном отношении участков побережья, помещенные на свободных местах листа, таблицы со сведениями о приливах и течениях, рисунки маяков, знаков и т. д.

Элементы содержания карт передаются условными знаками, символами изображения или схематическими рисунками объектов. Различного рода надписи на картах, относящиеся к

цвету и характеру огней, наименованию грунтов и т. д., дают в виде сокращений. Местоположение объектов, не выражаемых в масштабе карты, показывается условными обозначениями. Действительное место объекта при этом принимается в геометрическом центре знака, если он имеет правильную геометрическую форму, или в середине основания, если объект изображается несимметричным рисунком или знаком с широким основанием.

Глубины приводятся к нулю глубин и даются в метрах и дециметрах, причем глубины от 0 до 5 м округляют с точностью до 0,1 м; от 5 до 20 м — до 0,2 м; 20 и более — до 1 м. Кроме нанесения отметок глубин, на картах проводят линии равных глубин — изобаты. Изобата 10 м считается предостерегательной для малых судов, а 20 м — для крупнотоннажных.

Береговую линию в морях с приливами наносят на карту двумя линиями. Одна из них (основная) соответствует следу полной воды в сизигию, а другая — наимизшему уровню моря. Заключенная между этими линиями зона называется осушкой. В морях, где приливы не превышают 0,5 м, за береговую линию принимают урез воды при среднем уровне моря.

Высоты маяков и знаков в морях, не имеющих приливов, даются над средним уровнем моря, а в морях со значительным приливом — над уровнем средней полной сизигийной воды.

Средства навигационного оборудования (СНО) — маяки, светящие и несветящие знаки, знаки створов, радиомаяки, плавучие маяки, буи, вехи — показывают на картах немасштабными условными знаками. Рядом с изображением светящих СНО с помощью сокращений надписывают их характер, количество проблесков или затмений, период дальность видимости огня, сведения о радиотехнических станциях, туманных сигналах, секторах освещения. Направления и сектора маяков дают истинные, считая с берега от 0 до 360° по часовой стрелке. Рядом с изображением несветящих знаков в виде дроби показывают их высоту от уровня моря (числитель) и от основания знака (знаменатель). Рядом с изображением буев указывают их окраску, звуковые сигналы, порядковые номера, данные о радиолокационном отражателе, а у светящих буев — также и характер огня. Через центры изображений створных знаков проводят створные линии, ходовую часть которых изображают сплошной линией, неходовую — пунктиром.

Так как степень подробности изображения местности зависит от масштаба карты, то из всех карт, имеющихся на данный район, всегда следует пользоваться картой самого крупного масштаба. Чтение карты начинают с ее заголовка, в котором указывают название изображаемого района моря, масштаб карты, сведения о нуле глубин, принятые единицы для указания глубин и высот предметов, данные о магнитном склонении. Затем должны быть прочитаны напечатанные на карте предупреждения и примечания, установлены даты издания, а также большой и малой корректур. Для получения возможно полного представления об изображенной на карте местности изучают все показанные на ней географические и навигационные элементы изображения.

При плавании в сложных в навигационном отношении районах рекомендуется сделать подъем карты, т. е. увеличить ее наглядность выделением наиболее важных элементов карты. Для этого, в частности, карандашом наносят дуги, соответствующие дальности видимости маяков, заштриховывают опасные сектора огней, проводят линии опасных пеленгов. Перед пользованием картой нужно оценить ее с точки зрения достоверности и полноты нанесенного на нее изображения. Чем позднее составлена карта, тем больше ей можно доверять. Об уровне современности карты судят также по датам ее нового издания, большой и малой корректур. Для оценки достоверности изображения рельефа дна устанавливают степень подробности промера. Хорошо обследованным районам моря соответствует на карте боль-

шая частота и равномерность нанесения глубин. Редко и неравномерно показанные глубины, белые пятна между ними являются признаком недостаточной изученности района.

6.12. Графические задачи, решаемые на морских картах

Все построения в процессе графического счисления выполняют при помощи прокладочного инструмента: навигационного транспортира, параллельной линейки, циркуля-измерителя, чертежного циркуля с карандашом. Линии наносят простым карандашом и убирают мягкой резинкой.

Снять с карты координаты заданной точки. Наиболее точно эту задачу можно выполнить с помощью циркуля-измерителя. Для снятия широты одну ножку циркуля ставят в заданную точку, а другую так подводят к ближайшей параллели, чтобы описанная циркулем дуга ее касалась. Не изменяя угла раствора ножек циркуля, подносят его к вертикальной рамке карты и ставят одну ножку на параллель, до которой измерялось расстояние. Другую ножку ставят на внутреннюю половину вертикальной рамки в сторону заданной точки и снимают отсчет широты с точностью до 0,1 наименьшего деления рамки. Долготу заданной точки определяют таким же образом, только расстояние измеряют до ближайшего меридиана, а отсчет долготы снимают по верхней или нижней рамке карты.

Нанести точку по заданным координатам. Работу выполняют обычно с помощью параллельной линейки и циркуля-измерителя. Линейку прикладывают к ближайшей параллели и отдвигают одну ее половину до заданной широты. Затем раствором циркуля берут расстояние от ближайшего меридиана до заданной долготы по верхней или нижней рамке карты. Одну ножку циркуля ставят у среза линейки на тот же меридиан, а другой ножкой делают слабый укол также у среза линейки в сторону заданной долготы. Место укола и будет являться заданной точкой.

Измерить расстояние между двумя точками на карте или отложить известное расстояние от заданной точки. Если расстояние между точками небольшое и может быть измерено одним раствором циркуля, то ножки циркуля ставят в одну и другую точки, не меняя его раствора, приставляют к боковой рамке карты в той же примерно широте, в которой лежит измеряемое расстояние. Большое расстояние при измерении разбивают на части. Каждую часть расстояния измеряют милями в широте данного участка. Можно также раствором циркуля взять с боковой рамки карты «круглое» число миль (10, 20 и т. д.) и сосчитать, сколько раз уложить это число по всей измеряемой линии. При этом мили снимают с боковой рамки карты примерно против середины измеряемой линии. Остаток расстояния измеряют обычным способом. Если нужно отложить от заданной точки небольшое расстояние, то его снимают циркулем с боковой рамки карты и откладывают на проложенной линии. Расстояние берут с рамки примерно в широте заданной точки с учетом его направления. Если откладываемое расстояние большое, то берут с рамки карты примерно против середины заданного расстояния 10, 20 миль, и т. д. и откладывают нужное число раз. От последней точки отмеряют остаток расстояния.

Измерить направление проложенной на карте линии истинного курса или пеленга. Параллельную линейку прикладывают к линии на карте и приставляют к срезу линейки транспортиру. Транспортир перемещают вдоль линейки до тех пор, пока его центральный штрих не совпадет с каким-либо меридианом. Деление на транспортире, через которое проходит тот же меридиан, соответствует направлению курса или пеленга. Так как на транспортире

нанесены два отсчета, то при измерении направления проложенной линии следует учитывать четверть горизонта, в которой лежит заданное направление.

Проложить от заданной точки линию истинного курса или пеленга. При выполнении этой задачи используют транспортир и параллельную линейку. Транспортир накладывают на карту так, чтобы его центральный штрих совпал с каким-либо меридианом. Затем транспортир поворачивают в ту и другую сторону до тех пор, пока с тем же меридианом не совпадет штрих дуги, соответствующей отсчету заданного курса или пеленга. К нижнему срезу линейки транспортира прикладывают параллельную линейку, и, убрав транспортир, раздвигают ее, подводя к заданной точке. По срезу линейки в нужную сторону проводят линию. Перенести точку с одной карты на другую. С карты снимают направление и расстояние до заданной точки от какого-либо маяка или другого ориентира, нанесенного на обе карты. На другой карте, проложив от этого ориентира нужное направление и отложив по нему расстояние, получают заданную точку. Эта задача является комбинированной.

6.13. Графическое счисление пути судна

Для того чтобы судить о безопасности плавания, ориентироваться в окружающей обстановке и правильно выбирать курсы для дальнейшего перемещения, судоводитель должен в любой момент знать положение своего судна. Для этого он ведет **навигационную прокладку**.

Перед выходом судна в рейс под руководством капитана по картам и навигационным пособиям изучают условия плавания на всем предстоящем переходе. На основании этих данных выполняют **предварительную прокладку**. Однако она дает только общее представление об условиях перехода. С момента выхода в рейс окончательный выбор курсов и все принимаемые к учету факторы определяются конкретной обстановкой плавания. Поэтому в рейсе осуществляют **исполнительную прокладку**. Она включает в себя счисление пути, расчеты и построение на карте, расчеты маневрирования для расхождения с другими судами.

Счислением называется непрерывный учет элементов движения судна (скорости и направления) и воздействий внешних сил с целью определения координат судна (счислимого места) без наблюдений береговых ориентиров и небесных светил (обсерваций). Этот учет осуществляют на основании значений курса, скорости и вектора сноса судна. Исходную точку для счисления на карте определяет капитан. За такую точку могут быть приняты точное место судна, полученное сразу же после выхода за пределы акватории порта, плавучий маяк, приемный буй и т.д. Ее координаты записывают в судовой журнал. К моменту начала исполнительной прокладки следует включить лаг, определить поправку компаса по створам или другим способом.

6.14. Ведение счисления при плавании без дрейфа и течения

При плавании без дрейфа и течения линия пути судна на карте совпадает с линией *ИК*, поэтому учет перемещения судна на карте производится по линиям *ИК*, по которым откладывают расстояния, пройденные судном по лагу с учетом его коэффициента K_L . От исходной точки на карте прокладывают линию первого курса. Снятый с карты *ИК* переводят в *KK*, на который ложатся по магнитному компасу. На карте над линией *ИК* надписывают курс по компасу и его поправку. Пройденное по курсу расстояние S_L определяют по лагу:

$$S_{\text{Л}} = K_{\text{Л}} \cdot (O\text{Л}_2 - O\text{Л}_1) \quad (6.41)$$

где $O\text{Л}_2$ — отсчёт лага в точке нахождения судна, $O\text{Л}_1$ — отсчёт лага в исходной точке, $K_{\text{Л}}$ — коэффициент лага.

На линии *ИК* в указанных ниже случаях наносят счислимое место судна, т. е. место, рассчитанное по курсу и плаванию. Если плавание совершают вблизи берегов, счислимые точки отмечают каждый час, в открытом море — в конце вахты. Кроме того, счислимое место наносят в точках начала и конца поворотов, при изменении скорости, при получении обсерваций. Рядом с местом судна в виде дроби записывают момент по судовым часам с точностью до 1 мин (T) и отсчет лага с точностью до 0,1 мили ($O\text{Л}$). (См.рис 6.19).

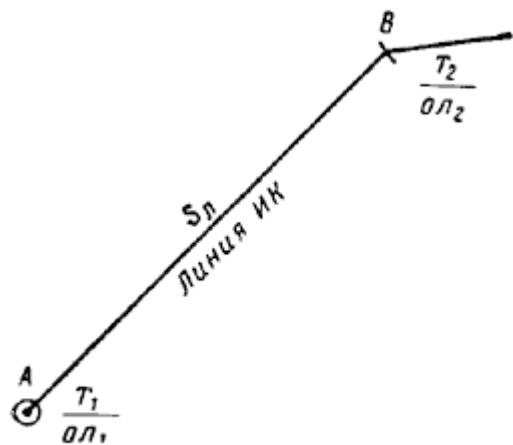


Рис. 6.19. Расчёт счислимого места при прокладке

В реальных условиях морского плавания возможны три основных варианта, определяющих соответствующие практические приемы счисления пути яхты:

1. плавание в условиях устойчивого полного ветра;
2. плавание в условиях устойчивого противного ветра;
3. плавание при неустойчивом по силе и направлению ветре.

В первом случае яхту ведут обычно по линии пути, проложенного при предварительной прокладке. Условия счисления здесь благоприятные. Во втором случае выполняют лавировку относительно генерального курса, при этом прокладываемый фактический путь на каждом галсе не совпадает с предварительной прокладкой. Если лавировочный галс не слишком крутой, то рулевой точно выдерживает заданный курс, что упрощает счисление и повышает его точность. В таких условиях продолжительность галсов зависит от угла лавировки (угол между генеральным курсом и путем яхты). При равенстве углов правого и левого галсов их продолжительность одинакова, а лавировка может быть симметричной. Если нет — счисление и прокладку пути выполняют на каждом частном лавировочном галсе по данным приборов. Если лага нет, скорость рекомендуется оценивать на каждом галсе.

При лавировке может случиться, что рулевой по указанию капитана яхты, выбирайясь на ветер, не обращает внимания на компас. Здесь через небольшие, но равные промежутки времени ($15 \div 30$ мин.) определяют и записывают средний *KK* и соответствующий ему *ИК*, по

которому откладывают данные, полученные по лагу или скорости. При неустойчивом ветре курс рулевому не задают, а ставят задачу править по парусу в поисках ветра, придерживаясь по возможности ближе к генеральному курсу. Иногда в такой ситуации в зависимости от местных признаков и прогноза погоды бывает выгодно уклониться от генерального курса, чтобы скорее получить полный устойчивый ветер (например, бриз под берегом). Во всех этих случаях в интересах счисления пути на яхте фиксируют все повороты и на каждом галсе (в начале и конце галса обязательно) с определенной периодичностью ($1 \div 2$ раза в час, в зависимости от условий) записывают данные о движении судна (время, курс, скорость, отсчет лага). Эти записи обрабатывают, усредняя курс и скорость каждого галса, а затем прокладывают на карте.

Практика показывает, что точность счисления в таких условиях повышается с увеличением дискретности наблюдений. Ошибки аппроксимации криволинейных участков плавания прямолинейными будут незначительны по сравнению с другими ошибками.

6.15. Дрейф судна

В навигации дрейфом (α) называют снос судна с линии курса под совместным действием ветра и вызванного им волнения. При дрейфе судно перемещается относительно воды под совместным действием судовых машин и ветра. Линия его фактического перемещения (OB), называемая линией пути судна при дрейфе, не совпадает с курсом судна (OA). (См. рис 6.20). При смещении линии пути вправо от AP судна (ветер дует в левый борт) а приписывают знак плюс (+), а при смещении влево (ветер дует в правый борт) — знак минус (-).

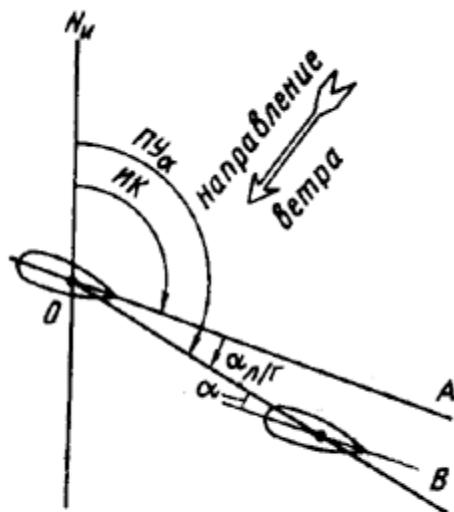


Рис. 6.20. Дрейф судна

Зависимость между путевым углом с учётом дрейфа ($ПУ_\alpha$), ИК и α :

$$ПУ_\alpha = ИК + \alpha; \quad (6.42)$$

$$ИК = ПУ_\alpha - \alpha; \quad (6.43)$$

$$\alpha = ПУ_\alpha - ИК \quad (6.44)$$

Угол дрейфа может быть определен путем сравнения действительного пути судна, полученного по обсервациям, с *ИК*.

При следовании в виду берегов проводят ряд надежных навигационных наблюдений. Соединив обсервованные точки, получают линию действительного перемещения судна, т. е. линию пути при дрейфе $ПУ_\alpha$ (рис. 6.21). Угол между линией пути и проложенной на карте линией *ИК* соответствует углу дрейфа. Найденный угол дрейфа с его знаком учитывают при дальнейшем счислении. Если в районе плавания имеется течение, то полученный угол сноса будет результатом воздействия на судно не только ветра, но и течения.

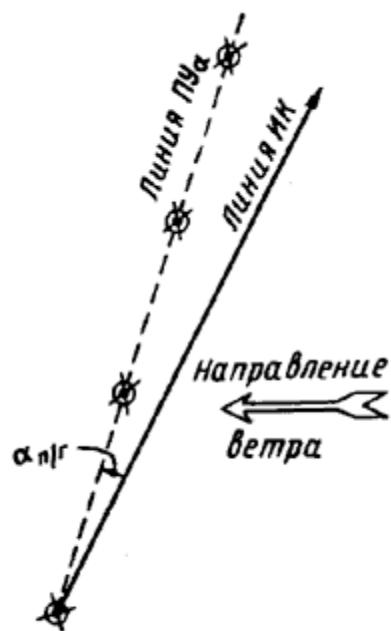


Рис. 6.21. Определение угла дрейфа

6.16. Учет дрейфа при счислении

Если судно испытывает дрейф, то при ведении прокладки на карту наносят линию пути судна при дрейфе.

На ней надписывают *KK*, поправку компаса и принятый к учету угол дрейфа α со своим знаком. По линии пути откладывают пройденные по лагу расстояния S_L . Считается, что при $\alpha < 8 \div 10^\circ$ все системы лагов учитывают измерение скорости, вызываемое ветром. Поэтому плавание судна по лагу рассчитывают, как обычно (форм. 6.41)

Если судоводитель не уверен в точности угла дрейфа, то для контроля безопасности плавания, кроме линии пути при дрейфе, на карту рекомендуется наносить линию *ИК*. Обе эти линии должны проходить чисто относительно подводных препятствий. Счисление ведется только по линии пути, по которой и происходит перемещение судна.

6.17. Морские течения

Морскими течениями называют горизонтальные перемещения больших масс воды. Течение характеризуется его элементами: направлением и скоростью.

Направление течения K_T указывают в градусах по круговому счету или румбах и задают по той точке горизонта, к которой течение направлено.

Скорость течения V_T измеряют в узлах, а небольшие его скорости — в милях в сутки.

По характеру течения классифицируют на **постоянные**, элементы которых из года в год почти не изменяются, **периодические**, элементы которых меняются по определенному закону, и **временные (случайные)**, элементы которых могут резко меняться.

На практике судоводителю чаще всего приходится иметь дело с постоянными и периодическими (**приливо-отливными**) течениями. Сведения об элементах постоянных и приливо-отливных течений помещают в лоциях, атласах течений и на картах. При этом указывают средние значения элементов течений, которые могут значительно отличаться от действительных. Перемещение судна относительно грунта при плавании на течении определяют следующими факторами (рис. 6.22).

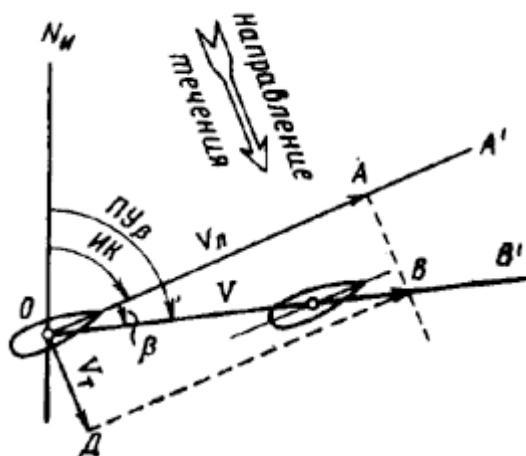


Рис. 6.22. Плавание на течении

Под действием судовых машин судно перемещается относительно воды по направлению его $\Delta\pi$, т. е. линии истинного курса OA . Скорость судна относительно воды является скоростью V_L показываемой лагом. Одновременно вместе со всей массой воды судно сносится относительно грунта по направлению течения OD со скоростью течения V_T . В результате относительно грунта судно перемещается по равнодействующей OB со скоростью, называемой истинной скоростью судна V . При этом $\Delta\pi$ судна остается параллельной линии IK . Линия OB , по которой перемещается судно под совместным действием судовых машин и течения, называется линией пути судна на течении. Положение линии пути относительно истинного меридиана определяется углом NOB , который называется путевым углом на течении $PУ_\beta$. Угол β , заключенный между линией истинного курса судна OA и линией пути OB , называется углом сноса течением. При сносе судна вправо от его $\Delta\pi$ (текущее направление в левый борт) приписывают знак (+), а при сносе влево — знак (-). Зависимость между $PУ_\beta$, IK и β :

$$\text{ПУ}_\beta = \text{ИК} + \beta \quad (6.45)$$

$$\text{ИК} = \text{ПУ}_\beta - \beta \quad (6.46)$$

$$\beta = \text{ПУ}_\beta - \text{ИК} \quad (6.47)$$

6.18. Счисление при плавании на течении

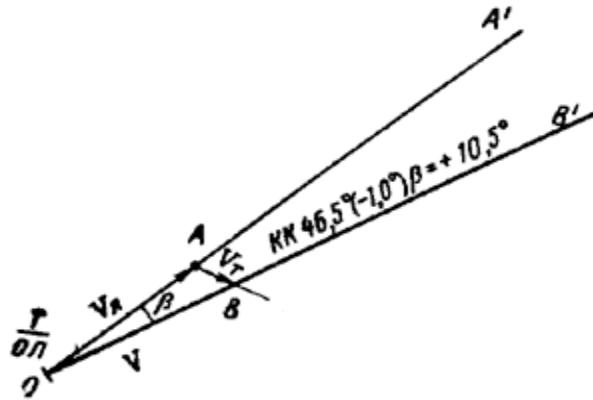


Рис. 6.23. Нхождение пути судна при плавании на течении

При плавании на постоянном течении на карту наносят линию пути судна, по которой оно фактически перемещается относительно грунта. Над линией пути надписывают KK , поправку компаса и угол сноса β со своим знаком. Для вспомогательных расчетов тонкой линией наносят также линию IK , по которой откладывают расстояния S_L , проходимые судном относительно воды по показаниям лага. Точки, полученные на линии IK , переносят по направлению течения на линию пути (рис. 6.23). У счислимых точек на линии пути делают отметку времени и отсчета лага, а у соответствующих точек на линии курса — только отсчета лага. Точки траверза, открытия и скрытия ориентиров наносят на линию пути (рис. 6.24).

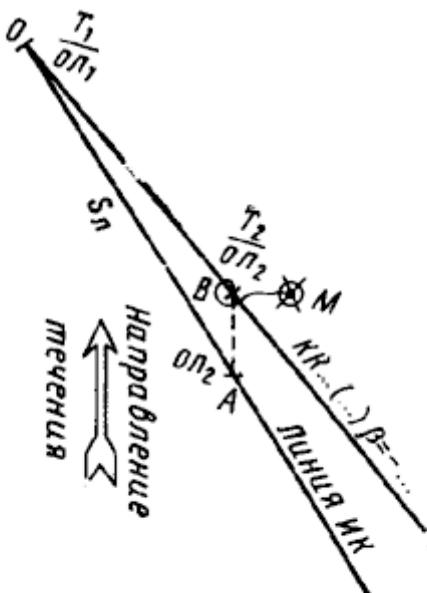


Рис. 6.24. Счислимое место при плавании на течении

6.19. Счисление при совместном учете дрейфа и течения

Рассмотрим случай, когда судно перемещается относительно грунта под совместным действием судовых машин, ветра и течения. Для ведения счисления на карте прокладывают линию пути судна при дрейфе и течении и надписывают KK , поправку компаса и суммарный угол сноса

$$c = a + \beta \quad (6.48)$$

Кроме того, для вспомогательных расчетов на карте прокладывают также линию пути при дрейфе, по которой откладывают плавание судна по лагу S_L . Каждой точке на линии пути при дрейфе соответствует точка на линии действительного перемещения судна. Эти точки связаны между собой вектором течения. Графически задачи, связанные с нахождением на карте линии пути при дрейфе и течении, истинной скорости V и суммарного угла сноса с по заданным KK , V_L , a , и элементам течения, нанесением счислимого места, предвычислением времени и ол на момент прихода в заданную точку, нахождением траверза ориентира, решают так же, как и при плавании на течении, но все вспомогательные построения делают на линии пути при дрейфе, заменяющей линию IK .

6.20. Оценки точности счисления

В результате воздействия неучтенных погрешностей действительный путь судна и пройденное им расстояние (плавание) не будут соответствовать тем, которые учитывались при счислении на карте, а фактическое место судна — счислимому. Для ориентированного суждения о погрешностях в счислении можно пользоваться следующими данными, которые отражают накопленный обобщённый опыт судовождения и проведенные исследования. Продолжительности плавания (часы) соответствует радиальная средняя квадратическая ошибка

счисления, % от S : До 3° — 10%; $3 \div 6^{\circ}$ — 9%; $6 \div 10^{\circ}$ — 8%; $10 \div 14^{\circ}$ — 7%; $14 \div 18^{\circ}$ — 6%; $18 \div 23^{\circ}$ — 5%; $23 \div 25^{\circ}$ — 4%; более 35° — 3%.

При прокладке пути судна на карте в том или ином расстоянии от навигационных опасностей необходимо учитывать возможность отклонения судна от линии пути, причем значение отклонения будет возрастать с увеличением пройденного расстояния, в особенности при плавании с дрейфом и течением. Недостаточная точность счисления вызывает необходимость дополнительного контроля за местонахождением судна, т. е. определения его места не только путем счисления, но и по обсервациям: навигационным, астрономическим либо при помощи GPS.

6.21. Определение места судна в море визуальными методами

Учет перемещения судна путем ведения графического счисления не является достаточно точным методом. Для уточнения своего положения судоводитель должен систематически определять место судна по наблюдениям различных ориентиров, положение которых известно.

Место, полученное путем обработки результатов таких наблюдений, называется **обсервованным**. Если обсервованная точка признается надежной, дальнейшая прокладка ведется от этой точки. Несовпадение обсервованной и счислимой точек называют **невязкой**. Значение и направление невязки рассчитывают при каждой обсервации, так как анализ вызвавших ее причин дает возможность установить, какие именно ошибки могли быть допущены в принятых к учету элементах счисления.

Все величины, которые измеряют с целью определить обсерванное место судна (пеленги, расстояния, горизонтальные и вертикальные углы), называют **навигационными параметрами**. По измеренным навигационным параметрам рассчитывают и прокладывают на карте изолинии или заменяющие их линии положения. **Навигационной изолинией** называют линию равных значений навигационного параметра (рис. 6.25). Точка пересечения двух таких изолиний и будет местом судна. На практике всю изолинию не строят, тем более, что на мораторских картах она часто имеет вид сложной кривой, а заменяют её **линией положения** — отрезком прямой, касательной к изолинии вблизи счислимого места.

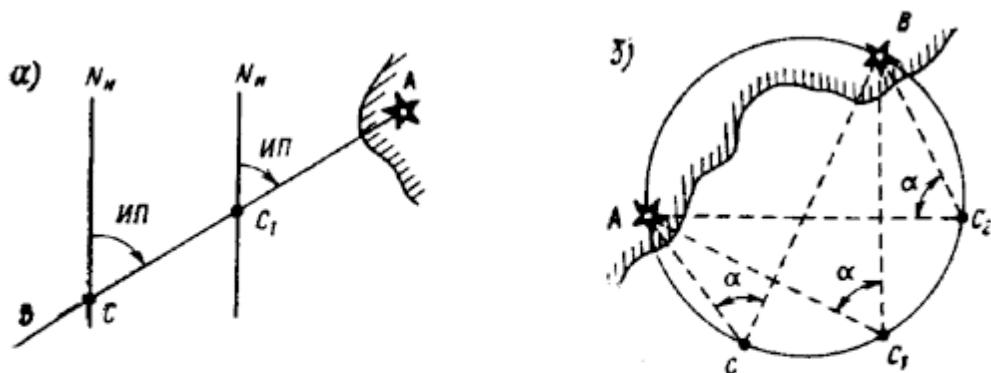


Рис. 6.25. Изолинии

а — при визуальном пеленговании; б — при измерении горизонтального угла

При визуальных способах определения места судна для наблюдений используют нанесенные на карту хорошо видимые и опознанные береговые и плавучие маяки, огни, неосвещаемые

мые знаки, башни, церкви, а также различные естественные ориентиры: мысы, вершины гор, скалы и т. д. Не следует использовать для обсерваций буи, вехи и другие знаки плавучего ограждения, так как они могут быть снесены со своих штатных мест. Для указания на карте места судна, полученного по обсервациям, применяют условные обозначения (см. табл. 6).

Общие обозначения		Счислимо-обсервованное	
По небесным светилам		Опознанное по глубинам	
С помощью РЛС		Взятое под сомнение	
С помощью радиомаяков		С помощью РНС	
Вероятное (осредненное)		Комбинированное	
С помощью навигационных спутниковых систем (НСС)			

Таблица 6. Условные обозначения мест, полученных при обсервации

6.22. Определение места судна по пеленгам двух ориентиров

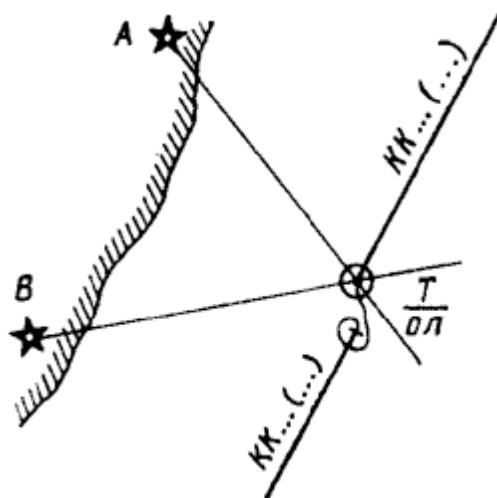


Рис. 6.26. Определение места по двум пеленгам

На берегу выбирают два хорошо видимых и опознанных ориентира *A* и *B* (рис. 6.26) 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° .

Берут по компасу пеленги ориентиров. Время и *ОЛ* замечают в момент *T* вторых наблюдений. Компасные пеленги исправляют поправкой компаса в истинные и прокладывают на карте. При незначительных случайных ошибках наблюдений и уверенности в правильности

учитываемой поправки компаса точность определения места судна по двум пеленгам вполне удовлетворительная. Если угол между направлениями на ориентиры меньше 30° или больше 150° , то к полученному обсервованному месту следует относиться с осторожностью.

6.23. Определение места судна по пеленгам трех ориентиров

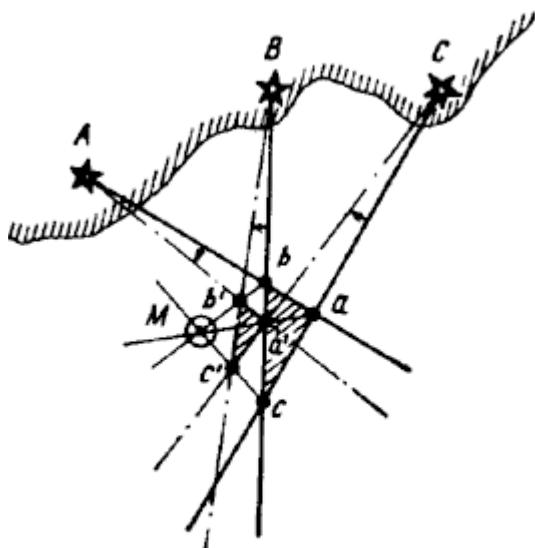


Рис. 6.27. Треугольник погрешностей

Три линии положения, проложенные на карте, пересекаются в одной точке в том случае, если наблюдения, вычисления и прокладка не содержали никаких ошибок. На практике линии пеленгов часто образуют треугольник, называемый треугольником погрешностей (abc на рис. 6.27). Причинами его появления могут быть:

1. промахи при опознании ориентиров или при взятии отсчетов по картушке компаса;
2. случайные ошибки пеленгования. При нормальных условиях наблюдений они невелики и не приводят к появлению большого треугольника погрешности;
3. ошибки от неодновременного взятия пеленгов. Эти ошибки проявляют себя при скорости судна, большей $15 \div 18$ уз, и небольших ($2 \div 3$ мили) расстояниях до ориентиров.

Для установления причин появления треугольника погрешностей проводят анализ обсервации. Промахи в наблюдениях сразу же обнаруживаются из-за появления значительного треугольника погрешностей. Чтобы убедиться, что причиной этого не является промах, измерения пеленгов повторяют. Если после повторных наблюдений треугольник не уменьшился, причиной его появления следует считать значительную ошибку в поправке компаса. Следует изменить ее на $2/\text{отдо } 4^\circ$ в ту или другую сторону. Проложив пеленги, исправленные новой поправкой, получают на карте второй треугольник погрешности ($a'b'c'$ на рис. 6.27). Если измененное значение поправки компаса оказалось ближе к ее истинному значению, то второй треугольник уменьшится по сравнению с первым и наоборот. Соединив сходные вершины этих треугольников отрезками прямых, получают в их пересечении точку M (см. рис. 6.27), которая является обсервованным местом судна, свободным от влияния систематической ошибки в ΔMK . Пользоваться описанным приемом для нахождения верного места

судна следует только в том случае, если значение сторон треугольника погрешности 0,5 мили и более. Если его стороны меньше указанного значения, то вероятное место судна принимают в центре треугольника, относя причину его возникновения к случайным ошибкам.

Практическое выполнение. Заблаговременно выбирают на берегу три ориентира с расчетом, чтобы углы между их пеленгами были от 60 до 120°. В быстрой последовательности измеряют пеленги каждого ориентира. При взятии третьего пеленга замечают время и ол. Исправляют пеленги поправкой компаса и прокладывают на карте, принимая место судна в точке их пересечения. При получении треугольника погрешности находят верное место судна, как указывалось выше. Снимают с карты координаты обсервованного места, а также направление и невязку. Эти данные записывают в судовой журнал. Способ определения места судна по трем пеленгам является одним из наиболее точных в судовождении.

6.24. Определение места судна по двум горизонтальным углам

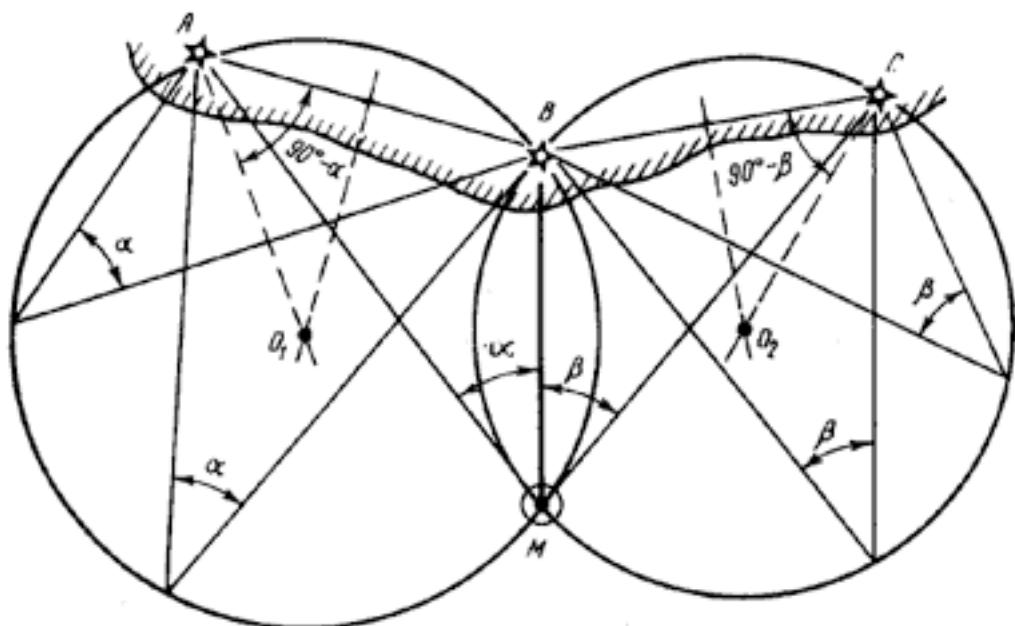


Рис. 6.28. Определение места по двум горизонтальным углам

Если на берегу имеются три ориентира A , B и C (см. рис. 6.28), то с судна могут быть одновременно измерены два горизонтальных угла: α — между ориентирами A и B и β — между B и C .

В результате будут получены две окружности — изолинии, в одной из точек пересечения которых (точка M) находится судно.

На практике окружности на карту не наносят, а для нахождения места судна используют кальку (рис. 6.29). Место судна получают, делая в точке M нажим карандашом или укол циркулем.

Случай неопределенности. Определение места судна по двум горизонтальным углам оказывается невозможным, если в момент измерения углов судно будет находиться на окружности, проходящей через все три ориентира A , B , C (рис. 6.30). Случая неопределенности не будет, если средний ориентир расположен ближе к судну, чем крайний; все три ориентира

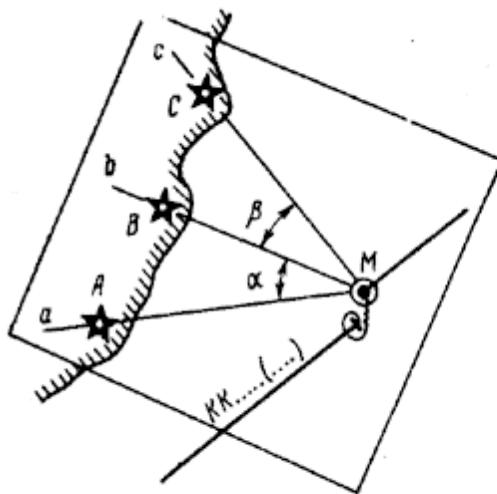


Рис. 6.29. Использование кальки

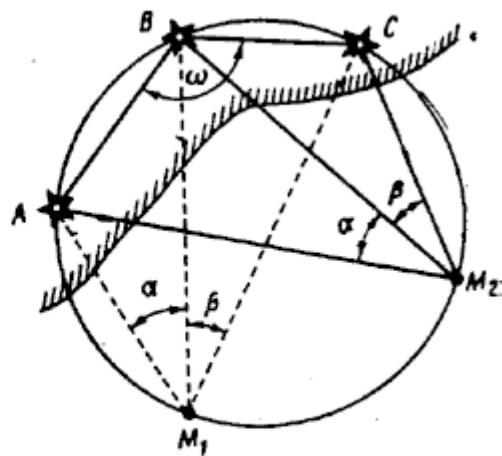


Рис. 6.30. Случай неопределенности

расположены на одной прямой; все три ориентира находятся на одинаковом расстоянии от судна.

Практическое выполнение. Углы между ориентирами, как правило, измеряют секстантом. Углы между ориентирами можно определить и при помощи компаса. Для этого в быстрой последовательности берут пеленги трех ориентиров, а затем вычисляют разности между отсчетами смежных компасных пеленгов: левого и среднего, среднего и правого ориентиров. Этим приемом пользуются, в частности, если поправка компаса ненадежна.

Определение места судна по двум горизонтальным углам относится к числу наиболее точных визуальных способов.

6.25. Определение места судна по пеленгу и горизонтальному углу

Этот прием является разновидностью способа определения места судна по двум пеленгам. Его применяют, когда один из двух ориентиров почему-либо не виден наблюдателю, расположенному у компаса, например, закрыт надстройкой. В этом случае измерения обычно

проводят два наблюдателя. Первый располагается так, чтобы видеть оба ориентира, второй находится у компаса. Первый наблюдатель секстантом измеряет горизонтальный угол между ориентирами, а второй по команде, подаваемой в момент измерения угла, берет пеленг. Одновременно замечают время и *ОЛ*. Отсчет компасного пеленга исправляют ΔMK . Для получения истинного пеленга на второй ориентир к первому пеленгу прибавляют измеренный угол. Угол берется со знаком плюс (+), если он был измерен вправо от линии измеренного пеленга, и со знаком минус (-), если влево. Место судна получают в пересечении линий двух истинных пеленгов. Точность обсервации может быть принята равной точности определения места по двум пеленгам.

6.26. Определение места судна по крюйс-пеленгу

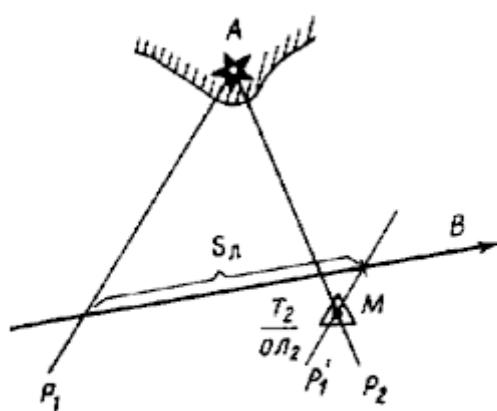


Рис. 6.31. Определение места по крюйс-пеленгу

Если с движущегося судна виден только один ориентир, расстояние до которого не может быть измерено, то для определения места применяют способ крюйс-пеленга. При этом ориентир пеленгуют 2 раза в различные моменты времени, место судна получают на момент вторых наблюдений. На карте счислимо-обсервованное место обозначают треугольником.

Наблюдения, вычисления и прокладку при определении места судна по крюйс-пеленгу выполняют в следующем порядке.

Берут первый компасный пеленг ориентира, замечая время и *ОЛ*. Когда направление на ориентир изменится на $30 \div 40^\circ$, берут второй пеленг и вновь замечают время и *ОЛ*. Компасные пеленги исправляют поправкой компаса и рассчитывают пройденное судном расстояние между измеренными пеленгами. Линии истинных пеленгов прокладывают на карте (см. рис. 6.31). От точки пересечения первого пеленга с линией *ИК* откладывают по курсу отрезок *S_Л*, через конец которого проводят линию, параллельную первому пеленгу. В точке пересечения этой линии со вторым пеленгом получают счислимо-обсервованное место судна на момент вторых наблюдений. Если счисление переносят в полученную точку, то снимают ее координаты, величину и направление невязки, которые записывают в судовой журнал. Если при счислении учитывали дрейф, то *S_Л* откладывают не по линии *ИК*, а по линии пути судна при дрейфе (см. рис. 6.32), а при течении откладывают *S_Л* по линии пути при течении.

Точность счислимо-обсервованного места зависит от случайных ошибок пеленгования, соответствия принятой поправки компаса ее действительному значению и от ошибок счис-

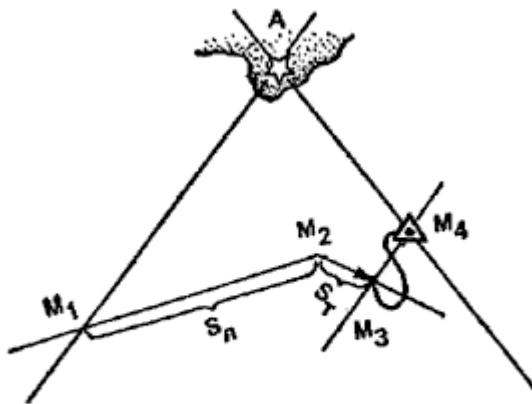


Рис. 6.32. Крюйс-пеленг на течении

ления за время между моментами взятия пеленгов. Причиной появления ошибок счисления являются погрешности в показаниях компаса и лага, а также неточный учет дрейфа и течения.

Для повышения точности стараются взять второй пеленг как можно быстрее после первого, однако не ранее того момента, когда он не изменится на $30 \div 40^\circ$. При этом пеленгование ведут с таким расчетом, чтобы второй пеленг ориентира был взят вблизи его траверза.

6.27. Определение места судна по пеленгу и расстоянию

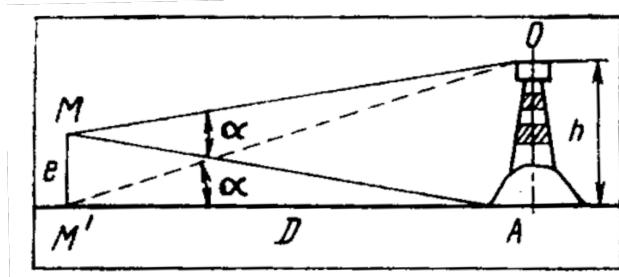


Рис. 6.33. Определение расстояния до ориентира

Определение расстояния до ориентира. Расстояние до ориентира в настоящее время, как правило, определяют с помощью РЛС. В качестве резервного может быть рассмотрен способ определения расстояния по вертикальному углу, измеренному секстантом. Определить расстояние по вертикальному углу можно, если известна высота ориентира над уровнем моря или его высота над основанием. Предположим, что, находясь в точке M , наблюдатель видит ориентир, высота которого h над уровнем моря известна (см. рис. 6.33). Измерив вертикальный угол α , можно рассчитать расстояние D до ориентира. При этом высотой глаза наблюдателя e можно пренебречь. Тогда из прямоугольного треугольника $M'OA$ получаем:

$$D = h \operatorname{ctg} \alpha \quad (6.49)$$

Выражая h в метрах и D в милях, получим:

$$D = \frac{h}{1852} \operatorname{ctg} \alpha \quad (6.50)$$

Перед измерением вертикального угла подготавливают секстан к наблюдениям, определяют поправку индекса. Из навигационного пособия выбирают высоту ориентира над уровнем моря или от основания. Измеренный угол исправляют поправкой индекса и инструментальной поправкой ($t + s$). Точность измерения расстояния рассматриваемым способом невелика. Возможные ошибки связаны с колебаниями уровня моря и значительное удаление ориентира от береговой черты.

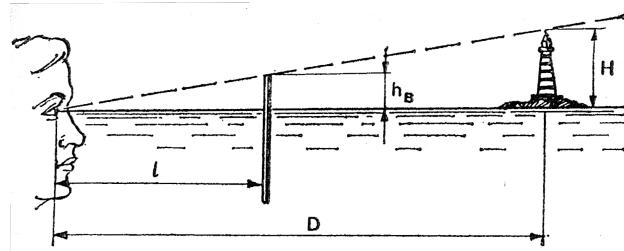


Рис. 6.34. Определение расстояния по высоте предмета с помощью линейки

Существует также проверенный практикой способ определения расстояния с помощью школьной линейки (см. рис. 6.34).

Если известны высота ориентира (м), длина вытянутой руки l (см) и видимая высота ориентира h_B (см), наблюдаемая на шкале линейки на вытянутой руке, то расстояние от судна до ориентира D (мили) будет равно:

$$D = \frac{H \cdot l}{1852 \cdot h_B} \quad (6.51)$$

Определение места судна по пеленгу и расстоянию. Этот способ применяют, если с судна виден только один ориентир A , расстояние до которого может быть определено по измеренному вертикальному углу либо при помощи РЛС. Изолиниями, в пересечении которых принимается обсервованное место, являются проложенная на карте линия истинного пеленга ориентира AP и дуга окружности (засечка), проведенная радиусом, равным измеренному расстоянию d (рис. 6.35).

Для уменьшения ошибки от перемещения судна первым измеряют вертикальный угол, а затем пеленг на момент времени T . Для повышения точности обсервации следует выбирать ориентир, расположенный ближе к судну. При уверенности в принятой поправке компаса обсервированное место судна можно считать достаточно надежным.

Определение места судна по двум расстояниям. Аналогично определяется место по двум расстояниям (см. рис. 6.36). При помощи РЛС, либо измеряя секстаном вертикальные углы, измеряют расстояние до двух ориентиров, причём момент времени засекается при измерении расстояния к ориентиру, который расположен под меньшим углом к $ДП$ судна, и откладывают засечки дуг окружностей на карте, находя их пересечение, соответствующее месту судна.

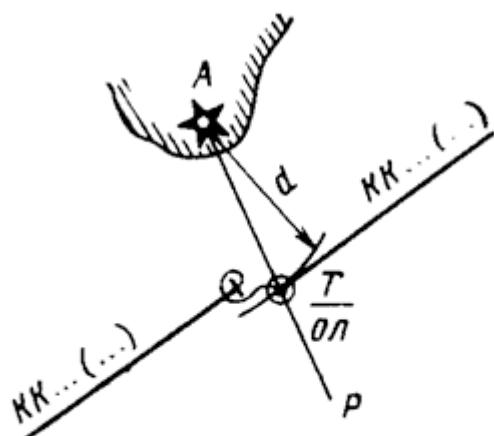


Рис. 6.35. Определение места по пеленгу и расстоянию

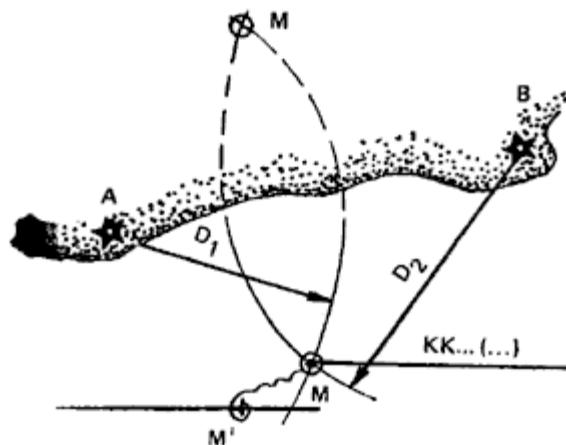


Рис. 6.36. Определение места по двум расстояниям

6.28. Опознание места судна по пеленгу в момент открытия ориентира, по пеленгу и глубине

Опознанное место в отличие от обсервованного является ориентировочным. Судоводитель не должен полагаться на него в своих расчетах, однако его необходимо принимать во внимание, особенно если оно находится ближе к опасности, чем счислимая точка.

Опознание места по пеленгу в момент открытия ориентира применяют при подходе к берегу, когда на судне продолжительное время не имели обсерваций. Заблаговременно рассчитывают дальность видимости ориентира и ведут наблюдение в направлении, по которому он должен открыться. В момент обнаружения ориентира берут его компасный пеленг, замечают время и ОЛ. Исправленный пеленг прокладывают на карте. Место судна получают на линии пеленга, отложив по нему рассчитанное расстояние. Точность опознанного места во многом зависит от состояния атмосферы.

Опознание места судна по пеленгу и глубине применяют, если с судна виден только один ориентир, а глубины в районе плавания изменяются равномерно. Берут компасный пеленг ориентира и одновременно измеряют глубину эхолотом. Место судна получают на пересече-

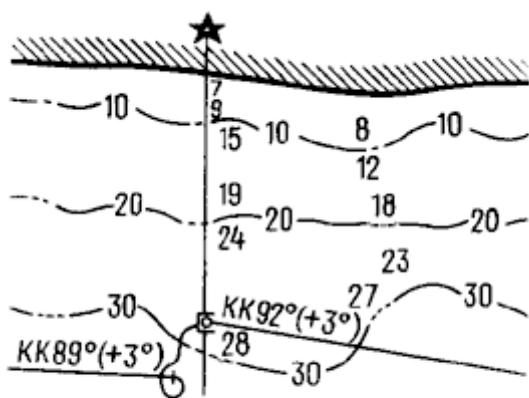


Рис. 6.37. Опознание места по пеленгу и глубине

нии линии исправленного пеленга с отрезком изобаты, соответствующей измеренной глубине. Изобату наносят, ориентируясь на отметки глубин на карте. Точность опознанного места будет тем выше, чем равномернее и ближе одна к другой изобаты.

6.29. Проработка перехода. Подбор карт, руководств и пособий для плавания

Проработка перехода является важнейшей частью штурманской подготовки к рейсу. Ее выполняют заблаговременно в порту получения рейсового задания. Проработка перехода включает в себя подбор карт, руководств и пособий для плавания, их корректирую, изучение района плавания, в том числе навигационной, гидрометеорологической и минной обстановки, выбор пути и выполнение предварительной прокладки.

Подбор карт на переход делает капитан или штурман по разделу «Карты» откорректированного Каталога карт и книг. Со сборного листа выбирают сборный лист, охватывающий весь район плавания, включая порты отхода и прихода. Намечают карандашом маршрут перехода от порта отхода до порта прихода и выписывают номера карт, через рамки которых проходит маршрут. Со сборного листа генеральных карт подбирают генеральную карту перехода. Кроме навигационных карт, из Каталога выбирают номера вспомогательных справочных и специальных карт. Для захода судна в порты, на рейды и якорные места подбирают планы. По выписанным номерам отбирают карты из судовой коллекции.

Подбор необходимых на переход Руководств и пособий для плавания осуществляется по сборным листам этих изданий, помещенным в Каталоге карт и книг в разделе «Книги». Если каких-либо карт или пособий, нужных в данном рейсе, в судовой коллекции не имеется, их следует получить в БЭРНК (базовые электронавигационные камеры) морского пароходства. Все подобранные на переход карты и пособия корректируют на день выхода в море с учетом последних выпусков ИМ ГУНиО МО (Извещение Мореплавателям Главное Управление навигации и океанографии министерства обороны), которые дополучают в БЭРНК или инспекции портового надзора вместе с прогнозом погоды. Отобранные навигационные карты укладывают в верхние ящики штурманского стола лицевой стороной вверх в том порядке, в каком ими будут пользоваться в рейсе. Первым сверху укладывают план порта отхода, затем

генеральную карту на район перехода, путевые карты и, наконец, план порта прихода. Лоции и дополнения к ним, книги «Огни и знаки», РТСНО, наставления для плавания, таблицы и другие издания, которые могут понадобиться в рейсе, хранят на полке у штурманского стола.

6.30. Изучение района плавания, выбор пути и предварительная прокладка

Изучение района плавания необходимо для выбора безопасного и выгодного пути судна. При этом нужно получить ясное представление об условиях плавания в районе перехода. Для этого по откорректированным картам и Руководствам выбирают сведения о таких навигационно-географических особенностях, как рельеф морского дна, характер изменения глубин, навигационные опасности и их ограждение, узкости, порты-убежища и т. д. По лоции, атласам и специальным картам изучают гидрометеорологический режим во время перехода: преобладающие ветры, вероятность туманов, возможность встречи со льдами, характер течений. При этом учитывают прогноз погоды по району плавания. Изучают также объявления об опасных от мин районах и фарватерах для плавания в них, о режимных районах, рекомендованных путях и системах разделения движения судов, публикуемые в выпуске № 1 ИМ. Устанавливают порядок и режим работы радиостанций, передающих гидрометеорологические сообщения, НАВАРЕА, ПРИП и НАВИП.

В результате тщательного изучения района плавания судоводитель получает необходимые данные для выбора наивыгоднейшего пути на переходе. Его намечают с учетом рекомендаций для плавания по оптимальным путям и прокладывают по генеральной карте. По проложенному маршруту выделяют зоны вероятного понижения видимости, штормов, появления льда и намечают меры по преодолению этих явлений. Рассчитывают протяженность плавания по линии пути и продолжительность рейса.

Следующим этапом проработки перехода является предварительная прокладка, выполняемая на путевых и частных картах и планах, на которых будет вестись в рейсе исполнительная прокладка. Курсы судна должны быть проложены из расчета обеспечения плавания не менее чем в течение двух суток. В дальнейшем предварительную прокладку продолжают на переходе. В процессе предварительной прокладки рекомендуется произвести подъем путевых и частных карт и планов. Подъем карты заключается в выделении на ней опасностей, проведении ограждающей изобаты, нанесении на карту границ секторов огней маяков, их дальности видимости с учетом своей высоты глаза и т. д. Магнитное склонение по всему пути судна приводят к году плавания и надписывают карандашом его значение у меридианов под верхней горизонтальной рамкой. При плавании вблизи берегов точки поворота на новые курсы следует выбирать по пеленгам ориентиров. Для районов с приливо-отливными явлениями рекомендуется заранее рассчитывать время наступления полной и малой вод, смены направлений течений, а также поправки глубин для портов и якорных стоянок. На каждом участке подбирают ориентиры, обеспечивающие наиболее надежное определение места судна.

Особое внимание уделяют выполнению предварительной прокладки для плавания в стесненных районах и на подходах к портам. В частности, при прокладке курсов учитывают требования местных правил, лоций, установленные системы разделения движения, принимают во внимание поправки на течение. Линии курсов прокладывают на безопасном рас-

стоянии от препятствий, на них отмечают точки начала и конца поворотов; проводят линии поворотных пеленгов на выбранные ориентиры. Там, где линии курсов проходят близко от опасностей, на карты наносят ограждающие изолинии: дуги опасных расстояний и углов, линии опасных пеленгов. На линии курсов надписывают их истинные значения. Измеряют плавание по каждому курсу и по путевой скорости определяют время следования по ним. С материалами проработки перехода знакомится весь штурманский состав судна.

6.31. Плавание при ограниченной видимости и в стеснённых условиях

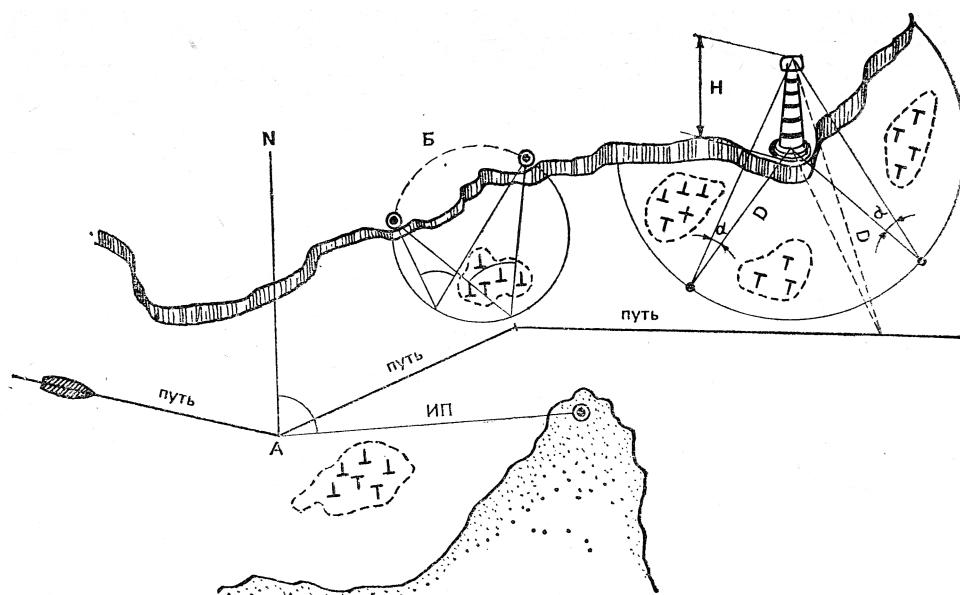


Рис. 6.38. Ограждающие (опасные) изолинии
ИП — опасный пеленг; β — горизонтальный угол опасности; D — опасное расстояние; α — вертикальный угол опасности

Малая видимость может возникнуть из-за осадков, пурги, тумана и составлять от нескольких кабельтовых до $20 \div 40$ м. В тумане становятся невидимы огни маяков, знаков, судов и другие средства навигационного обеспечения. Повышается вероятность столкновения с другими судами. При плавании в мелководном районе возникает опасность посадки яхты на мель.

При первых признаках снижения видимости и появления тумана капитан яхты должен надежно определить свое место и при необходимости изменить курс, чтобы обеспечить безопасное плавание в тумане или стать на якорь в районе, удаленном от рекомендованных курсов судов. Счисление пути в тумане должно вестись особенно тщательно, с учетом поправок приборов, а при необходимости дрейфа и течения. Участие в этом и контроль капитана яхты обязательны. В отсутствие лага периодически (ежечасно) измеряют скорость хода, чтобы учитывать ее при счислении. Необходимо постоянно контролировать свое место по GPS и как дополнительный контроль использовать эхолот, сверяя глубину с таковой на карте. Если есть радиолокатор — держать его включенным, контролируя пространство вокруг яхты.

Кроме того, при плавании в условиях малой видимости включают ходовые огни, держат у рулевого наготове мощный фонарь, ракетницу с белой звездой и фальшфейеры, поднимают радиолокационный отражатель, готовят к отдаче якорь и дают туманные сигналы согласно ППСС. Одновременно выставляют вперёдсмотрящего для наблюдения и прослушивания туманных сигналов судов и средств ограждения. На яхте соблюдается тишина. Если капитан яхты не уверен в безопасности плавания, то необходимо, когда возможно, отдать якорь и отстояться до уточнения обстановки.

К стеснённым условиям относят участки плавания вблизи берегов, островов, навигационных опасностей. Это могут быть проливы, шхеры, каналы и другие узкости. При плавании в стеснённых районах пользуются картами крупных масштабов. Предварительно тщательно изучают район предстоящего плавания, навигационную обстановку в нем, систему ограждения (берегового и плавучего), подбирают ведущие и секущие поворотные створы и места возможных якорных стоянок. Следует помнить, что в узостях повышается опасность столкновения, особенно на створах и фарватерах с активным движением судов и кораблей. При наличии двигателя такие участки проходят под мотором.

При проходе стесненных районов местность постоянно сличают с картой. Яхту ведут по рассчитанному *KK*, определяя место как пеленгованием, так и на глаз при проходе в непосредственной близости от опознанного плавучего знака. Опознавая имеющиеся на карте ориентиры — острова, мысы, знаки ограждения, замечают время (при наличии — и лаг), делают карандашом пометки на карте и в блокноте, одновременно выбирают с карты ориентиры, которые должны открыться, и ищут их в соответствующем направлении. Время и место всех поворотов отмечают карандашом на карте и записывают в блокнот, анализируя расхождение расчетных и фактических данных. Если есть лаг, сравнивают проходимые между знаками расстояния по лагу и по карте. По мере необходимости нужно проверять глубину лотом или эхолотом.

Надо помнить, что слепо полагаться на положение плавучих знаков нельзя, нужно подстраховывать их контрольными пеленгами, например, при каждом повороте. Для обеспечения безопасности плавания в узостях нередко применяют метод ограничительных (опасных) изолиний. Чаще применяют ограничительный пеленг. Для этого от хорошо видимого ориентира проводят на карте линию пеленга, ограничивающую опасность (рис. 6.38). При проходе мимо этой опасности следят, чтобы пеленги на этот ориентир были больше (меньше) ограждающего пеленга.

6.32. Судовой журнал и его ведение

Судовой журнал — единственный официальный документ на яхте в плавании. В нем отражают все навигационные и метеорологические элементы плавания, внешней обстановки и режима. В походах ведут его непрерывно с момента прибытия экипажа на яхту перед выходом и до окончания плавания. В случае гибели судна капитан должен принять меры к сохранению журнала.

На титульном листе журнала (см. рис. 6.39) пишут название яхты, яхт-клуб, порт приписки и даты начала и окончания ведения журнала. Следующие несколько листов содержат бланки различных навигационных таблиц и графиков. Среди них: таблицы и график девиации, таблица определения скорости по базе или способом «голландского лага», поправки лага, таблица значений углов дрейфа.

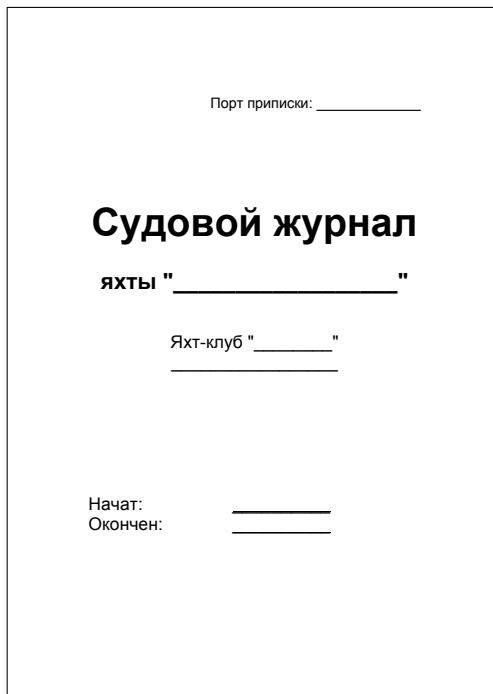


Рис. 6.39. Образец титульной страницы судового журнала

Записи в судовом журнале делает вахтенный начальник — он ставит в нем свои подписи при приеме и сдаче вахты. Капитан яхты несет ответственность за своевременное и исчерпывающее заполнение всех граф журнала.

С началом плавания на первой странице в верхней строке пишут название пункта отхода, дату и месяц. Затем время снятия с якоря и швартов, цель и маршрут плавания состав экипажа с указанием должностей, данные о ветре, волнении, видимости и поставленных парусах либо о включении двигателя и эволюциях яхты при выходе из гавани. Далее на той же правой странице (см. рис. 6.43) должны идти записи о прохождении фарватеров и траверзов, вех, буев, знаков с указанием их названий, расстояний и борта прохождения знаков (правый, левый), а также следующие сведения:

- курсы относительно ветра и компасного меридиана и их изменение;
- прохождение створов с указанием *КП* створа и ΔMK ;
- способы обсервации с указанием объектов наблюдений, значение измеренных навигационных параметров и поправок приборов, величина и направление невязки, суждение о ней и решение о принятии в расчет полученной обсервации;
- значение отдельных измеренных навигационных параметров на ориентиры и их название;
- работа с парусами (смена, рифление, уборка и т. п.);
- изменение направления и силы ветра, волнения, видимости;
- моменты начала и окончания учета дрейфа с указанием знака и величины угла α ;
- моменты начала и окончания учета сноса от течения с указанием направления и величины вектора течения, а также знака и величины угла β ;
- результаты измерения скорости хода с указанием способа измерения;

СУДОВОЙ ЖУРНАЛ

Тип и название судна.

Владелец судна

Капитан

Порт приписки

Судовой билет №

Начат.....

ахт-клуб

Выдан.....

Закончен.....

Инструкция по заполнению:

- Судовой журнальный листок является обязательным и основным навигационным документом, служащим для фиксирования всего, что касается судна и его экипажа во время плавания. В походах ведут его непрерывно с момента прибытия экипажа на ходу перед выходом и до окончания плавания. В случае гибели судна капитан должен принять меры с сохранением журнала.
- Записи в судовом журнале делает вахтенный начальник – он ставит в нем свои подпись при приеме и сдаче вахты. Капитан акт несет ответственность за содержание записей и правильность их оформления всех языках журнала.
- С началом плавания на первой странице в верхней строке пишут название пункта отхода, дату и месяц. Затем время снятия с якоря и швартов, цель и маршрут плавания состав монитажа с указанием должностных, данных о вете, волнении, видимости и поставленных парусах либо о включении двигателей и эволюциях яхты при выходе из гавани.
- Виды плавания в судовом журнале делают аккуратно простым карандашом. Страницы обмываются, записи зачеркнуты. В языках, кроме английской, головой линии, заключают в скобки, дают смысл «переведут», и ведущий журнальный листок становится подпись.
- Левая страница журнала заполняется в соответствии с ее графиком при каждом изменении времени, места плавания, состояния погоды и т.д. Правая страница в узлах, в условиях, требующих непрерывного или частого изменения курса, в графе «Курс» пишут «переменный». В графе «Град» пишут его отчет или (если его нет) скорость в узлах. В графе «Примечания» указывают навигационные и метеорологические данные (число, дрейф, поправка компаса, направление и сила ветра, видимость, температура, давление, облачность и т.д.).
- На правой странице судовому журнальному листку указываются все промежуточки и события, полученные для воспроизведения условия плавания, стоянок и всяких промежуточек. Ими являются время и место швартовки и отшвартовки, постановки на якорь и снятие с якоря, маневры парусами или двигателями; результаты проверки глубин, положение определенных линейных знаков, счищенных или иными методами; время прохождения трапеций, измерения высоты и других измерений; время подъема и опускания якоря, времени выставления яхты на ход, время прибытия судна; время передач сигналов и знаков требуемых МПСК или правилами судоходства в соответствующем районе; изменения времени; географические координаты на данное время; стоянка экипажа и смена в его составе; прохождение таможенного и пограничного контроля; бункерование; состояние запасов на судне; отключение воды из трюма; предупреждения, сопровождения на судне; жалобы и заявления экипажа; случаи рожений и смерти; несчастные случаи с судном или экипажем; проведенные аварийные учения; портовые оплаты и т. п.

Рис. 6.40. Вторая страница судового журнала с
описание правил ведения

- время вхождения в полосу тумана и принятые меры;
 - подача туманных сигналов;
 - включение ходовых огней;
 - судовые работы;
 - время и место досмотра яхты кораблями погранвойск;
 - случаи несоответствия навигационного ограждения в районе плавания данным карт и пособий;
 - касание грунта, посадка на мель и снятие с нее;
 - аварии, поломки рангоута, частей корпуса, приборов, случаи разрыва парусов, такелажа и утраты имущества;
 - случаи перехода на другую карту с указанием координат точки перехода;
 - вход в стесненный район, гавань, канал;
 - спуск на воду рабочего тузика и подъем его;
 - постановка на якорь, глубина и грунт в районе отдачи якоря, длина вытравленного якорного каната, компасные пеленги на береговые ориентиры и т. д.

Все записи на правой странице журнала привязывают ко времени, а если есть лаг, записи навигационных элементов содержат также отсчеты лага.

Левая страница журнала (см. рис. 6.42) заполняется в соответствии с ее графиками при каждом изменении курса и смене вахты. При плавании в узостях в условиях, требующих непрерывного или частого изменения курса, в графе «Курс» пишут «пер» (переменный). При наличии лага его отсчет пишут в графе «Лаг»; если лага нет, пишут скорость в узлах.

Рис. 6.42. Левая страница судового журнала

Рис. 6.43. Правая страница судового журнала

Правая и левая страницы связаны между собой по времени, и если одна из них заполнена полностью, то на оставшемся свободном месте другой страницы проставляют «Z» и следующие записи продолжают на новых страницах.

Во время вахты записи часто ведут в черновом блокноте, а затем к сдаче вахты переносят их в судовой журнал. По окончании каждого перехода капитан яхты (штурман) записывает на левой странице пройденное за время перехода расстояние по генеральному курсу и фактическое число ходовых часов (с учетом лавировки), среднюю скорость по генеральному курсу и по проекции.

Все записи в судовом журнале делают аккуратно простым карандашом. Стирать ошибочные записи запрещается. Ошибки в записях зачеркивают тонкой линией, заключают в скобки, делают сноску «зачеркнуто», и ведущий журнал ставит свою подпись.

6.33. Если яхта на переходе лишилась приборов

На сегодняшний день, системы GPS стали доступнее и дешевле секстанов, не говоря уже об удобстве пользования ими. Подкупает точность прибора, обилие выдаваемых данных и готовность к работе в любое время суток при любых метеоусловиях. При этом, штурманская работа обычно сводится к планированию перехода и, в процессе его, графическому нанесению определённых прибором точек на карту, для визуального контроля истинного положения судна относительно линии генерального курса. Такая практика принята даже на больших коммерческих судах, не говоря уже о яхтах. При этом на яхтах обычно не утружают себя определением девиации — ведь при ведении яхты на дисплее GPS всегда отразится абсолютное значение расхождения курса яхты и путевого угла, и это значение сразу компенсируется соответствующей командой рулевому.

Однако, чем сложнее система, тем выше вероятность того, что сбои в ее работе окажутся незамеченными. Существенное дестабилизирующее влияние на работу электронной навигационной аппаратуры оказывают многие факторы: колебания питающих напряжений, повышенная влажность, грозы, полярные сияния, магнитные бури, сбои в приеме сигналов из-за повреждения антенны. В исключительных случаях все приборы, включая компас, просто могут выйти из строя. И вот к такому повороту событий судоводитель частенько оказывается психологически не готов.

Итак, в результате уникального сочетания природных катаклизмов и человеческих ошибок (далее «ЧП» — чрезвычайного происшествия), яхта лишилась части (или даже всех) приборов. Что делать?

Основное правило — не теряйте спокойствия. Катастрофы не произошло, всего-навсего у вас несколько поубавилось средств ориентации. Но оставшихся вполне достаточно для безаварийного окончания перехода!

Прежде всего, проанализируйте все данные, которыми вы располагаете, а именно:

- исправность курсоуказателя;
- текущее местоположение и точность его определения;
- расстояние до пункта прибытия и сложность навигационной обстановки по ходу.

Курсоуказатель. По принятым на данный момент нормам снабжения яхты на борту должно находиться 2 компаса и крайне маловероятно, чтобы сразу оба вышли из строя. Однако возможность такого события не исключена. Надо лечь на любой курс, выдерживая его по колдунчикам или другим удобным для рулевого указателям, и пронаблюдайте за показаниями компасов (компаса). В результате визуальной проверки вы можете установить одно из трёх:

- компасы целы и, судя по идентичности показаний, исправны;
- работает (судя по стабильности показаний и уверенного отслеживания манёвров яхты) один компас, но точность его показаний под сомнением;
- компасы не работают (размагничены, разбиты, утеряны и т. п.).

Текущее местоположение. Нанесите на карту последнее определённое по GPS, либо другим надёжным способом, место. Сделайте графическую прокладку от неё до точки вашего нахождения на данный момент. Оцените радиус возможной погрешности и прочертите этим радиусом круг вашего местоположения.

По карте определите компасный курс и расстояние от вашего местоположения до пункта назначения. Оцените, насколько опасен в навигационном отношении путь — мели, рифы, затонувшие корабли и т. п. Посмотрите на карте и по лоции расположение в вашем районе больших портов и оживлённых морских путей (проходящие суда — это замечательные ориентиры, если знать откуда и куда они направляются).

Организуйте приемлемый для вас метод измерения скорости. Это может быть самодельный лаг, по типу традиционного секторного, или же измерения способом «по базе» (или же «голландский лаг», т. е. за базу принимается длина яхты и засекается секундомером прохождение щепки от носа до кормы, результат пересчитывается в узлы). Если принимается решение сделать ручной лаг (его точность гораздо выше, чем у «голландского»), то удобно задать расстояние между двумя мерными марками (т. е. «базу» лага) равное 30,88 м. Тогда

прохождению «базы» за 60 секунд будет соответствовать скорость в 1 узел, 30 секунд — 2 узла и т.д. (см. таблицу):

Время, с	Скорость, уз	Время, с	Скорость, уз
60	1,0	12	5,0
40	1,5	11	5,5
30	2,0	10	6,0
25	2,5	9	6,5
20	3,0	8	7,5
17	3,5	7	8,5
15	4,0	6	9,5

Теперь трезво оцените все собранные данные с точки зрения безопасности продолжения перехода по прежнему маршруту.

Если компас у вас вне подозрений, на вашем пути нет особых опасностей, а пункт вашего прихода является оживлённым портом — можете смело продолжать переход по прежнему плану, производя графическую прокладку на карте.

Если подход к берегу требует точности (обилие навигационных опасностей, незнакомый пустынnyй берег и т. д.) и/или компас под подозрением, то надо продумать шаги для уточнения своего местоположения по ходу. К примеру, если неподалёку от вашего генерально-го курса есть чёткие ориентиры (выступающие в море мысы, освещённые буровые вышки, маяки и т. д.), вероятно, стоит отклониться от курса во имя возможности визуальных обсерваций. Возможно, стоит проложить курс не на конечную цель перехода, а на ближний к ней хорошо опознаваемый ориентир (порт, мыс, маяк и т. д.), и уже после надёжного его опознавания идти вдоль берега в конечный пункт, контролируя место визуальными определениями. В каждом случае производится скрупулезный учёт всех параметров движения и делается графическая прокладка, с учётом возможного накопления ошибок счисления.

Но если ваш путь изобилует навигационными опасностями, а на яхте нет даже компаса, то, возможно, есть смысл проложить путь на ближайший порт с безопасным подходом, а там отремонтировать компас, или же идти в пункт назначения в каботажном режиме, производя обсервации по береговым ориентирам.

Средства ориентирования при следовании без компаса:

- по небесным светилам — солнце, полярная звёзда;
- по проходящим судам — если достоверно известно направление их движения, исходя из близости крупных портов, стратегических проливов, устьев судоходных рек;
- по направлению на известные широковещательные радиостанции — если точно известно их местонахождение. При этом пользуются обыкновенным транзисторным приемником. Его ферритовая антенна обладает направленной диаграммой приема. Максимум приема находится по перпендикуляру к оси антенны, минимум — по оси. Пеленгуют на диапазонах СВ или ДВ, после опознания станции «ловят» направление на неё **по минимуму слышимости**.

Используйте все эти и любые другие представившиеся возможности для уточнения курса. И, при этом, сразу «привязывайте» нужный вам курс к направлению ветра и волны. Хороший рулевой может выдерживать курс по колдунчиках (или по передней шкаторине стакселя) длительное время и с достаточной точностью, не хуже чем по компасу, особенно на острых курсах. А стабильность направления ветра контролируйте по волне, которая

инерционна по определению, и внезапно изменить направление своего движения не может (исключая подход принципиально другой волновой системы, сформированной в другом районе моря, но это всегда видно).

Если предстоит чистая лавировка (длительность галсов примерно равна), то идите по передней шкаторине галсами, которые численно равны по времени.

В любом случае, спланируйте ваш путь таким образом, чтобы оказаться в районе повышенного внимания (подход к неосвещённому низкому берегу, район навигационных опасностей и т. д.) по возможности **в светлое время суток**.

Переход. В любом избранном вами варианте, в простых или сложных условиях, с компасом или без него, постоянно анализируйте изменения в окружающей обстановке с целью получить дополнительную информацию. Вот примеры:

- **Изменение цвета и прозрачности воды.** Чаще всего это означает близость устья крупных рек, вода которой отличается от морской по цвету и прозрачности. Такой же эффект может наблюдаться после шторма вблизи берега с илистым дном. На карте выделите возможный район распространение воды реки с учётом местных течений, примите во внимание сводки погоды и — делайте выводы.
- **Появление плавающих предметов, травы, водорослей, плавника** также служит одним из признаков близости берега. Обилие промышленного мусора частенько свидетельствует о близости порта, в частности, с оживлённым движением. И хотя плавающие водоросли и различные обломки могут встречаться и в значительном удалении от берега (учтите течения!), в условиях ограниченной видимости следует считать их признаками непосредственной близости берега.
- **Изменение характера волнения моря при сохранении общего направления и силы ветра.** Во-первых, с уменьшением глубины волна становится более крутой и беспорядочной по внешнему виду, поскольку уменьшается длина волн, а высота ее растет. Во-вторых, если ветер с берега, то при приближении яхты к нему волна, лишаясь разгона, будет уменьшаться. В-третьих, усиление волнения вблизи берегов служит признаком того, что с наветренной стороны судна имеется значительный разрыв береговой черты — залив, лиман, устье крупной реки. В-четвёртых, если волна, идущая с моря встречается с течением, то крутизна её ощутимо возрастает — обычное явление неподалёку от устья реки.
- **Местные изменения направления ветра**, сопровождающиеся его усилением, могут наблюдаться при прохождении судна в непосредственной близости от глубоких лощин, ущелий, заливов, при входах в узости, около низких перешейков высоких скалистых мысов и т. п. Вблизи высокого ровного берега, ветер практически всегда ослабнет. Об этом необходимо помнить в туман и ночь!
- **Появление в значительном количестве морских птиц и зверя.** В хорошую погоду птицы залетают далеко в море, но при штормовой погоде они держатся ближе к берегу.
- **Шум прибоя** при штилевой погоде может быть слышен на значительном расстоянии, особенно при мертвой зыби. При штормовой погоде шум прибоя в большинстве случаев также может быть услышан на расстоянии, достаточном для принятия решения. Сама полоса прибоя у берегов, выделяясь своей белизной, видна даже в очень тёмную ночь. Иногда она может быть замечена судоводителем значительно раньше, чем берег, в частности, когда последний низок и окрашен в тусклые тона.

6.34. Штурманское снабжение крейсерских яхт

Современные крейсерские яхты должны быть снабжены штурманскими приборами и инструментом, необходимым для навигационного обеспечения дальних морских плаваний в различных метеорологических условиях. В комплект штурманского имущества входят:

- компасы и пеленгаторы;
- приборы для измерения скорости в пройденного расстояния;
- часы;
- секундомеры;
- приборы и инструменты для измерения глубины под килем;
- секстаны;
- приборы спутниковой навигации (GPS);
- транзисторный приемник для приема сводок погоды и сигналов точного времени;
- бинокль;
- прокладочный инструмент;
- гидрометеоприборы;
- пиротехника;
- туманный горн.

6.35. Магнитный компас, его устройство и установка на яхте

Магнитные компасы по своему назначению делят на **главные** и **путевые**.

Главный компас является основным прибором, служащим для непрерывного указания курса и пеленгования в целях определения своего места в море. Его устанавливают в диаметральной плоскости яхты, в наиболее открытой части палубы, обеспечивающей хороший круговой обзор и удобство работы.

Путевой компас устанавливают перед рулевым, который ведет яхту по заданному курсу.

Основными деталями стандартных 127 и 100 мм магнитных компасов являются котелок с картушкой, пеленгатор, нактоуз и девиационный прибор, служащий для компенсации влияния судового железа на его показания. На яхтах, как правило, компасы устанавливают без нактоузов и девиационных приборов на пружинных подвесах, закрепленных в латунной шейке компаса или на кронштейне.

Главной частью котелка (рис. ??) является картушка (2), магнитная система которой состоит из шести магнитных стрелок (4), находящихся в латунных пеналах, припаянных к донной части пустотелого поплавка (3) и расположенных симметрично линии $0 \div 180^\circ$ картушки. К поплавку крепится латунный ободок, к которому прикреплен диск из слюды с наклеенным на него бумажным диском, разделенным на 360° . В центре поплавка находится сапфировая или агатовая чашечка — топка (5), опирающаяся на острие шпильки (6), укрепленной в корпусе котелка. Латунный корпус котелка разделен на две камеры — основную (верхнюю) и дополнительную (нижнюю). Дном дополнительной камеры является латунная диафрагма (8), в которую вставлена центральная втулка с герметически завинчивающейся пробкой (9). Через втулку с помощью специальной отвертки можно заменить шпильку.

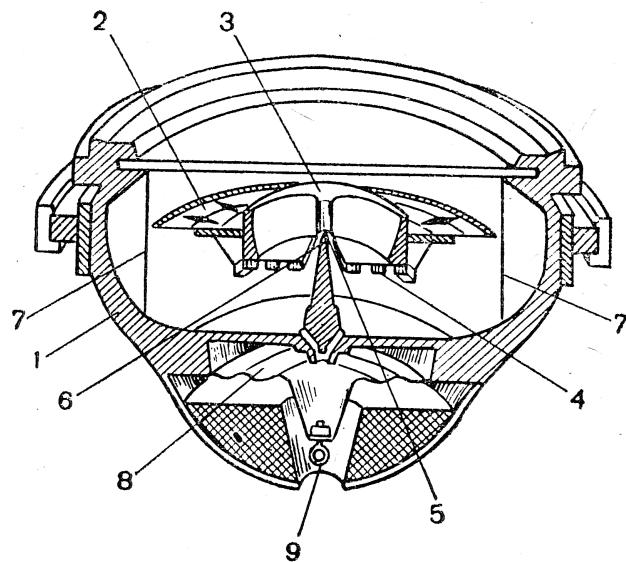


Рис. 6.44. Разрез котелка магнитного компаса

1 — корпус; 2 — картушка; 3 — поплавок; 4 — стрелки; 5 — топка; 6 — шпилька; 7 — курсовые нити; 8 — диафрагма; 9 — пробка

Котелок заливт раствором спирта, в котором благодаря поплавку, уменьшающему вес картушки до $4 \pm 0,5$ грамма, трение о шпильку значительно уменьшается. У внутренних стенок корпуса котелка укреплены носовая и кормовая нити (7).

Вертикальная плоскость, проходящая через курсовые нити, является продольной плоскостью котелка. Эта плоскость должна совпадать с диаметральной плоскостью яхты. Кроме того, носовая нить является индексом для отсчета курса яхты.

К корпусу котелка снизу крепится чашка со свинцовым грузом. В чашке имеется гнездо для патрона с электрической лампочкой, служащей для подсветки картушки компаса. Центр тяжести картушки со стрелками расположен ниже точки опоры, поэтому стрелки всегда находятся в горизонтальном положении, испытывая полное влияние силы земного магнетизма.

Сверху котелок герметически закрывается толстым стеклом, которое прижимается к нему азимутальным кольцом для отсчета курсовых углов, имеющим деления от 0 до 360° . На любом курсе яхты стрелки и линия $N - S$ картушки остаются в плоскости компасного меридиана. Котелок находится в кардановом устройстве, обеспечивающем его равновесное положение, и устанавливается в подвесе так, чтобы 0° азимутального кольца был обращен к носу, а 180° — к корме.

По окончании навигации котелки магнитных компасов вынимают на зимнее хранение, контрольную проверку и (в случае необходимости) на ремонт. При появлении в верхней камере котелка воздушного пузыря котелок вынимают из пружинного подвеса, переворачивают вверх дном и плавно покачивают, чтобы пузырек перешел в дополнительную камеру. Если таким образом воздушный пузырек удалить не удается, в котелок доливают компасную жидкость. При обнаружении застоя картушки необходимо заменить шпильку. Для этого котелок вынимают из подвеса, ставят вверх дном, снимают чашку с грузом и вывинчивают пробку диафрагмы. Затем специальной отверткой из комплекта компаса вращением против часовой стрелки вывинчивают шпильку. Если после замены шпильки застой картушки сохранится, котелок нужно сдать в ремонт.

На сегодняшний день на яхтах получили распространение компактные компасы без карданового подвеса. Внутри герметичного прозрачного корпуса, который посредством фланца крепится к палубе или переборке, в компасной жидкости плавает подвижная система с картушкой. Подвижная система отрабатывает крен яхты, заменяя таким образом кардан, а картушка с магнитными стрелками отслеживает направление магнитного меридиана. Часто в корпус встроена подсветка. Такие компасы обеспечивают меньшую устойчивость при качке и разброс показаний при этом достигает 5 градусов. Но такой же величины достигает на волне рыскание яхты, поэтому в большей стабильности компаса особого смысла нет, зато компактность и простота установки с лихвой компенсируют этот недостаток. Корпус компаса неразборный и в случае разгерметизации восстановлению не подлежит.

Используются также электронные компасы, которые конструктивно состоят из блока датчиков, соединённого кабелем с репитером. К основным преимуществам таких компасов относится удобство считывания информации рулевым, возможность установки вспомогательного репитера над штурманским столом и возможность расположения датчиков компаса максимально далеко от судового железа, минимизируя таким образом девиацию.

6.36. Пеленгаторы

Используются для определения пеленгов и курсовых углов. Существуют как насадки на главный компас и ручные оптические либо электронные.

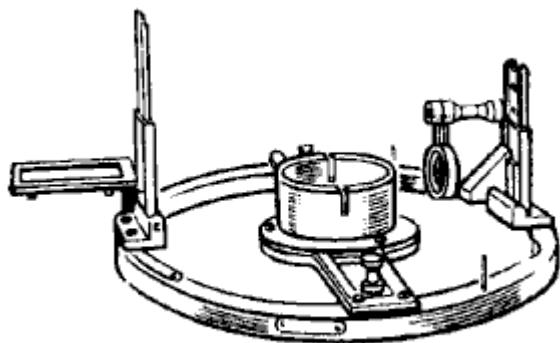


Рис. 6.45. Пеленгатор обыкновенный

На основании пеленгатора, **насадки на компас**, установлены глазная и предметная мишени, а в центре — съемная чашка для дефлектора (прибора для проведения работ по уничтожению девиации). Вертикальная плоскость, проходящая через прорезь глазной и нить предметной мишени и центра пеленгатора, называется визирной плоскостью. При определении направлений на ориентиры следует помнить, что снимаемый пеленгатором отсчет является обратным компасным пеленгом. При определении курсового угла с использованием пеленгатора отсчет снимают с азимутального кольца котелка компаса против индекса пеленгатора, находящегося слева от глазной мишени. Азимутальное кольцо и пеленгатор периодически протирают и смазывают вазелином.

Ручные оптические пеленгаторы представляют собой небольшой компас, совмещённый с визирным устройством и ручкой. Держа прибор за ручку, наводят визир на ориентир и считывают показания компаса. Такие пеленгаторы чуть менее точны, чем пеленгаторы-насадки,

но ими можно пользоваться при любом крене и в любой точке яхты, таким образом, для них нет «мёртвых секторов пеленгования».

Электронные пеленгаторы являются по сути усовершенствованными вариантами ручных оптических. Обычно они имеют память пеленгов, что позволяет максимально упростить пеленгование: достаточно лишь навести визир на ориентир и нажать на кнопку. На индикаторе высветится значение пеленга. Часто пеленгаторы имеют электронную память на несколько пеленгов, позволяя таким образом в считанные секунды взять пеленги для обсервации по трём ориентирам.

6.37. Измерение скорости и пройденного расстояния

Для того чтобы систематически контролировать положение судна и определять его скорость, на яхтах используют вертушечные электронно-механические и индукционные лаги.

Датчиком лага первого типа служит вращающаяся в набегающем потоке воды крыльчатка (вертушка), на оси которой закреплен постоянный магнит, вызывающий периодическое замыкание электрического контакта с частотой, равной частоте вращения крыльчатки. Шаг крыльчатки рассчитан таким образом, чтобы она делала заданное число оборотов за одну милю пройденного расстояния.

Как и всякие приборы, все лаги имеют некоторые погрешности. Поэтому для получения действительного расстояния, пройденного судном, необходимо расстояние, измеренное лагом, исправить соответствующей поправкой. Поправку лага выражают через коэффициент лага K_L , который вычисляется с точностью до 0,01 по формуле:

$$K_L = \frac{S}{OL_2 - OL_1} \quad (6.52)$$

где: S — действительное расстояние пройденное яхтой, $OL_2 - OL_1$ — разница отсчётов лага на этом расстоянии.

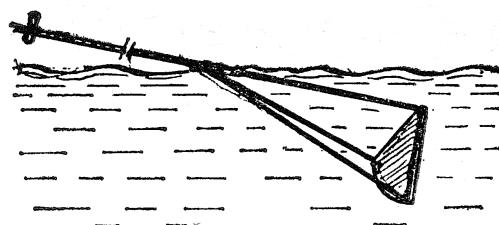


Рис. 6.46. Секторный лаг

При отсутствии на яхте лага определить ее скорость можно, одновременно измеряя время и расстояние (базу). Для этого нужно изготовить прибор в виде секторного лага (рис. ??), но вместо узлов на лаглине вплести только одну цветную марку на расстоянии 20 м от сектора. Для того чтобы измерить скорость, сектор опускают за борт и при прохождении кормового среза пускают секундомер. Останавливают секундомер, когда через этот же срез пройдет цветная марка. Скорость яхты на галсе вычисляется по формуле:

$$v = \frac{S}{t}, \text{ м/с} \quad (6.53)$$

S — длина базы в метрах, t — время прохождения базы в секундах. Если $S = 20^{\text{м}}$, тогда приближённо: $v = 40/t$, узлы.

По этой формуле на каждой яхте должна быть рассчитана таблица или номограмма для определения скорости судна по известной базе.

Аргументом для входа в таблицу (номограмму) является время t прохождения базы в секундах. Вместо такого прибора можно использовать заполненную до половины бутылку с лаглином, закрепленным на горлышке.

Иногда измеряют скорость с помощью так называемого **голландского лага**. В этом случае базой является длина яхты, а для измерения времени t секундомер запускают и останавливают при прохождении форштевня и кормы мимо сброшенного на воду небольшого предмета (чурки и т. п.). В целях уменьшения случайных ошибок измерение обычно повторяют несколько раз (не менее трех). Вычисление производят аналогично по формуле, предварительно измерив длину яхты и рассчитав проходимую за время t базу S .

При плавании в видимости береговых ориентиров скорость яхты измеряют по навигационным обсервациям и вычисляют по формуле. При недостатке ориентиров для обсерваций с достаточной точностью оценивают скорость яхты при плавании на одном курсе между траверзами двух ориентиров, нанесенных на карту.

6.38. Приборы для измерения глубины

Работа эхолота основана на пьезоэлектрическом эффекте. Эхолот имеет вибратор-излучатель и вибратор-приемник. Первый излучает под водой механические колебания в виде коротких ультразвуковых импульсов, которые доходят до дна, отражаются от него и принимаются вибратором-приемником. По известному промежутку времени между посылкой и приемом отраженного от дна импульса и скорости распространения звука в воде автоматически вычисляется и указывается на шкале эхолота глубина под килем. Многие эхолоты имеют самописцы, ведущие запись глубины во времени.

Ручной лот применяют для измерения малых глубин при скорости хода до 5 узлов или при стоянке на якоре для определения дрейфа. Он позволяет определить характер грунта. Ручной лот (см. рис. ??) состоит из свинцовой или чугунной гири ($3 \div 4$ кг) и пенькового бельного линя (диаметром 1 мм) кабельной работы — лотлиня, на котором гиря опускается в воду. Гиря в виде конуса или пирамиды (высотой $15 \div 20$ см и диаметром у основания $5 \div 7$ см) имеет вверху проушину, в которую продевается обшитая кожей стропка из стального троса. В нее ввязывается огон лотлиня. В основании гири имеется лунка с поперечным сечением в виде ласточкина хвоста, куда вмазывается смесь сала с толченым мелом, к которой пристают частицы грунта. Длина лотлиня — 25 м.

При плавании в районах с глубинами менее 4 м для определения глубины на яхтах часто пользуются **футштоком**.

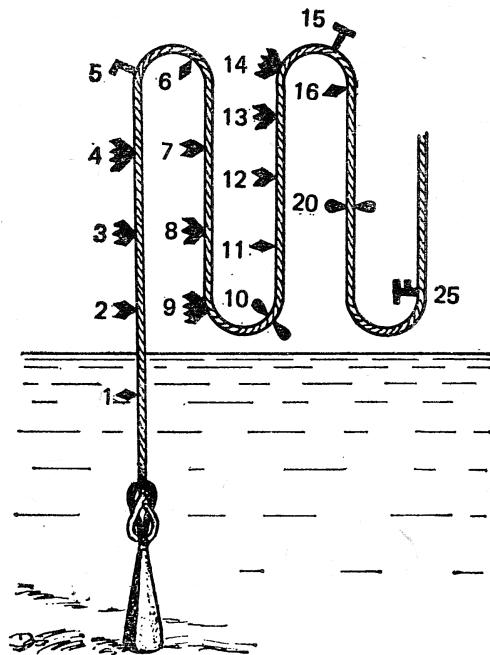


Рис. 6.47. Ручной лот

6.39. Спутниковые системы навигации (GPS)

Спутниковые навигационные системы включают три элемента: космический (навигационные ИСЗ), наземный (комплекс управления спутниками) и оборудование пользователей. Технической основой СРНС и источником навигационной информации являются 24 ИСЗ, вращающиеся на высоте 20000 км с периодом обращения 12 час и равномерно «покрывающие» всю земную поверхность. Спутники GPS способны, передвигаясь заполнять бреши в системе (если один из них вышел из строя).

Принцип действия. Сигналы спутника содержат два вида информации: «навигационные сообщения» и «псевдослучайный код». Код представляет собой последовательность единиц и нулей, на первый взгляд случайную, но изменяющуюся по сложному закону, индивидуальному для каждого спутника (рис.6.48).



Рис. 6.48. Псевдослучайный код (двоичный, состоящий из 0 и 1)

Генерация «псевдослучайного кода» привязана к шкале времени ИСЗ, точность которой обеспечена высокоточными атомными часами (рубидиевые и цезиевые, по четыре на каждом спутнике). «Навигационные сообщения» — это данные об исправности спутника и параметры его орбиты (эфемериды) — коэффициенты, которые регулярно уточняются в результате взаимодействия с наземным комплексом управления спутниками.

Приёмник GPS также содержит генератор, который может повторить «псевдослучайный код» любого из спутников. Работа генератора привязана к кварцевым часам приёмника.

Итак, на приёмник поступают сигналы со спутника. Дешифруя эти сигналы, приёмник идентифицирует его номер и по эфемеридам вычисляет текущее и будущее положение данного спутника, используя математическую Кеплеровскую модель. В это же время в приёмнике запускается генератор кода, точно повторяющего код спутника. При сопоставлении своего кода с кодом, принимаемым от спутника, определяется суммарный временной сдвиг, состоящий из двух слагаемых: задержки времени, пропорциональной дальности до спутника и набегающей погрешности хода кварцевых часов приемника.

Приемник GPS имеет программу, которая производит вычисления основываясь на трех линиях положения (т. е. по данным, полученным от трёх спутников). Математически это решение трех уравнений для трех неизвестных: долготы, широты и ошибки часов.

В итоге, для определения двухмерных координат приёмнику необходимы как минимум три спутника, для трехмерных – четыре.

Точность. GPS приёмник при нормальных условиях эксплуатации обеспечивает точность порядка 15 метров. Скорость индицируется с точностью не хуже 0,12 узла¹.

ВНИМАНИЕ! Министерство Обороны США, в чьём подчинении находится отдел технического обслуживания спутников системы GPS, может ввести в действие режим селективного доступа к данным, при этом точность определения для обычных пользователей падает до 100 метров и более.

Следует также иметь в виду, что приведённую выше точность прибор обеспечит лишь в том случае, когда между его антенной и спутниками нет источников помех и поблизости нет источников отражённых сигналов. На яхте такими источниками обычно являются тросы стоячего такелажа. Чтобы избежать помех необходимо антенну приёмника вынести на топ мачты, либо на стойку, укреплённую на релинге.

По этим же причинам не стоит размещать антенну прибора непосредственно около металлических предметов и наклеивать на неё наклейки. Если на яхте используется ручной прибор, и нет возможности вынести его антенну, то при определении места следует учитывать возможность ошибки порядка 150 метров.

Ещё одно требование: расстояние антенны GPS от антенны морского передатчика мощностью 25 Ватт должно быть не меньше 1 метра.

Координатные системы карт (Map Datum). По историческим причинам геодезические департаменты разных стран используют различные модели земного шара. Карты, составленные по разным моделям, дают разные координаты одного и то-же места. Эта разница может достигать 500 метров.

В память приёмника GPS обычно занесено несколько координатных системах (Map Datum). По умолчанию установлена WGS84 (ещё есть WGS72, OSGB36, NAD27 и другие). Если одна из этих систем соответствует координатной системе Вашей навигационной карты, то следует её активировать.

Если координатная система Вашей карты неизвестна, то лучше пользоваться WGS84. При каждом удобном случае сравнивайте координаты надёжного ориентира, отмеченного на карте с координатами, определёнными в этой же точке приёмником GPS. Направление и величина невязки записываются в вахтенный журнал и учитываются при работе с GPS.

Первичная инициализация. Для определения координат прибор нуждается в знании текущей даты, времени и примерного местоположения на Земном шаре с точностью до 300 км. Поэтому при первом включении, либо после длительного хранения без батарей, прибор нужно инициализировать (см. инструкцию).

¹примечание: минимальная скорость, при которой прибор индицирует её значение - 2 узла

Работа прибора. После включения GPS находит своё местоположение и начинает периодически его сканировать, отслеживая изменение координат, вычисляя при этом скорость V и курс яхты IK (или MK , см. инструкцию).

В каждом современном приёмнике GPS есть функция запоминания координат. При этом позиция записывается под выбранным пользователем именем в библиотеку путевых точек (в разных моделях GPS обозначаемых как «WPT» или «LMK»). Записать можно как текущие координаты, так и любые введённые по данным с навигационной карты. Если после этого инициировать функцию достижения предварительно введённой путевой точки, то прибор начнёт непрерывно индицировать дополнительные данные относительно неё, а именно:

- истинный или магнитный пеленг на путевую точку $ИП$ ($МП$);
- оставшееся до точки расстояние D ;
- расчётное время достижения точки (при условии неизменности скорости) TTG .

Ещё больше информации выдаст прибор при активации маршрута. Каждый приёмник GPS имеет память на как минимум один маршрут, который штурман заранее вводит в память, путём указания запрограммированных путевых точек в последовательности соответствующей предварительной прокладке предполагаемого пути. При активации выполнения маршрута прибор, сравнивая текущее место яхты с заданной линией пути по предварительной прокладке, кроме всего вышеперечисленного выдаёт также текущее расстояние яхты от заданной линии пути XTE и направление и величину коррекции курса для выхода на эту линию пути.

6.40. Задачи, решаемые при помощи GPS

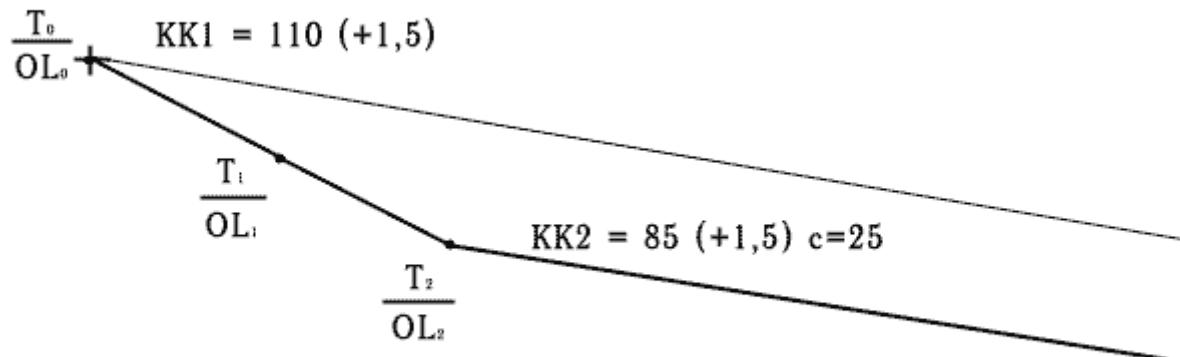


Рис. 6.49. Коррекция курса яхты с использованием GPS

Коррекция курса яхты. Во время следования по линии генерального курса в точку назначения, периодически определяют местоположение при помощи GPS и наносят на карту. Если полученная таким образом линия пути отличается от линии истинного курса на какой-то угол, то этот угол вычитают из компасного курса. Продолжают путь по откорректированному значению KK , продолжая периодически контролировать местоположение (см. рис. 6.49):

Контроль счисления пути. Штурман яхты, проложив на карте линию пути с учетом склонения, дрейфа и течения, имеет возможность в любое время снять координаты с дисплея GPS

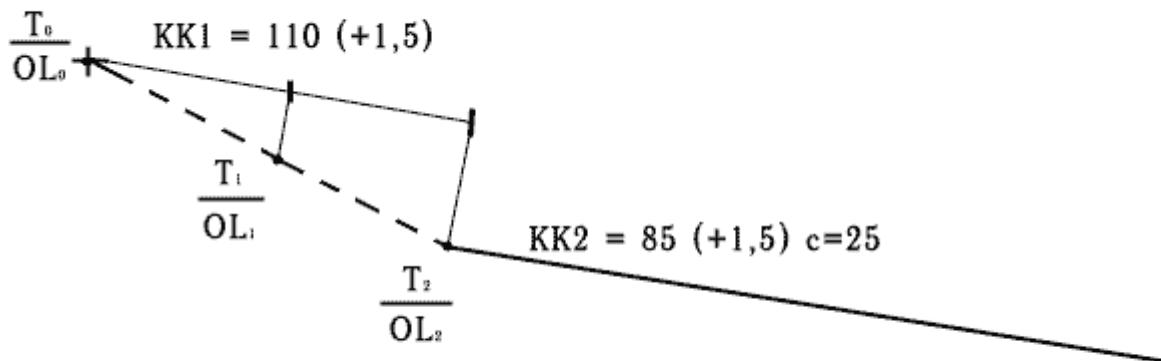


Рис. 6.50. Контроль счисления пути с использованием GPS

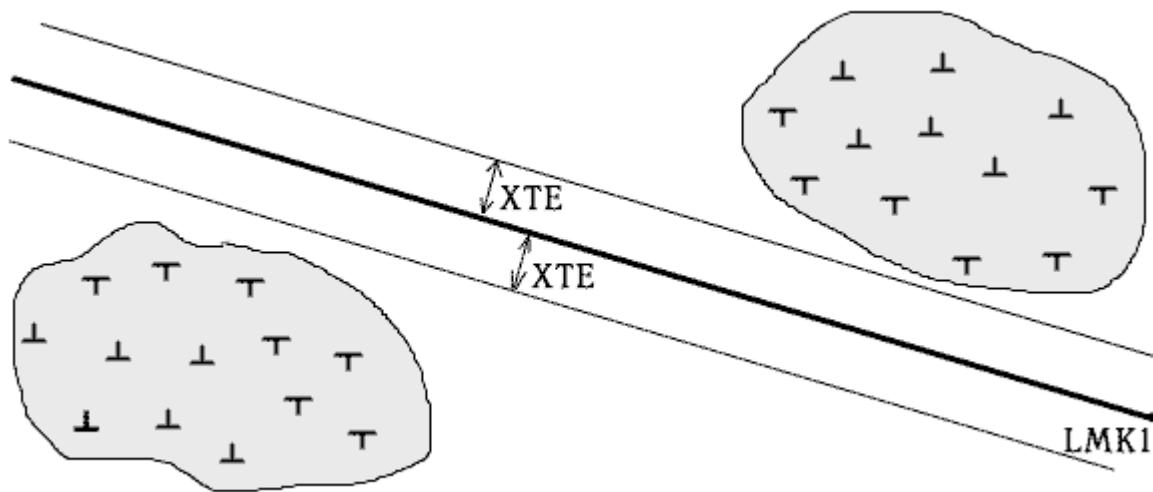


Рис. 6.51. Контроль перехода в заданную точку с использованием GPS

и нанести их на карту. Если полученная точка совпадает со счислимой, или расходится с ней незначительно, — счисление пути судна ведется правильно. Если нет — в счисление вносят поправку (аналогично предыдущему пункту).

Пример. В момент T_0 начато счисление пути яхты для следования путевым углом $ПУ = 108,5^\circ$ при склонении $1,5^\circ$ Е на курсе $KK = 110^\circ$ без учета сноса (см. рис. 6.50). В ходе плавания счисление контролировалось по GPS, координаты точек, снятые с дисплея в T_1 , T_2 , T_3 нанесены на карту. Последнюю обсервацию приняли для дальнейшего счисления. Выявлено, что фактический путевой угол яхты на 25° больше расчетного, для сохранения заданного путевого угла изменили курс на 25° влево. Продолжили счисление с учетом суммарного сноса, продолжая периодический контроль.

Контроль перехода в заданную точку по GPS. С карты снимают координаты точки назначения и заносят в память GPS (LMK1). На карте выбирают также «коридор безопасности» — величина допустимого отклонения яхты в обе стороны от оси движения без риска входа в зону опасности (с учётом погрешности от разности в Map Datum). Прибор индицирует такое отклонение как параметр XTE (см. рис. 6.51).

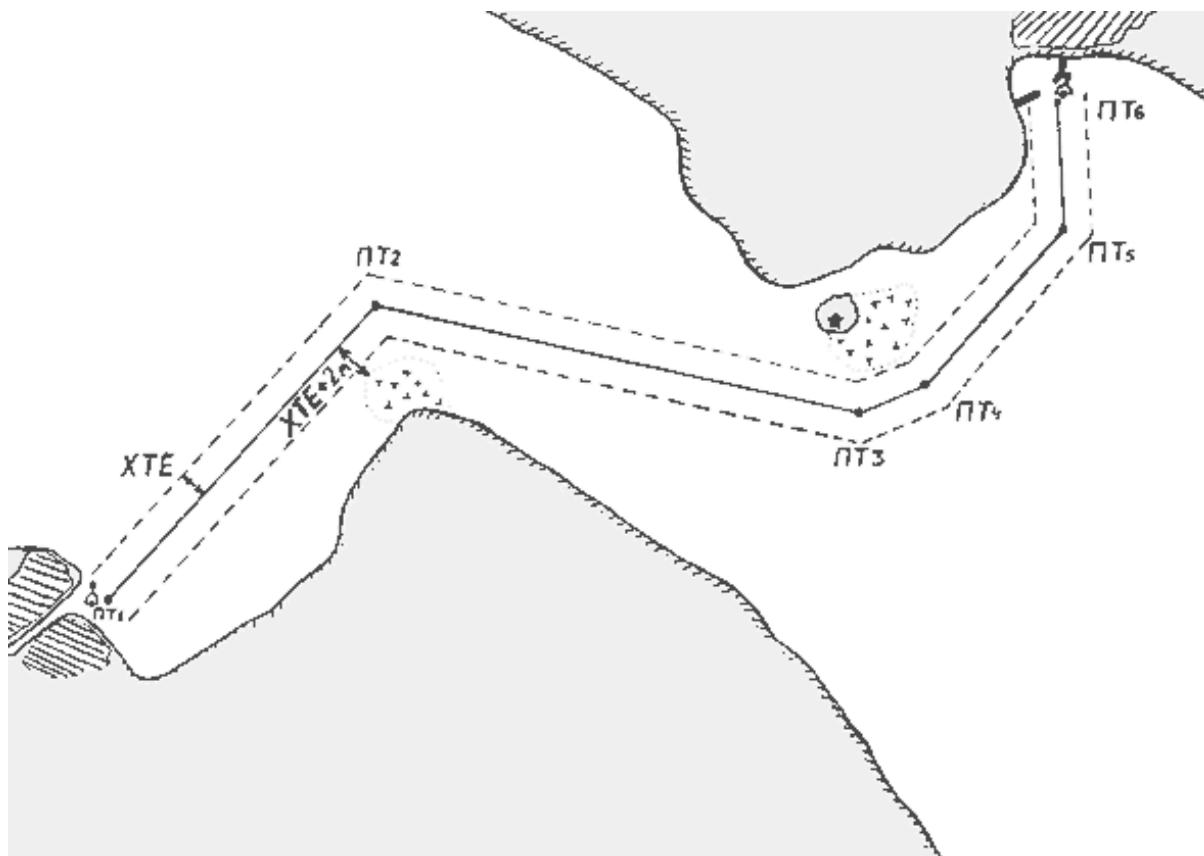


Рис. 6.52. Предварительная прокладка с использованием GPS

В начале перехода активируется функция (обычно функция "GO TO") достижении точки LMK1. Яхту ведут по компасу, регулярно контролируя величину XTE. Если она имеет постоянную тенденцию к увеличению, то в KK вносят компенсирующую поправку.

Предварительная прокладка. Возможность программирования маршрута предстоящего перехода путём введения в память прибора путевых точек (LMK) и очерёдности их достижения очень упрощает работу штурмана на маршруте и снижает риск возможных ошибок при счислении и прокладке пути в дискомфортных условиях и в состоянии усталости, которые столь характерны при длительном бурном переходе на яхте.

На карту наносят точки выхода и прихода. Отмечают все имеющиеся по пути следования опасности («поднимают карту»). Затем выбирается «коридор безопасности» маршрута (предельный XTE). При этом руководствуются такими данными:

- наличие узких проходов между опасностями;
- «степень доверия» к карте (год выпуска с учётом коррекций, масштаб) и величину возможной невязки по разности Map Datum;
- вероятность лавировки.

Возможно, на разных галсах маршрута имеет смысл назначить разную величину XTE.

После этого на карту наносят промежуточные точки маршрута (точки поворота) с учётом выбранного XTE и дополнительного запаса (расстояние от опасности до ближайшей границы «коридора безопасности»). Определяют KK для каждого галса.

Далее все точки маршрута заносят в память GPS-приёмника.

Движение по маршруту. В начале перехода активируется выполнение маршрута. На каждом галсе маршрута правят по компасу (*KK* для данного галса), регулярно контролируя величину XTE. Если она имеет постоянную тенденцию к увеличению, то в *KK* вносят компенсирующую поправку.

В точках поворота прибор сам переключается на отслеживание очередного галса маршрута.

На лавировке рулевой ведёт яхту по вымпельному ветру, контролируя изменение величины XTE. При достижении выбранного предельного значения делают поворот оверштаг и вновь идут отслеживая XTE.

Таким образом, на переходе штурман может быть уверен, что если яхта отклоняется от оси маршрута не более чем на величину XTE, то она гарантировано находится вне опасности.

Раскладка галсов на лавировке. Если яхте предстоит лавировка в открытом море при периодически изменяющемся по направлению ветре, то активируют функцию достижения заданной путевой точки и закладывают галсы исходя из разницы истинного курса и истинного пеленга на точку прихода. Яхту ведут круто к ветру по передней шкаторине стакселя. Если при этом на галсе индицируемая на приёмнике GPS разница *ИП – ИК* $< 45^\circ$, то этот галс выгоден, если же нет, то выгоднее его сменить.

Ещё проще использовать в такой ситуации значение функции VMG (абсолютная скорость продвижения по генеральному курсу), идя тем галсом, на котором этот показатель больше (данная функция реализована не во всех моделях GPS).

В заключение хочется привести цитату из «Руководства по эксплуатации»:

Все навигационное оборудование производится и продается лишь как средство помощи в навигации. Пользователь сам ответственен за совершенствование своего навигационного мастерства, независимо от любого, приобретенного им оборудования.

Глава 7

Морская астронавигация

Астрономические средства и методы навигации применяют в открытом море, а также в прибрежных плаваниях, когда береговые ориентиры не видны или не опознаны.

Морская астронавигация решает три основные задачи ориентирования: определение времени, управление движением судна относительно направления на небесное светило при плавании без компаса или определение поправки компаса по наблюдению светила, определение географических координат места судна по наблюдениям направлений на светила для контроля счисления его пути.

Штурманскую квалификацию яхтенного капитана лучше всего характеризует качество его астронавигационных обсерваций. Для решения астронавигационных задач в полном объеме и с высокой точностью, обеспечивающей плавание в открытом море, на яхте необходимо иметь: транзисторный радиоприемник для приема радиосигналов времени, навигационный секстан, хорошие влагозащищенные часы (лучше всего электронные или кварцевые, со стрелочной индикацией), микрокалькулятор типа «Электроника» или таблицы «Высоты и азимуты светил (ВАС-58)», изданные ГУНиО, Морской Астрономический Ежегодник (МАЕ) или другое пособие для вычисления координат светил.

Если какой-либо из упомянутых инструментов или пособий на яхте отсутствует, снижается точность и частота обсерваций астронавигационного ориентирования.

7.1. Небесные ориентиры, их координаты и видимые движения

Ориентирами в астронавигации являются небесные светила: звезды, Солнце, Луна и наиболее яркие планеты (Венера, Марс, Юпитер, Сатурн).

Навигационные звезды. Навигационными называют наиболее яркие звезды, которые наблюдают для ориентирования (основные перечислены в приложении ??, а). Звезды опознают по их расположению в созвездии — в характерной фигуре, образованной группой соседних звезд на небосводе, а также по их видимому блеску.

Блеск звезд сравнивают с помощью условных чисел — звездных величин, шкала которых имеет вид:

Блеск $m = 0$ присвоен самой яркой звезде летнего неба Веге (α Лиры). Почти такой же яркости звезда Арктур (α Волопаса). Звезда Альтаир (α Орла) имеет $m = 1$, и она считается в 2,5 раза слабее по блеску чем Вега; звезда Дубхе (α Большой Медведицы) имеет блеск $m = 2,0$, и она видна слабее Веги в $2,5 \cdot 2,5 = 6$ раз. Буквой α обычно обозначается самая яркая звезда того созвездия, название которого указано. Приступая к самостоятельному изучению звездного неба, определяют по компасу направление на точку севера N (рис. 7.1). Над точкой N в угловом расстоянии h , равном географической широте места наблюдений φ_N ,

расположена звезда Полярная (α Малой Медведицы). Приближенно можно полагать, что с Полярной совпадает точка P_N — Северный полюс мира. Угол между плоскостью горизонта и направлением на наблюдаемое светило называется **высотой светила**. Высота Полярной приближенно равна географической широте места яхты.

Земная атмосфера наблюдается нами в форме приплюснутого над головой «небесного свода». Это искажает глазомерно измеряемые высоты: наблюдаемая невооруженным глазом высота светила обычно представлется на $15 \div 20^\circ$ больше истинной высоты.

Направление на наблюдаемое светило определяет его истинный пеленг *ИП*; в астронавигации эту координату часто называют **круговым азимутом** и обозначают A_K . При вычислениях удобно измерять азимут «вполкруга»: в северной широте — от точки севера N по горизонту, в направлении точек востока или запада, в пределах $0 \div 180^\circ$. **Полукруговой азимут** обозначают A_P и записывают в форме, например, $A_P = N68^\circ O^{st}$. Если компас не имеет пеленгатора, то *ИП* светила можно найти, заметив в один и тот же момент курсовой угол светила и курс яхты: $ИП = ИК \pm КУ$ (знак ставится в зависимости от наименования борта: (—) соответствует левому борту). *ИП* Полярной близок к 0° , поэтому *ИК* приближенно равен *КУ* Полярной. На рис. 7.1 звезда Кастор (α Близнецов) видна по направлению $ИП^* = 68^\circ$ на высоте $h^* = 25^\circ$, если наблюдения ведутся на широте $\varphi \approx 44^\circ N$ (Севастополь, Владивосток).

Высота и азимут (горизонтальные координаты) вполне определяют положение видимого места светила, поскольку их отсчитывают от горизонта (высота), либо измеряют по горизонту (азимут). Высоту можно измерить с помощью секстанта или астролябии, круговой азимут — с помощью компаса и пеленгатора.

Опознав Полярную, легко найти созвездие Большой Медведицы (Большой Ковш) и «девичью грудь» Кассиопеи — оба эти созвездия расположены на небосводе в угловом удалении $30 \div 40^\circ$ по обе стороны от Полярной; при наблюдениях на наших морях они всегда расположены над горизонтом. Большую Медведицу легко запомнить и быстро отыскать на небе, относительно нее просто опознать другие созвездия и навигационные звезды:

- по направлению от β на α Большой Медведицы (и в удалении, равном пяти расстояниям $\beta - \alpha$) находится Полярная и «Малый Ковш» созвездия Малой Медведицы;
- по направлению γ Б.М. — Полярная и на таком же расстоянии от Полярной находится Кассиопея;
- по направлению $\gamma - \varphi$ Б.М. видны созвездия Лиры и Лебедя, входящие вместе с созвездием Орла в «летний треугольник»;
- по направлению $\delta - \alpha$ Б.М. виден Возничий.

Для изучения других созвездий служит карта звездного неба, прилагаемая к МАЕ.

На рис. 7.2 изображен земной шар и показано географическое место яхты, имеющее координаты φ_N и $\lambda_{O^{st}}$. Затем произвольным радиусом из центра Земли описана вспомогательная небесная сфера, и на ней показано **видимое место светила** σ' как точка пересечения поверхности сферы и пришедшего от очень удаленного светила луча света; аналогичная точка на поверхности Земли называется **географическим местом светила** σ (или ГМС).

Если через географическое место светила а провести меридиан $P_N\sigma P_S$, а через видимое место светила провести аналогичный небесный меридиан $P_N\sigma'P_S$, то нетрудно определить положение географического и видимого места светила в географической системе координат:

- широте ГМС φ^* на сфере соответствует дуга меридиана δ , в астронавигации ее называют **склонением светила**; склонение измеряют так же, как и географическую широту; при плавании в северном полушарии северное склонение считается положительной величиной, а южное — отрицательной;
- долготе ГМС λ^* на сфере соответствует дуга экватора $E_{GP}E^* = t_{GP}$, в астронавигации ее называют **гринвичским часовым углом светила** и измеряют аналогично географической долготе или же в круговом счете — от небесного гринвичского меридиана по экватору всегда в сторону запада от 0 до 360° .

Положение меридиана видимого места светила на небесной сфере можно определить не только от гринвичского меридиана. Из рис. 7.2 видно, что дуга экватора от местного небесного меридиана до меридиана видимого места светила измеряет **местный часовой угол** t_M (его отсчитывают аналогично гринвичскому, но за начало отсчета принята точка E экватора на полуденной части местного меридиана). Местный часовой угол отличается от гринвичского на величину долготы места яхты:

$$t_M^W = t_{GP}^W \pm \lambda_W^{Ost} \quad (7.1)$$

где восточная долгота прибавляется к t_{GP}^W кругового счета, а западная — вычитается.

Часовой угол светила можно также отсчитать круговым счетом от той точки экватора, в которой Солнце расположено на небосводе в день наступления весны — 21 марта. Эта точка называется **точкой весны (точкой Овна)** и обозначается Υ . Отсчитанный от точки Овна часовой угол называется звездным углом (в МАЕ он назван звездным дополнением) и обозначается τ^* . Величина $360^\circ - \tau^* = \alpha$ называется прямым восхождением и отсчитывается противоположно звездному углу. Прямые восхождения получают из МАЕ для указания видимых мест планет, Луны и Солнца.

Координаты δ , t_M , t_{GP} , τ^* , α вполне определяют положение на небесной сфере и на звездной карте небесной параллели светила (склонение) и небесного меридиана светила (одна из величин: t_M , t_{GP} , τ^* или α). Эти координаты называют экваториальными, на яхте их вычисляют по МАЕ или другому пособию на момент наблюдений светила.

Из рис. 88 видно, что в любой момент:

$$t_M = \tau^\Upsilon + \tau^* \quad (7.2)$$

Часовой угол точки Овна τ^Υ называют звездным временем. На звездной карте очень близко к меридиану точки Овна расположена звезда Кафф (β Кассиопеи), а на противолежащем меридиане расположена звезда Фекда (γ Большой Медведицы). Значит, по часовому углу звезды Кафф непосредственно из наблюдений можно узнать звездное время, а часовой угол звезды Фекда отличается от звездного времени на 180° (тогда $\tau^\Upsilon = t_M^* - 180^\circ$). Для оценки на небосводе часовых углов этих звезд полезно помнить, что угловое расстояние на реальном небосводе между звездами β — ε Кассиопеи приближенно равно $15^\circ = 1^\text{ч}$, а между звездами α — η Большой Медведицы оно равно $25^\circ = 1,7^\text{ч}$. На рис. 87: $\tau^\Upsilon = 30^\circ$.

Если небесный экватор разделить на 24 части, то каждая часть будет равна 15° . Ее называют часом; поделив час на 60 частей, получают минуту ($4^\text{м} = 1^\circ$ и $1^\text{м} = 15'$ дуговых минут), поделив минуту на 60 частей, получают секунду ($4^\text{с} = 1'$ и $1^\text{с} = 0,25'$). В часовой мере измеряют время и, когда это удобно для практики, часовые углы.

Применительно к рис. 7.2 географические и экваториальные координаты записывают так:

- Место яхты: $\varphi = 44^\circ N$, $\lambda = 65^\circ O^{st}$.
- Географическое место светила: $\varphi^* = 50^\circ N$, $\lambda^* = 35^\circ W$.
- Видимое место светила: $\delta = 50^\circ N$, $t_{GP} = 35^\circ W$ или $t_M = t_{GP} + \lambda^{O^{st}} = 35^\circ + 65^\circ = 100^\circ W$;
- Звездное время: $\tau^* = 28^\circ$ или $1^\text{ч} 52^\text{м}$;
- Звездный угол (звездное дополнение): $\tau^* = 72^\circ$;
- Прямое восхождение: $\alpha = 288^\circ$.

На рис. 7.1 $\tau^* = 30^\circ = 2^\text{ч}$, так как β Кассиопеи наблюдается западнее полуденной части местного небесного меридиана, а γ Большой Медведицы — восточнее полуночной части местного меридиана. Звезда α Лиры имеет $t_M = 110^\circ W$, а звезда α Близнецов имеет часовой угол $t_M = 85^\circ$.

Экваториальные координаты навигационных звезд, наблюдения которых чаще всего встречаются в астронавигационных задачах, даны в приложении ??, а, воспроизведя с небольшими дополнениями сведения из МАЕ на высокосный, 1980 г. Звездная карта МАЕ также основана на экваториальных координатах; в условиях яхтенного плавания она заменяет звездный глобус. В левой верхней части карты дана северная полярная часть звездного неба, а в правой верхней части — его южная полярная часть. В обоих случаях даны звезды со склонениями от 30 до 90° , меридианы имеют величины звездных углов τ^* через 30° . Экваториальная область между параллелями $\pm 23,5^\circ$ дана внизу; здесь по верхней рамке отсчитывают прямые восхождения и звездное время, а по нижней — звездные углы (звездные дополнения) τ^* . Правая стрелка показывает направление видимого суточного движения светил; слева внизу указаны широты, при которых данная параллель касается горизонта в точке юга.

Пользование звездной картой. Для опознания звезд карту необходимо сориентировать по широте места, направлению местного меридиана наблюдателя и времени наблюдений.

Наметив по часам момент T_C начала предстоящих наблюдений звезд (о системе счета времени на яхте см. раздел ?? и рис. 7.4) по схеме, данной в примере 1, прежде всего заблаговременно вычисляют звездное время в момент T_C . Точность вычислений с погрешностью до получаса достаточна для работы с картой.

Пример 1. Намечены наблюдения звездного неба в Ленинграде (широта места $\varphi = 60^\circ N$) 12 февраля около $T_C = 20$ ч 20 м. Вычислить звездное время на начало наблюдений для работы с картой звездного неба (все последующие примеры даны по такой же схеме).

Величина, действие	Усл. обозначения	Решение
1. Стандартное время срока наблюдений	T_C	12 февраля $20,5^\text{ч}$
2. Разница между стандартным и теоретическим поясным временем по рис. 7.4	ΔT_C	$-1^\text{ч}$
3. Поясное время (приближенное меридианное время)	$T_P \approx T_M$	12 февраля $19,5^\text{ч}$
4. Вспомогательная величина из прилож.??, в на 12 февраля	R	$-14,5^\text{ч}$

5. Звездное время на местном меридиане	τ^{v}	5 ^ч
--	-------------------	----------------

Пояснения:

1. Если при выполнении пп. 1-3 получается отрицательная величина, то надо увеличить T_C на 24^ч; после вычитания T_C получится T_P на предыдущую календарную дату.
2. В нашей стране: с 1 октября по 1 апреля ΔT_C равна $-1^{\text{ч}}$, а с 1 апреля по 1 октября $\Delta T_C = -2^{\text{ч}}$. В других случаях ΔT_C есть разница между стандартным и поясным временем (рис. 7.4).
3. Разница между меридианным T_M и поясным T_P не превышает 30^м.
4. Вспомогательная величина R выбирается по заданной дате наблюдений из прилож. ??, в с округлением до полчаса.
5. Получается всегда действием вычитания: п. 5 = п. 3 – п. 4; при необходимости увеличить T_P на 24^ч.

Для работы на карте звездное время τ^{v} переводят в градусную меру по табл. приложения ??, б либо в уме умножением на 15°: $\tau^{\text{v}} = 5 \cdot 15^{\circ} = 75^{\circ}$.

Далее на карте по шкале прямых восхождений следует найти меридиан и точку его пересечения с экватором E — она называется полуденной точкой. По широте места $\varphi = 60^{\circ}\text{N}$ находят ту параллель, которая касается горизонта в точке юга — при этом пользуются шкалой слева внизу карты. Звезды, расположенные южнее этой параллели, в данной северной широте никогда не видны.

Выйдя на наблюдения, прежде всего находят основные направления (ориентируясь по Полярной или по компасу): на север N , на восток O^{st} , на юг S , и на запад W . Затем определяют положение небесного местного меридиана: он проходит от N через Северный полюс мира P_N , далее через точку над головой наблюдателя Z (зенит) и через точку S . Карту размещают так чтобы полуденная точка E была над точкой юга S и вычисленный меридиан 75° совпал с направлением местного меридиана; при этом высота точки E должна быть равна $90^{\circ} - \varphi = 30^{\circ}S$.

Вблизи местного меридиана, несколько восточнее точки юга, на высоте от 20 до 40° (по условию примера 1) опознают созвездие Ориона; на продолжении трехзвездной дуги «пояса Ориона» вправо и вверх располагаем Альдебаран (α Тельца). Продолжив эту же дугу влево и вниз, найдем самую яркую звезду зимнего неба Сириус (α Большого Пса). Непосредственно над головой наблюдателя проходят те светила, у которых склонение равно широте места наблюдений; близко к зениту разместилось созвездие Возничего.

На карте звездного неба северная полусфера дана с оцифровкой меридианов величинами τ^* . Вычислив звездный угол точки E ($\tau^E = 360^{\circ} - t^v = 360^{\circ} - 75^{\circ} = 285^{\circ}$), найдем меридиан, проходящий через Полярную и зенит. Теперь над точкой севера опознаем звезды созвездия Геркулеса. На высоте 60° располагается Полярная, Кассиопея видна левее и выше Полярной (часовой угол звезды Кафф равен $t_M = 75^{\circ} = 5$ ч O^{st} . Большая Медведица видна правее и ниже Полярной, часовой угол звезды Фекда $t_M = 255^{\circ}W = 105^{\circ}Ost$.

В результате вращения Земли вокруг своей оси наблюдается видимое вращение небосвода с востока на запад: если смотреть на север, то видимое движение светил происходит вокруг Полярной против хода часовой стрелки (см. рис. 7.1). Если же смотреть на юг, то видимое движение светил происходит по ходу часовой стрелки. В нашем примере созвездие Ориона

перемещается слева направо — в сторону запада. Скорость видимого суточного движения светил составляет около $15^\circ/\text{час}$, поэтому экваториальное созвездие Ориона зайдет примерно спустя $6^\text{ч}$ после его прохождения через меридиан места наблюдений (после кульминации). Это произойдет в $T_C = 20 \text{ ч} + 6 \text{ ч} = 26 \text{ ч} - 24 \text{ ч} = 2 \text{ ч } 13 \text{ февраля}$.

Перед плаванием полезно потренироваться в опознании звезд на местности или с помощью карты звездного неба.

Видимые движения светил Солнечной системы. Кроме видимого суточного движения, в котором участвуют все светила, существует собственное перемещение по небесной сфере светил Солнечной системы (Солнца, планет, Луны) с разными периодами. В результате этого перемещения они по-разному видны на небосводе в различные календарные даты и периодически появляются в различных участках звездного неба.

В течение года Земля совершает один оборот по орбите вокруг Солнца поэтому Солнце имеет собственное годовое движение на фоне созвездий. Путь Солнца среди звезд, показанный пунктиром на карте звездного неба, называется эклиптикой: Солнце перемещается среди созвездий зодиакального пояса («круга животных»), проходя последовательно с марта по февраль созвездия Рыбы ($\text{\texttt{Ж}}$), Овна ($\text{\texttt{Y}}$), Тельца ($\text{\texttt{O}}$), Близнецов ($\text{\texttt{II}}$), Рака ($\text{\texttt{Z}}$), Льва ($\text{\texttt{Q}}$), Девы ($\text{\texttt{M}}$), Весов ($\text{\texttt{Q}}$), Скорпиона ($\text{\texttt{M}}$), Стрельца ($\text{\texttt{X}}$), Козерога ($\text{\texttt{Z}}$), Водолея ($\text{\texttt{W}}$). Скорость этого перемещения составляет около 1° за сутки или $30^\circ - 2^\text{ч}$ за месяц, поэтому картина звездного неба в данном месте и в данный час суток спустя месяц будет наблюдаваться на 2 часа раньше, спустя 15 суток — на 1 час раньше и т. п. В полночь на юге располагаются созвездия, отстоящие от Солнца по экватору на $180^\circ - 12^\text{ч}$. Например, 22 июня прямое восхождение Солнца $\alpha = 90^\circ = 6^\text{ч}$ и в местную полночь на юге будут видны созвездия Змееносца и Лиры (см. приложение ??, б).

Из девяти планет Солнечной системы для целей навигации наблюдают только Венеру ($\text{\texttt{Y}}$), Марс ($\text{\texttt{O}}$), Юпитер ($\text{\texttt{Z}}$) и Сатурн ($\text{\texttt{B}}$). Блеск планет бывает очень большим (иногда Венера видна днем невооруженным глазом), но изменяется в зависимости от взаимного расположения планеты, Земли ($\text{\texttt{d}}$) и Солнца ($\text{\texttt{O}}$) (конфигурации), смена которых происходит с периодом от 1 до 2 лет. Планеты всегда наблюдаются в пределах зодиакального пояса, недалеко от эклиптики. Сведения об их положении на небосводе на каждый день и характеристику их видимости можно получить из МАЕ или из Астрономического календаря, который ежегодно выпускает издательство «Наука».

Появление планеты может значительно исказить вид созвездия и затруднить его опознание, планета может быть перепутана с навигационной звездой. Поэтому необходимо нанести видимые места планет на звездную карту для намеченного срока плавания (по указанным в МАЕ или Астрономическом календаре величинам α и δ).

Венеру следует наносить не реже чем каждую неделю, Марс — через две недели, Юпитер и Сатурн — через месяц.

Луна ($\text{\texttt{D}}$) также перемещается среди созвездий зодиакального пояса и имеет собственное движение с запада на восток примерно на величину своего видимого диска за каждый час. За сутки это смещение составляет около $13^\circ = 50^\text{м}$. Вид Луны на небе называется фазой, которая зависит от ее возраста.

Возраст Луны выражается в сутках и указывает количество суток, прошедших после того дня, когда Луна и Солнце были на одном небесном меридиане (рис. 7.3). При соединении Луны и Солнца возраст $B = 0$, Луна обращена к нам неосвещенной стороной и не наблюдается на небе: эта фаза называется новолунием. В новолуние Луна проходит над точкой юга одновременно с Солнцем, возраст Луны на любую дату подсчитывают по формуле:

$$B = \mathcal{D} + M + L , \quad (7.3)$$

где: \mathcal{D} — календарная дата; M — номер месяца в году; L — лунное число (в 1982 г. оно равно 2 и затем каждый год увеличивается на 11).

Например, 8 мая 1984 г.: $L = 2 + 11 + 11 = 24$; $\mathcal{D} = 8$; $M = 5$. $B = 37 - 30 = 7$ д.

Период смены фаз равен 29,5 д = 30 д поэтому его величину после расчета при необходимости отбрасывают.

При $B = 7$ д Луна расположена к востоку от Солнца и видна в первой четверти (молодая Луна); она восходит около полудня, во вторую половину дня видна вместе с Солнцем над горизонтом, вечером освещает юго-западную сторону горизонта и заходит около полуночи.

При $B = 15$ д Луна и Солнце расположены на противоположных меридианах (в противостоянии, сизигии) наблюдается полнолуние. Луна восходит вечером и до утра освещает ночной горизонт; здесь лунная освещенность максимальна.

При $B = 22$ д Луна расположена западу от Солнца и видна в последней четверти (старая Луна), она восходит около полуночи, в первую половину дня вместе с Солнцем видна над горизонтом и заходит около полудня. Спустя неделю начнется новый период смены фаз Луны.

В плавании Луну наблюдают и днем, и ночью. Ее место на звездной карте отмечают непосредственно на намеченный срок наблюдений (по α и δ , указанным в Астрономическом календаре или МАЕ, при этом в МАЕ приходится находить $\alpha^{\mathfrak{D}} = t_{PP}^{\Upsilon} - t_{PP}^{\mathfrak{D}}$). Лунная освещенность в значительной степени зависит от фазы Луны и ее высоты над горизонтом; последняя же в течение месяца изменяется вследствие быстрого и большого изменения склонения Луны.

Описанная картина верна для наблюдений в $\varphi > 23,5^{\circ}N$.

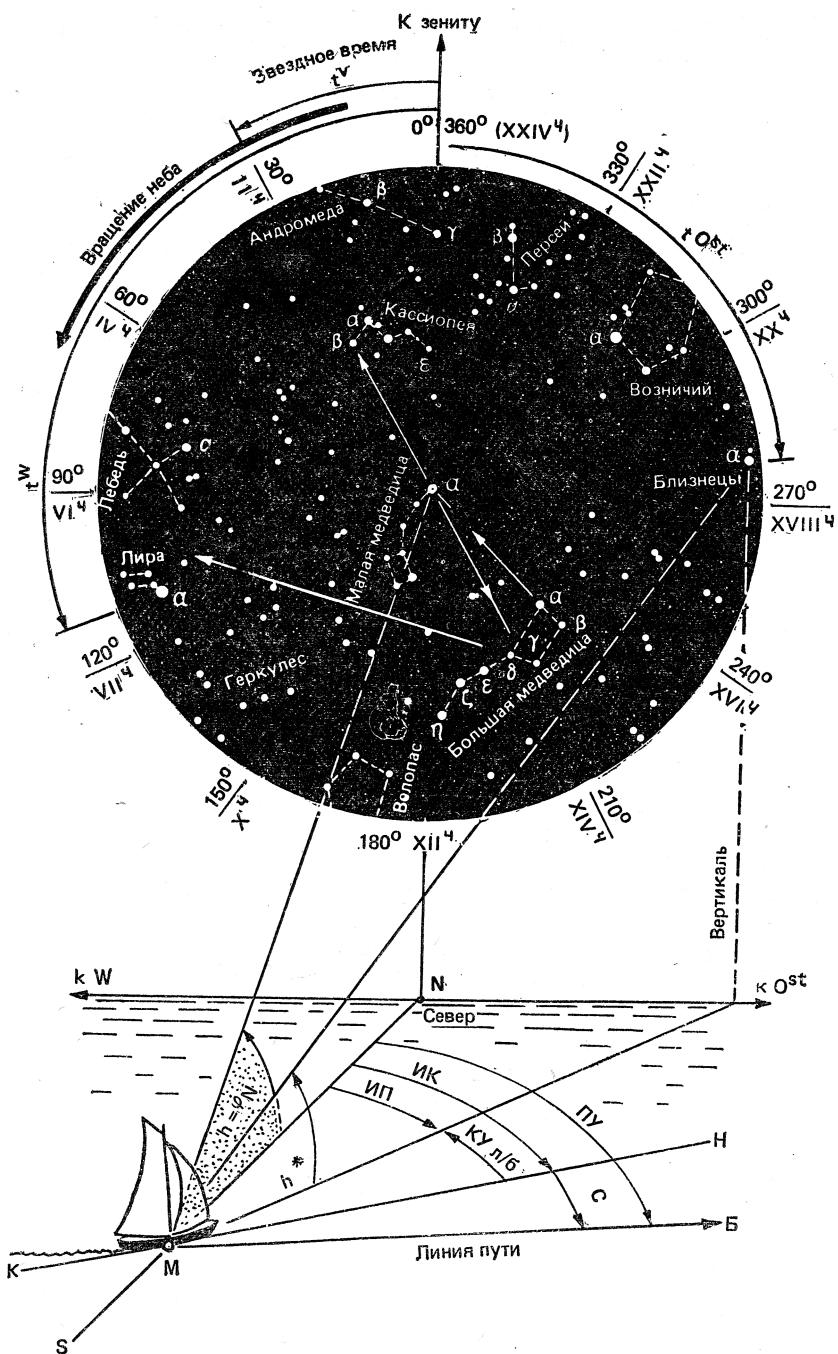


Рис. 7.1. Ориентирование по направлению на север, во времени и по широте места яхты по наблюдению за созвездиями северного неба

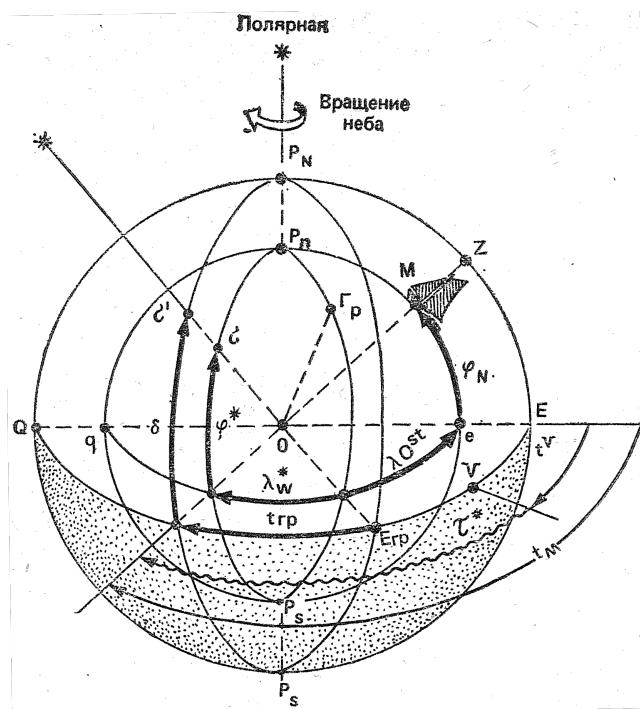


Рис. 7.2. Географические и экваториальные координаты, определяющие положение географических и видимых мест светил

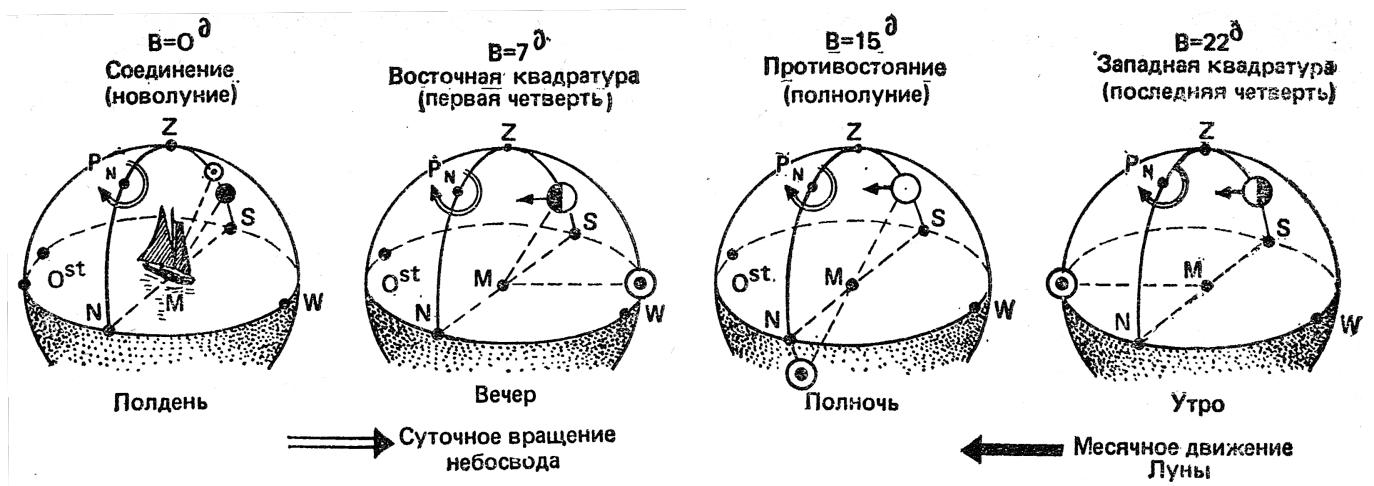


Рис. 7.3. Условия наблюдений Луны и лунная освещенность зависят от возраста Луны и широты места яхты

7.2. Ориентирование во времени

Время на яхте необходимо знать с различной точностью. Если для ведения навигационной прокладки требуется знать время с погрешностью не более минуты, то для астронавигационного определения долготы места яхты нужно знать его с погрешностью до 1 секунды, так как здесь ошибка во времени равна ошибке в найденной долготе ($4^m = 1^\circ$, $1^m = 15'$, $4^c = 1'$ и т. д.).

Часы на яхте в автономном плавании могут быть установлены по разнообразным системам счета времени. Решение об этом принимает капитан — он должен позаботиться о том, чтобы время на яхте измерялось непрерывно и достаточно точно. Кроме того, при заходе в порты счет времени должен быть согласован со счетом времени, принятым в пункте захода. Потеря информации о времени при плавании в открытом море считается чрезвычайным происшествием, чреватым угрозой безопасности плавания.

Системы измерения времени. Принятые в различных странах системы измерения времени можно узнать по карте часовых поясов (карта №90080, издания ГУНиО МО СССР; такого же назначения карты публикуются в географических и морских атласах). Часть карты часовых поясов для европейских государств, а также для европейских и дальневосточных районов Советского Союза приведена на рис. 7.4. Здесь показано стандартное время, система счета которого определена постановлением (декретом) правительства данной страны и является обязательной на всей ее территории. В большинстве стран в основе стандартного времени (обозначается T^Θ) лежит система счета по часовым поясам.

Повседневная жизнь организована по движению Солнца, и наши часы показывают солнечное время, следят за видимым суточным движением Солнца (рис. 7.5). **Солнечное время** измеряют от полуночи — с момента прохождения Солнцем полудочной части местного меридиана $P_N N Q P_S$ наблюдателя M ; оно называется **меридианным**, или **местным**, солнечным временем (обозначается T_M^Θ).

Часовые углы Солнца измеряют от полуденной точки E экватора, поэтому до полудня местное солнечное время равно $T_M^\Theta = 12^\text{ч} - t_{O^{st}}^\Theta$ и после полудня $T_M^\Theta = 12^\text{ч} + t_W^\Theta$. Если с помощью компаса определить положение полуденной линии $S - N$ на местности, затем глазомерно оценить положение точки E на небесном меридиане (по величине угла $90^\circ - \varphi$) и положение небесного экватора ($O^{st}EW$), а после этого — величину наблюданного восточного или западного часового угла Солнца, то по показанным формулам получим приближенную ориентировку во времени текущих суток.

Сутки — это длительность одного оборота Земли вокруг своей оси, измеренная относительно направления на Солнце. Они являются основной единицей измерения времени. Как уже было сказано в 7.1, сутки делят на часы, минуты и секунды.

Ход местного солнечного времени воспроизводят солнечные часы, устройство которых показано на рис. ???. Эти часы можно изготовить самостоятельно. **Экваториальные солнечные часы** устанавливают отметкой $12^\text{ч}$ на точку севера N и линию $24^\text{ч} - 12^\text{ч}$ с возможно большей точностью совмещают с направлением полуденной линии $S - N$. Их циферблат имеет равномерную шкалу ($15^\circ = 1^\text{ч}$) и располагается под углом $90^\circ - \varphi$ к плоскости горизонта. Измеряемый момент времени отмечает на циферблате тень от штока, установленного в центре циферблата и перпендикулярно к нему. Точность такого измерения зависит от качества изготовления часов, масштаба делений циферблата (ошибка в отсчете момента по циферблату на 1° даст ошибку во времени на 4^m , точности установки основания часов в плоскости горизонта и относительно полуденной линии $S - N$).

Циферблат **горизонтальных солнечных часов** устанавливается в плоскости горизонта, и его линия $24^{\text{ч}} - 12^{\text{ч}}$ совмещается с полуденной линией $S - N$. Шкала циферблата этих часов неравномерна, ее вычисляют по формуле (7.4) с помощью микрокалькулятора или по таблицам натуральных величин тригонометрических функций:

$$\operatorname{tg} x = \sin \varphi \operatorname{tg} t \quad (7.4)$$

где φ — широта места, t — интервал времени от полудня, x — угол между полуденной линией и отметкой часа, соответствующего t .

Теневая пластина устанавливается в плоскости местного меридиана, и ее верхний срез должен быть направлен на Северный полюс мира под углом φ к горизонту. Кроме отмеченных причин погрешность измерения времени по горизонтальным часам зависит от широты места и времени суток, она больше вблизи полудня и в малых широтах.

В морских условиях применению солнечных часов мешает качка, их надо устанавливать на азимутальном круге котелка магнитного компаса. Солнечные часы применяются в различных упрощенных ориентаторах для определения долготы места и момента наступления полудня. В момент полудня тень от вертикально установленного штока имеет наименьшую длину и располагается по линии от S к N (если $\varphi > 23,5^{\circ}N$).

Измерив время по солнечным часам и сравнив его с показанием времени по механическим или электронным часам, обнаружим значительную разницу — иногда до $2^{\text{ч}}$ и даже более. Причина — в особенности конструкции наших обычных часов и принятого стандартного времени для их установки.

Глядя на рис. 7.5, спроектируйте со стороны P_N изображенное на нем северное полушарие небесной сферы на плоскость экватора: в этой проекции полюс P_N будет в центре экватора, а все меридианы изобразятся прямыми линиями и их движение будет происходить с востока на запад, по часовой стрелке. Циферблат наших часов есть проекция северного полушария сферы на плоскость экватора, часовая стрелка есть меридиан Солнца, а ее движение воспроизводит вращение Земли, точнее говоря — суточное вращение неба. Остается пояснить, что чаще всего циферблаты часов ради удобства от счета делят не на $24^{\text{ч}}$, а на $12^{\text{ч}}$ и скорость вращения часовой стрелки увеличивают в два раза. Поэтому во второй половине суток для определения времени по такому циферблatu приходится мысленно увеличивать отсчеты на $12^{\text{ч}}$. Кроме того, стрелка часов движется всегда равномерно, а истинное Солнце изменяет свое положение на небосводе в течение года не вполне равномерно. Поэтому воспроизведенное обычными часами равномерное время (его называют **средним временем** и обозначают T) на несколько минут отличается от солнечного времени T_M^{\odot} по солнечным часам.

Время, измеренное от полуночной части местного меридиана в средних единицах (т.е. средней за год длительностью суток, часа, минуты, секунды), называется **меридианным**, или **местным**, средним временем и обозначается T_M . Можно сказать, что наши часы воспроизводят движение условного равномерно идущего «среднего Солнца».

Угол η , который в данный день образуется между меридианами среднего Солнца и истинного Солнца, называется **уравнением времени**. Чтобы от показания времени T_M^{\odot} по солнечным часам перейти к показанию среднего времени T_M , надо величине T_M^{\odot} придать уравнение времени. Например, 24 июля по приложению $\eta = +6,4^{\text{M}}$, и если по солнечным часам в полночь всегда $T_M = 12^{\text{ч}} 00^{\text{M}}$, то по нашим «средним» часам 24 июля время наступления полудня будет $T_M = 12^{\text{ч}} 06,4^{\text{M}}$ меридианного времени.

При пояснном счете среднего времени (см. рис. 7.4) весь земной шар делят на часовые пояса, теоретически имеющие протяженность $15^{\circ} = 1^{\text{ч}}$ по долготе. Эти пояса показаны на

карте возле ее верхней и нижней рамок: они имеют буквенные и цифровые обозначения. В пределах часового пояса во всех его местах часы устанавливают по одному и тому же времени — по меридианному среднему времени центрального (осевого) меридиана данного пояса. Например, в поясе Z (0) — по времени Гринвичского меридиана ($\lambda = 0^\circ$), в поясе A (-1) — по времени меридиана $\lambda = 15^\circ O^{st}$, в поясе B (-2) — по времени меридиана $\lambda = 30^\circ O^{st}$, в поясе C (-3) — по времени меридиана $\lambda = 45^\circ O^{st}$ и т. д. При переходе из пояса в пояс часы надо будет переставлять ровно на 1ч. При перемещении к востоку время «старше». Поясное время обозначается $T_{\text{№}}$ и вычисляется по формуле:

$$T_{\text{№}} = T_{GP} \pm N_W^{O^{st}} \quad (7.5)$$

где № — номер часового пояса, T_{GP} — время нулевого часового пояса, которое называется всемирным, или гринвичским. Знаки у номеров часовых поясов, указанные на карте, служат для решения обратной задачи: расчета всемирного времени по известному показанию часов $T_{\text{№}}$ и номеру того пояса №, по которому они фактически были установлены:

$$T_{GP} = T_{\text{№}} \pm N_W^{O^{st}} \quad (7.6)$$

В некоторых странах (например, в Швеции, ГДР, Финляндии) в качестве стандартного пользуются поясным временем. При этом фактические границы часовых поясов отклоняются от теоретических долготных границ, следуя государственным или административным границам. При пользовании поясным временем отклонения меридианного времени от показаний часов в пределе не превышают получаса.

В ряде государств по экономическим соображениям (для того чтобы сместить рабочее время на светлую часть суток и сэкономить электроэнергию) решением правительства поясное время увеличивают на один час (например, в Великобритании, Франции Испании). В СССР такое время называется декретным и обозначается T_D . Вводится оно с 1 октября по 1 апреля. Соответствующие декретному времени номера часовых поясов на карте показаны в пределах соответствующих поясов непосредственно на территории страны. Например, Ленинград и Севастополь в зимний период живут по третьему часовому поясу ($\text{№} = 3O^{st}$), хотя географически расположены во втором часовом поясе.

На летний период в СССР и в ряде других стран (например, в Италии, Турции) часы переставляют на час вперед. В СССР это «летнее время» T_L действует с 1 апреля по 1 октября, при этом стандартное время ($T_C = T_L$) отличается на $+2^{\text{ч}}$ от поясного. Например, летом Ленинград, Мурманск, Севастополь живут по времени четвертого восточного пояса ($\text{№} = 4O^{st}$), а Владивосток — по времени одиннадцатого восточного пояса.

В повседневном обиходе (особенно часто в прессе) стандартное время именуют «местным». Этот термин не следует путать с рассмотренным теоретическим меридианным местным временем, которое показывают только солнечные часы.

Уходя в море, нужно точно знать, по времени какого часового пояса идут судовые часы, как надо изменить их показания, чтобы узнать всемирное время. Для стандартного времени Советского Союза:

$$\text{зимой} — T_{GP} = T_D - (\text{№} + 1^{\text{ч}}) , \quad (7.7)$$

$$\text{летом} — T_{GP} = T_L - (\text{№} + 2^{\text{ч}}) \quad (7.8)$$

где № — номер теоретического часового пояса с учетом административных границ; зимнее и летнее время действуют в указанные сроки.

В некоторых астрономических пособиях всемирное время обозначают T_{BC} .

Со стандартным, местным и поясным временем мы уже встречались в примере 1. Как мы уже говорили, показания наших часов могут значительно расходиться с показаниями часов солнечных.

Пример 2. 3 октября по солнечным часам наблюдали $T_M^\Theta = 14^{\text{ч}} 24^{\text{м}}$ в долготе $\lambda = 30^{\circ}15' O^{st}$ (Ленинград). Определить показание обычных часов по стандартному времени в этот же момент.

Величина, действие	Усл. обозначения	Решение
1. Меридианное солнечное время	T_M^Θ	3 октября 14 ^ч 24 ^м
2. Уравнение времени	η	-11 ^м
3. Меридианное среднее время	T_M	3 октября 14 ^ч 13 ^м
4. Долгота места наблюдений в часовой мере	λ	2 ^ч 01 ^м O^{st}
5. Всемирное время	T_{GP}	3 октября 12 ^ч 12 ^м
6. Стандартный часовой пояс	№_C	+3
7. Стандартное время	T_C	3 октября 15 ^ч 12 ^м

Пояснения:

- Погрешность отсчета солнечного времени обычно не менее 1^м, поэтому все величины округляют до 1^м.
- Обратить внимание на правильный учет знака η .
- Вычислить ($\text{п.3} = \text{п.1} \pm \text{п.2}$), придав к T_M уравнение времени η .
- Обратить долготу места в часовую меру.
- Вычислить ($\text{п.5} = \text{п.3} \pm \text{п.4}$), восточную долготу отнять, западную долготу прибавить. Если при вычитании получилась отрицательная величина, следует увеличить T_M на 24^ч и уменьшить гринвичскую дату на единицу. Если при сложении получилась величина более 24^ч, надо отбросить 24^ч и гринвичскую дату увеличить на 1 д.
- Номер часового пояса для стандартного времени заданного населенного пункта определяют по карте (см. рис. 7.4) с учетом календарной даты. В Ленинграде после 1 октября: $\text{№}_C = 3O^{st}$. Восточный часовой пояс прибавляют, а западный — вычитают из T_{GP} .
- Вычислить ($\text{п.7} = \text{п.5} \pm \text{п.6}$). Проверить календарную дату; если T_C получилось отрицательным, наша дата на сутки меньше гринвичской — надо увеличить T_{GP} на 24^ч и в итоге уменьшить дату 1 д; если же T_C получилось более 24^ч, наша дата на сутки больше гринвичской — надо в итоге отбросить 24^ч и дату иметь больше на 1 д.

При всех астронавигационных вычислениях необходимо тщательно проверить арифметические действия!

Лучший способ проверки — обратное решение задачи от полученного результата к заданному условию.

Право решить вопрос, какое стандартное время использовать в качестве судового, в автономном плавании принадлежит капитану яхты. Слишком большое расхождение между

меридианным местным временем и судовым временем на яхте (оно тоже обозначается T_C) неудобно для жизни и дезориентирует в сроках и обстановке астронавигационных наблюдений.

Судовым временем является поясное время того часового пояса, по которому фактически установлены часы на яхте. По судовому времени ведут навигационную прокладку и организуют повседневный распорядок жизни. Перед заходом в порт во избежание возможных недоразумений проверяют соответствие своего судового времени стандартному времени в пункте захода (лучше эти вопросы решить при подготовке к походу, пользуясь пособиями последних изданий — в некоторых странах иногда изменяют принятую систему счета стандартного времени).

Пример 3. Часы на яхте установлены по летнему московскому времени $N_C = 4O^{st}$. Определить стандартное время в порту Росток, если заход в порт намечен на 09^ч 00^м по судовому времени 22 июня.

1. Судовое время на яхте.	$T_C = T_L$	22 июня 09 ^ч
2. Часовой пояс, по которому установлены часы на яхте.	$\pm N_{C_{O^{st}}}^W$	$4O^{st}$
3. Всемирное время.	T_{GP}	22 июня 05 ^ч
4. Часовой пояс, по которому в пункте захода установлено стандартное время (см. рис. 7.4, для ГДР)	$\pm N_{C_W}^{O^{st}}$	$+1O^{st}$
5. Стандартное время в пункте захода.	T_C	22 июня 06 ^ч

Пояснения. Правила знаков при N и N_C были пояснены в формулах (7.5 — 7.8); правила счета календарных дат — в предыдущем примере. Обратить внимание на неудобство выбранного времени захода в порт для гостеприимных хозяев.

Служба времени на яхте. Службой времени называется система мероприятий и действий с измерителями времени в море, позволяющая в любой момент знать с достаточной точностью время для решения навигационных и других задач. Она включает завод измерителей времени, проверку их по радиосигналам времени, хранение информации о точном времени вплоть до следующего приема радиосигналов, определение точного времени в момент выполнения каких-либо навигационных измерений.

При ведении навигационной прокладки и при астрономическом определении поправки компаса погрешность измерения времени не должна превышать 1^м. Такую точность измерения времени обеспечивают обычные наручные механические часы, если их проверять дважды в сутки. Электронные часы идут значительно точнее, их достаточно проверять один раз в сутки и по мере необходимости ставить верное время. Необходимым условием надежной работы часов, является их своевременный завод (его делают утром каждого дня, если часы механические). Лучше иметь на яхте двое часов: одни часы электронные, а другие механические. Часы следует берегать от влаги и резких изменений температуры воздуха.

При определении широты места яхты по наблюдениям Полярной или полуденной высоты Солнца измерение времени с точностью до 1^м также достаточно. **Но при полном определении места яхты по светилам (широты и долготы совместно) требуется знать время с точностью**

до секунды, так как ошибка в регистрации момента наблюдений равна ошибке в долготе обсервованного места.

Для измерения времени с точностью до 1^c необходимо прежде всего решительно покончить с привычкой переставлять минутную стрелку часов «на верное время» (этого достаточно в случае измерения времени с точностью до 1^m).

Определить точное время — это значит определить по радиосигналам времени поправку часов, а затем исправлять ею все замеченные при наблюдения светил моменты по мере необходимости.

Поправкой часов называется разность между эталонным временем подачи радиосигнала времени и замеченным показанием времени по часам в тот же момент. Радиосигналы времени для проверки часов передают многие широковещательные радиостанции (например, «Маяк»), и их можно принять несколько раз в сутки. Обычно эти сигналы имеют вид шести точек, стандартное время в момент подачи шестой точки объявляет диктор радиостанции.

Готовясь заблаговременно к определению поправки часов, прежде всего согласуют их минутную стрелку с показанием секундной стрелки (для точного измерения времени следует применять такие часы, которые имеют центральную секундную стрелку длиной не менее 1 см и четкие минутные деления на циферблате). Для этого при показании секунд, равном 60^c (0^c), минутную стрелку ставят на целое минутное деление циферблата. Если часы имеют цифровую индикацию показаний, надо также добиться согласованности в указании минут и секунд. Для навигационных целей предпочтительнее часы со стрелочной индикацией показаний.

В момент подачи шестой точки радиосигнала времени тщательно регистрируют и записывают показания часов T_ϑ (вначале пишут количество секунд). Запись времени всегда делают от 0^u до 24^u . Поправка часов вычисляется по формуле:

$$U_C = T_\vartheta - T_\vartheta \quad (7.9)$$

где T_ϑ — эталонное стандартное время подачи радиосигнала, U_C — поправка часов относительно стандартного времени.

Если наше стандартное или судовое время отличается от стандартного времени подачи радиосигнала, объявленного диктором, то в формулу (7.9) надо вместо T_ϑ подставить свое точное стандартное время (см. пример 4). В астронавигационных пособиях принято давать координаты светил по всемирному времени T_{GP} , поэтому при решении астронавигационных задач удобнее определять поправку часов относительно всемирного времени. Для этого вначале по приближенно известному судовому времени T_C и номеру своего часового пояса N_C выясняют, какому всемирному времени соответствует переданный по радио эталонный сигнал, а после его приема и регистрации T_ϑ вычисляют искомую поправку:

$$u = T_{GP} - T_\vartheta \quad (7.10)$$

Поправка часов имеет знак «минус» если в момент подачи эталонного сигнала часы впереди верного времени или же знак «плюс», если часы позади верного времени (не путать эти термины с понятиями «спешат» и «отстают»).

Теперь в любой не слишком отдаленный от приема радиосигналов момент T_ϑ , по нашим часам можно узнать точное время:

$$\text{стандартное (судовое): } T_C = T_q \pm U_C , \quad (7.11)$$

$$\text{всемирное: } T_{GP} = T_q \pm u \quad (7.12)$$

Формулы (7.9—7.12) называют формулами определения точного времени.

Нетрудно заметить, что величины U_C и u отличаются на значение номера часового пояса \mathbb{N}_C , принятого при первоначальной установке и пуске часов.

С течением времени полученная поправка устаревает, так как любые часы не могут полностью воспроизвести равномерный ход среднего солнечного времени. Поэтому возникает задача хранения времени на яхте в интервале между приемом радиосигналов. Этот интервал может оказаться слишком большим из-за обстоятельств плавания.

Пример 4. 30 июня около $T_C = 10^{\text{ч}}$ (часы на яхте установлены по второму восточному поясу) приняли сигналы времени радиостанции «Маяк» (Москва) и заметили по шестой точке показания часов:

№1: $T_q = 10^{\text{ч}} 00^{\text{м}} 12^{\text{с}}$; №2: $T_q = 9^{\text{ч}} 59^{\text{м}} 37^{\text{с}}$

Определить поправки часов относительно судового времени и относительно всемирного времени.

Судовые часы		Часы №1	Часы №2
1. Летнее московское время подачи сигнала	$T_{\mathcal{E}}$	30 июня 12 ^ч 00 ^м 00 ^с	
2. Московский номер пояса по стандартному времени	$\mathbb{N}_{\mathcal{E}}$		4O st
3. Всемирное время (п.3 = п.1 ± п.2)	T_{GP}	30 июня 08 ^ч 00 ^м 00 ^с	
4. Номер пояса на яхте	\mathbb{N}_C		+2O st
5. Точное судовое время (п.5 = п.3 ± п.4)	T_C	30 июня 10 ^ч 00 ^м 00 ^с	30 июня 09 ^ч 59 ^м 37 ^с
6. Показание времени по часам	T_q	30 июня 10 ^ч 00 ^м 12 ^с	
7. Поправка часов относительно T_C (п.7 = п.5 — п.6)	U_C	-12 ^с	+23 ^с
8. Поправка часов относительно T_{GP} (п.8 = п.3 — п.6)	u	-2 ^ч 00 ^м 12 ^с	-1 ^ч 59 ^м 37 ^с

Пояснения о правилах знаков при расчетах T_C и T_{GP} были даны в формулах (7.5—7.9).

Скорость изменения поправки часов называется ходом часов; величина изменения поправки часов за сутки называется суточным ходом. Для определения суточного хода в течение недели при подготовке к плаванию проведите серию определений поправки часов по радиосигналам; определите систематическое изменение поправки часов Δu за срок наблюдений серии ΔT и вычислите суточный ход ω (в размерности с/сутки) по формуле (7.13). Приближенно суточный ход можно найти как отношение разности последней y_n и первой из полученных поправок u_1 к интервалу времени $(T_n - T_1)$ между ними, при условии, что $\Delta T \geq 7$ д и внешняя обстановка работы часов не изменилась.

$$\omega = \frac{\Delta u^C}{\Delta T^d} \approx \frac{u_n - u_1^C}{T_n - T_1^d} \quad (7.13)$$

Приближенной формулой обычно пользуются в море.

Если суточный ход имеет знак «плюс», то часы отстают — идут медленнее равномерно текущего среднего времени, уменьшая отрицательную поправку или увеличивая положительную. Если суточный ход имеет знак «минус», то часы спешат — идут быстрее равномерно текущего среднего времени, увеличивая отрицательную поправку и уменьшая положительную.

Знание суточного хода решает проблему хранения времени: в любой необходимый момент за последним моментом T_P приема радиосигналов времени и определения по ним поправки часов u_P :

$$u = u_P \pm \omega(T - T_P)^\alpha, \text{ д} \quad (7.14)$$

где T — момент, на который требуется найти поправку часов. Формулу (7.14) называют формулой хранения времени, ее применение показано в примерах 5 и 6.

Применение секундомера при астронавигационных наблюдениях. Хорошо отрегулированные перед плаванием секундомеры дают за полчаса работы погрешность показаний не более $1 \div 2^c$ поэтому ими можно пользоваться при астронавигационных обсервациях. Секундомер, пущенный в ход непосредственно по радиосигналу времени, соответствующему какому-то моменту T_{0GP} , позволяет по замеченному его показанию T_{cek} найти всемирное время наблюдений:

$$T_{GP} = T_{GP}^0 + T_{CEK} \quad (7.15)$$

Если же секундомер пущен в ход на каком-то начальном показании часов T_{0GP} , то всемирное время наблюдена будет (см. пример 7):

$$T_{GP} = T_u^0 + T_{CEK} \pm u \quad (7.16)$$

Пример 5. 7 июля около $T_C = 10^4$ по радиосигналам определили поправки часов №1 и №2 относительно всемирного времени: $u_1 = -2^4 00^m 34^c$, $u_2 = -1^4 59^m 19,5^c$. Определить суточный ход часов после 30 июня (см. пример 4).

Судовые часы		Часы №1	Часы №2
1. Последний срок приема радиосигналов времени	T_P	7 июля $T_{GP} = 8^4$	
2. Предыдущий срок	T_1	30 июня $T_{GP} = 8^4$	
3. Интервал (в сутках и их десятых долях) (п.3 = п.1 – п.2)	ΔT	7	0
4. Последняя поправка часов по радиосигналам	u_P	$-2^4 00^m 34^c$	$-1^4 59^m 19,5^c$
5. Предыдущая поправка часов по радиосигналам	u_1	$-2^4 00^m 12^c$	$-1^4 59^m 37^c$
6. Изменение поправки (п.6 = п.4 – п.5)	Δu	-22^c	$+17,5^c$
7. Суточный ход с/сутки (п.7 = п.6 : п.3)	ω	$-3,1^c$	$+2,5^c$

12	108,25665	$\Phi \ sin \ \Phi \ 1/x \ \Phi \ \text{ЗАП}$	1,0530051
13	8,92667	$\Phi \ cos \ \times \ \Phi \ ИП \ = \ \Phi \ \text{ЗАП}$	1,0402511
14	52,10667	$\Phi \ sin \ \times \ \Phi \ ИП \ = \ \Phi \ arc \ cos$	
15	34,82297	$- \ 34 \ = \ \times \ 60 \ =$	$49,3783 \approx 49,4$

Пример 6. 10 июля около $T_C = 02^{\text{ч}} 30^{\text{м}}$ ($N_C = 2O^{st}$) по команде «Ноль!» наблюдателя (в один и тот же физический момент) замечены показания часов №1 и №2: $T_1 = 2^{\text{ч}} 20^{\text{м}} 19^{\text{с}}$, $T_2 = 2^{\text{ч}} 18^{\text{м}} 50^{\text{с}}$

Определить всемирное время в момент команды «Ноль!» (по исходным данным примера 5).

Судовые часы		Часы №1	Часы №2
1. Судовое время приближенно	T_C	10 июля $02^{\text{ч}} 30^{\text{мс}}$	
2. Номер пояса на яхте	N_C		$2O^{st}$
3. Всемирное время (п.3 = п.1 \pm п.2)	T_{GP}	10 июля $00^{\text{ч}} 30^{\text{м}} = 24^{\text{ч}} 30^{\text{м}}$	
4. Последний прием радиосигналов времени	T_P		7 июля $8^{\text{ч}}$ по T_{GP}
5. Интервал времени (п.5 = п.3 – п.4)	$T - T_P$	2 д + $(16,5^{\text{ч}}/24) = 2,7$ д	
6. Суточный ход часов	ω	$-3,1$	$+2,5$
7. Изменение поправки часов (п.7 = п.6 \cdot п.5)	Δu	$-8,5^{\text{с}}$	$-7^{\text{с}}$
8. Последняя поправка часов по радиосигналам	U_P	$-2^{\text{ч}} 00^{\text{м}} 34^{\text{с}}$	$-1^{\text{ч}} 59^{\text{м}} 19,5^{\text{с}}$
9. Новая поправка (п.9 = п.8 + п.7)	u	$-2^{\text{ч}} 00^{\text{м}} 42,5^{\text{с}}$	$-1^{\text{ч}} 59^{\text{м}} 12,5^{\text{с}}$
10. Момент наблюдений по часам	T	$2^{\text{ч}} 20^{\text{м}} 19^{\text{с}}$	$2^{\text{ч}} 18^{\text{м}} 50^{\text{с}}$
11. Всемирное время наблюдений в момент команды «Ноль!» с точностью до $1^{\text{с}}$ (п.11 = п.9 + п.10)	T_{GP}	10 июля $0^{\text{ч}} 19^{\text{м}} 36,5^{\text{с}}$	10 июля $0^{\text{ч}} 19^{\text{м}} 37,5^{\text{с}}$

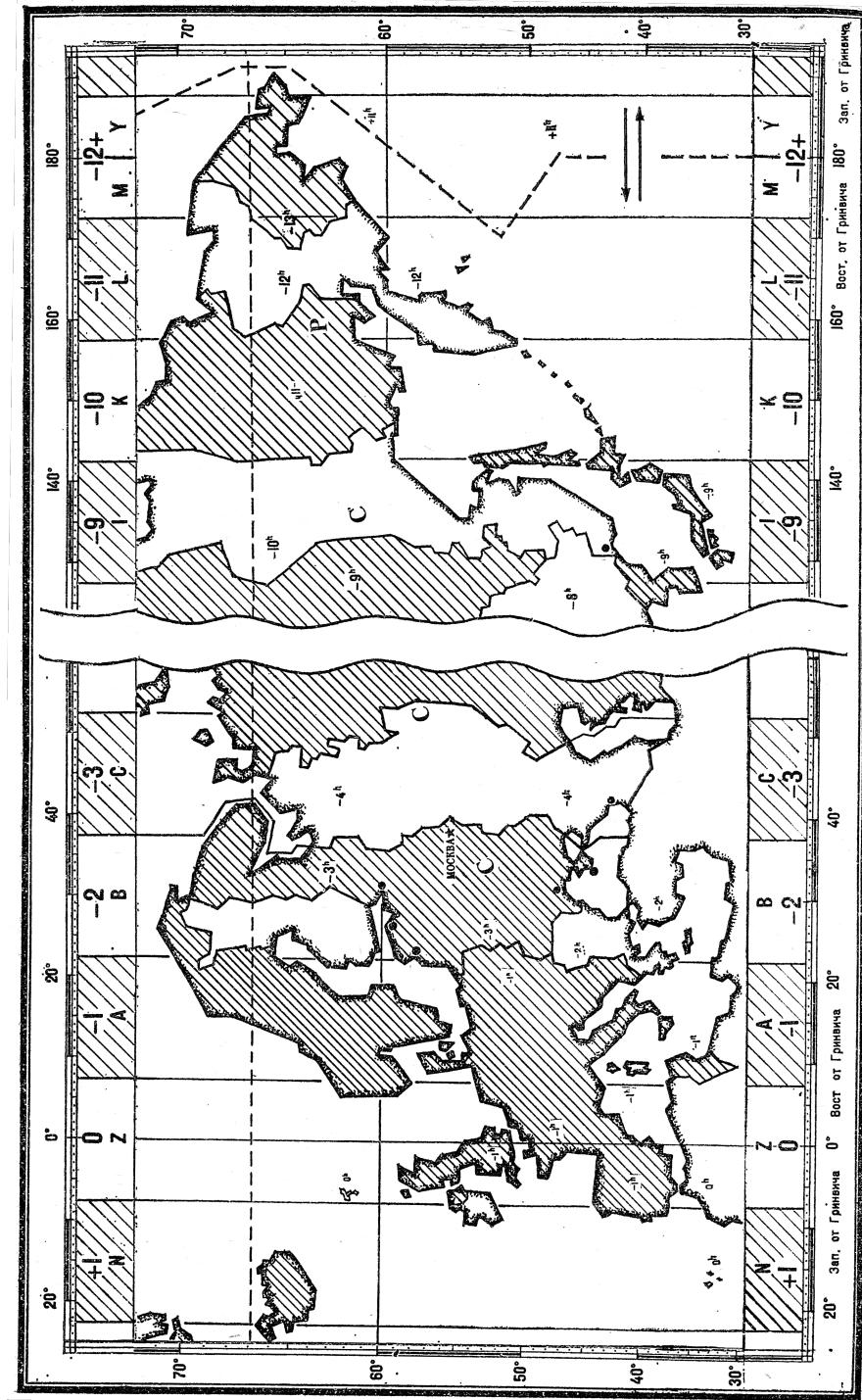


Рис. 7.4. Зимнее стандартное время на территории СССР. Знаки у номеров часовых поясов даны для перехода ко всемирному времени

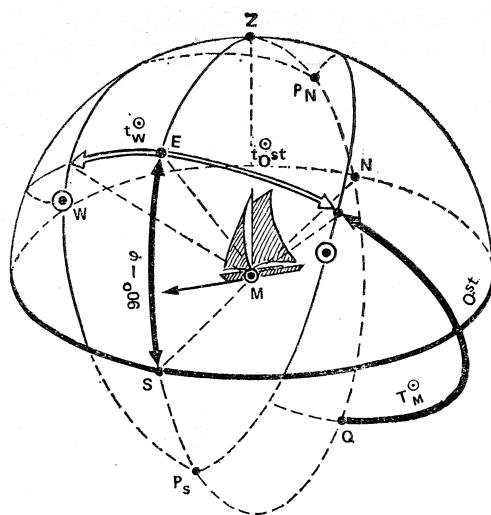


Рис. 7.5. Солнечное время по наблюденному часовому углу Солнца

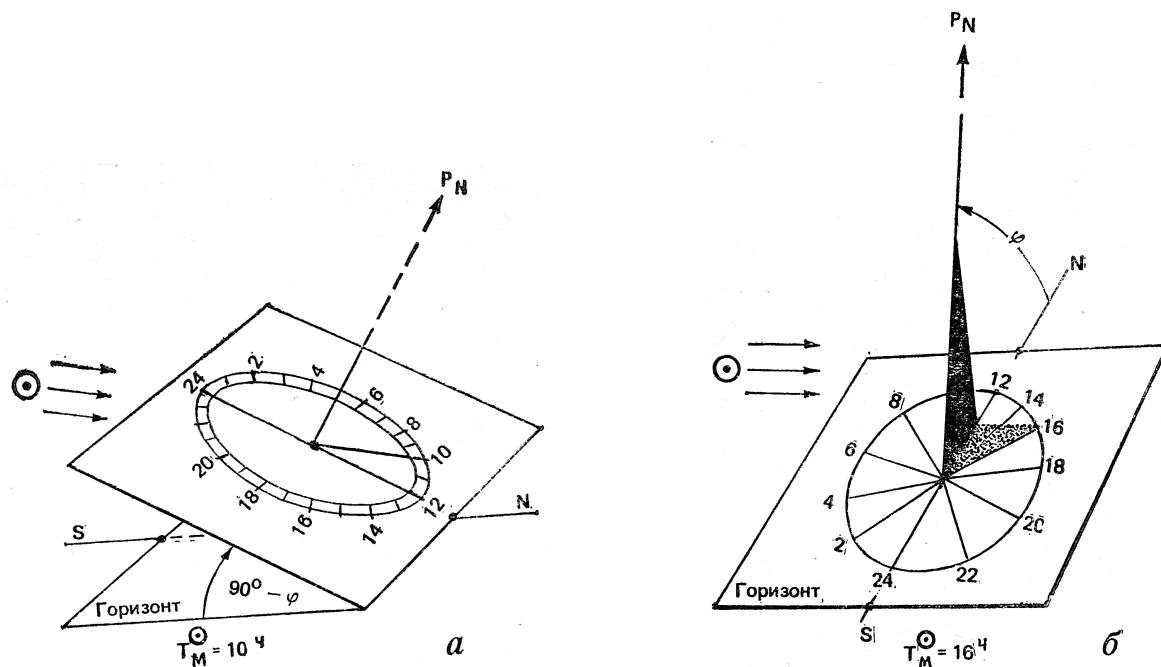


Рис. 7.6. Солнечные часы
а — экваториальные; б — горизонтальные

Глава 8

Гидрометеорология на яхте

Успех морского плавания, особенно на парусном судне, в значительной степени зависит от погоды, т.е. от состояния атмосферы у земной поверхности в данный момент и на данном месте. Явления природы, создающие погоду на море, рассматривают две смежные науки: метеорология, изучающая земную атмосферу и происходящие в ней физические явления и процессы, и океанология, исследующая, в частности, физические свойства водной среды (гидросферы).

К основным метеорологическим элементам атмосферы, определяющим ее физическое состояние и процессы, происходящие в ней, относятся: атмосферное давление, температура и влажность воздуха, облачность, осадки, видимость и ветер. В океанологии элементами, так или иначе влияющими на состояние погоды, считаются такие гидрологические явления, как волнение, морские течения (в том числе и приливно-отливные), температура, соленость и плотность воды.

В отличие от общей гидрометеорологии, которая занимается изучением перечисленных элементов и их взаимодействия, навигационная гидрометеорология носит более узкий характер. Ее задача — помочь мореплавателю разбираться в гидрометеорологической обстановке, уметь ее анализировать, правильно, по инструментальным и визуальным наблюдениям оценивать состояние погоды на ближайшее время и, используя официальные прогнозы по радио, уметь определять ожидаемую погоду по местным признакам.

8.1. Атмосферное давление

Основным элементом при прогнозировании погоды в море можно считать атмосферное давление. Старинная морская поговорка довольно длительно говорит об этом:

Если барометра стрелки падение
Требует в море вниманья и бдения,
То штурман тогда лишь спокойно заснет,
Когда он высоко и кверху идет.

Физическая сущность атмосферного давления — это вес столба воздуха от верхней границы атмосферы до земной (водной) поверхности. Плотность воздуха постоянно меняется от колебаний температуры и влажности и от давления верхних слоев атмосферы на нижние. Вместе с изменением плотности воздуха меняется его вес и атмосферное давление.

Нормальным атмосферным давлением принято считать массу ртутного столба высотой 760 мм на площади 1 см², находящейся на уровне Мирового океана (уровне моря), при температуре 0 °C и на широте места 45 °.

В практике метеорологических наблюдений атмосферное давление измеряется миллиметрами ртутного столба, или миллибарами (мбар). Специальные таблицы для перевода единиц атмосферного давления имеются в «Мореходных таблицах» (МТ-75).

Для измерения давления в судовых условиях применяют два прибора — барометр-анероид и барограф.

Шкала **анероида** (рис. 8.1) градуирована в миллиметрах ртутного столба, а в последние годы — в гектопаскалях (гПа) (по международной системе единиц (СИ) стандартное атмосферное давление составляет 1013,247 гПа = 1013,247 мбар = 760 мм рт. ст.). На яхте анероид должен храниться в горизонтальном положении.

Показания анероида снимают, не вынимая его из футляра, и исправляют их тремя поправками, которые находят в паспорте прибора:

1. Поправка шкалы — по величине давления.
 2. Поправка на температуру прибора получается при умножении температурного коэффициента « c » на температуру прибора « t » по формуле $d = c \cdot t$.
 3. Добавочная поправка — на механическое состояние пружины анероида и барокоробки. Эта поправка должна иметь дату определения в паспорте.

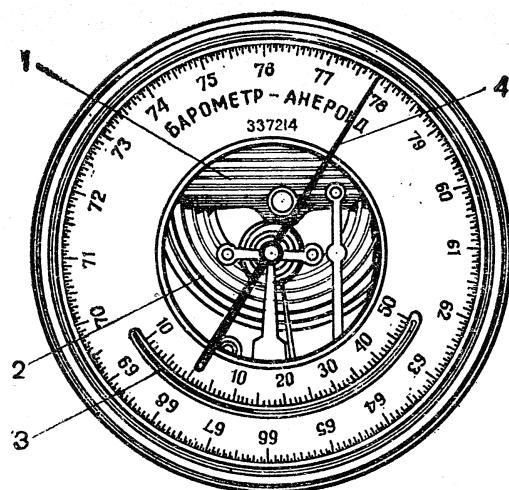


Рис. 8.1. Барометр-анероид

1—пружина; 2—анероидная коробка; 3—термометр-атташе; 4—отсчет 778,5 мм.

Для удобства определения поправки на температуру прибора в анероид включен полу-круглый «термометр-атташе». Так как поправки анероида могут время от времени изменяться, то перед выходом в плавание его необходимо проверить.

Барограф — прибор, ведущий непрерывную запись атмосферного давления на специальной бумажной ленте — **барограмме** (рис. 8.2). Он удобен тем, что позволяет судить об изменении атмосферного давления во времени, или, как говорят, о **барометрической тенденции**. Барабан, на который надевается барограмма, имеет часовой механизм с заводом, при котором лента совершает полный оборот в течение недели. Барограмма имеет сетку, на которой нанесены по горизонтали временные интервалы — часы и сутки, а по вертикали — давление в миллибарах.

Меняют ленту раз в неделю. При этом на обороте новой барограммы необходимо записывать дату, время начала записи (с точностью до минуты) и координаты яхты. Начало записи должно точно соответствовать моменту записи по судовым часам. В это же время заводят часовой механизм барографа. Держать барограф можно на отдельной полочке или прямо

на штурманском столе. В обоих случаях прибор нужно страховать от падения при крене или на волнении. Ставить барограф следует на амортизирующую прокладку (поролон или губчатую резину).

Барометрическую тенденцию (рис.8.3) определяют по характеру кривой на барограмме, как правило, за последние три часа.

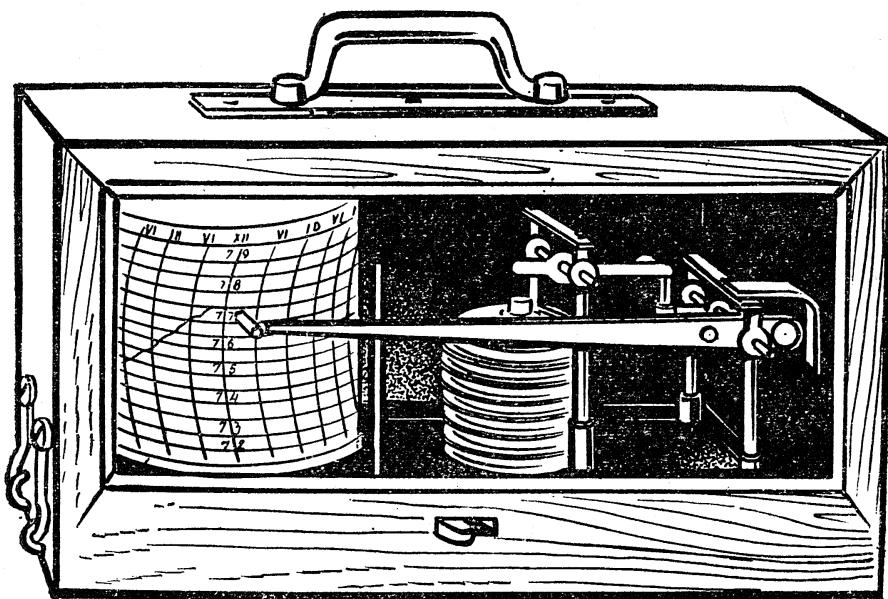


Рис. 8.2. Барограф №4

В суточном ходе атмосферного давления имеется два максимума — около 10 и 22 часов и два минимума — около 4 и 16 часов.

Показания барометра обычно записывают в судовой журнал при смене вахт, а при неустойчивой погоде — не реже чем через 2 часа. В последнем случае давление надо наблюдать чаще и при резком изменении его падения запись делается сразу же.

На справочных или синоптических картах точки с одинаковым атмосферным давлением соединены сплошными линиями — изобарами. Все нанесенные на карту изобары составляют барическое поле данного района. Отдельные участки барического поля, отличающиеся своей конфигурацией и типичной разностью давлений, называют барическими системами — областями с замкнутыми или незамкнутыми изобарами, с повышенным или пониженным атмосферным давлением.

Различают две замкнутые (основные) барические системы:

циклон (барический минимум) — область, ограниченная концентрически замкнутыми изобарами, давление в которой понижается от периферии к центру, где наблюдается самое низкое давление (в умеренных широтах — $990 \div 1005$ мбар);

антициклон (барический максимум) — область, также ограниченная изобарами, но отличающаяся от циклона тем, что высокое атмосферное давление в центре антициклона уменьшается к его периферии.

Незамкнутые изобары складываются в три барические системы:

ложбина — область низкого давления, отходящая от циклона;

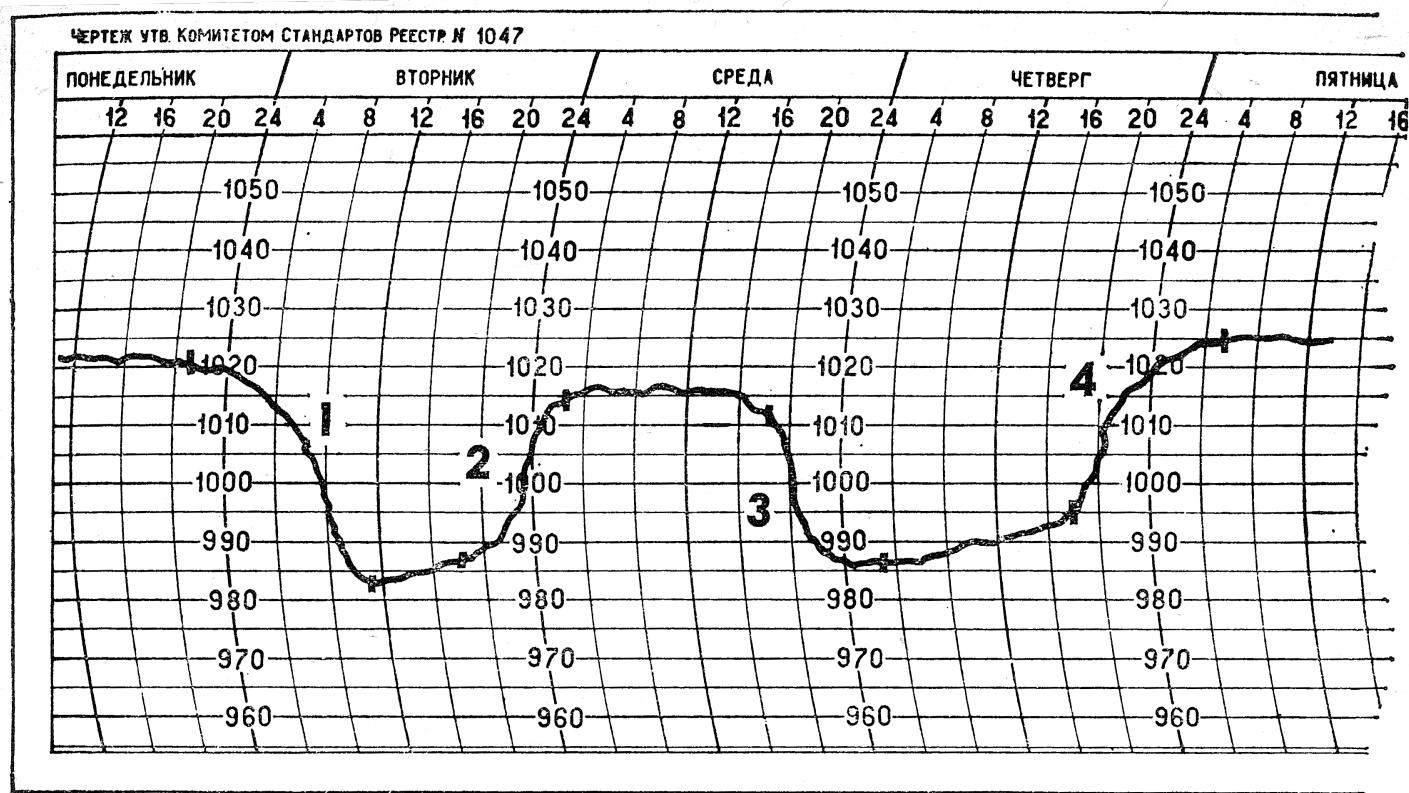


Рис. 8.3. Примеры барических тенденций

Кривая выпуклостью вверх: при падении давления — значительное ухудшение погоды (1), при повышении — к улучшению погоды (4). Кривая выпуклостью вниз: при падении давления — ослабление ветра, некоторое улучшение погоды (3); при повышении — может усилиться ветер (2)

гребень — область высокого давления, отходящая от антициклона;

седловина — барическая система, расположенная крестообразно между соседними двумя циклонами и двумя антициклонами.

8.2. Температура воздуха

Температура воздуха в нижних слоях атмосферы складывается в основном из температуры подстилающей поверхности - земли или воды, получающей основную часть тепловой энергии солнца. Тепло приземных слоев воздуха верхним передается двумя путями:

- непосредственным вертикальным смешиванием теплых нижних слоев с верхними в результате **конвекции**, т. е. когда теплый воздух поднимается вверх, а более холодный воздух верхних или соседних слоев заменяет его. Над морем конвекция всегда усиливается ночью, при незначительном изменении температуры воды и более сильном охлаждении верхних слоев воздуха;
- вихреобразным, т. е. **турбулентным**, беспорядочным движением воздушных масс, переносящих тепло в самых различных направлениях.

Температура воздуха зависит и от состояния погоды. При сплошной облачности перепады температуры значительно меньше, чем при ясном небе. Во время дождя и после него температура может понижаться.

Наконец, зависит температура воздуха и от широты местности: в тропиках теплее, чем в умеренных или высоких широтах.

При наблюдении за температурой различают ее суточный и годовой ход.

В спортивном мореплавании практическое значение имеет суточный ход т. е. изменение температуры в течение суток в определенном районе. Обычно суточный ход температуры воздуха над морем достигает минимума через $2 \div 3$ часа после восхода солнца, а максимума — к $15 \div 16$ часам. Такой суточный ход характерен лишь для устойчивой хорошей погоды. Нарушается он при теплообменных процессах в атмосфере, например при смене теплых воздушных масс холодными. В таких случаях ночная температура может оказаться выше дневной.

Суточная амплитуда температуры воздуха — разность между самой высокой и самой низкой температурой за сутки зависит также от облачности, при которой она уменьшается, и от времени года. В открытых морях и океанах суточная амплитуда составляет около $1,0 \div 1,5^{\circ}\text{C}$, а в закрытых морях может достигать $10 \div 15^{\circ}\text{C}$. Все это необходимо учитывать, так как характер суточного хода имеет прямое отношение к погоде. Так, нарушение правильного суточного хода температуры предвещает ухудшение погоды, а при резком понижении дневной температуры после ненастия можно ждать улучшения погоды. Ухудшение погоды может наступить и при повышении температуры к вечеру.

8.3. Влажность воздуха, облачность, осадки

Источником влаги в воздухе является вода, испаряющаяся с подстилающей поверхности океанов, морей, озер, рек, водохранилищ. Эта влага находится в атмосфере в трех состояниях: газообразном — в виде пара, жидкому — в виде разной величины капель и твердом — в виде снега, града и других ледяных образований. Поскольку водяной пар — составная часть атмосферы, он существенно влияет на все атмосферные процессы.

Влажность воздуха определяется наличием в нем водяного пара, и зависит она от количества его массы, в метеорологии учитывают два вида влажности: абсолютную, выраженную массой водяного пара, содержащегося в единице объема воздуха ($\text{кг}/\text{м}^3$), и относительную, выраженную отношением абсолютной влажности к ее максимальному значению при данной температуре. При 100 % относительной влажности в воздухе может произойти конденсация водяных паров с выпадением воды. Температура, при которой это случается, называется точкой росы.

Наглядный пример жидкого и твердого состояния влаги в атмосфере — облака, состоящие из мельчайших капелек воды, кристалликов льда или их смеси. Необходимое условие образования облаков — насыщение водяных паров до состояния **конденсации** (превращение пара в воду) или **сублимации** (превращение пара в ледяные кристаллы, минуя жидкую фазу) и понижение температуры воздуха до критической. Кроме того, в воздухе должны находиться так называемые **ядра конденсации** (или сублимации). Основная масса ядер конденсации состоит из частиц соли, попавших в атмосферу из испаряющихся водной пыли и брызг во время штормов. Взвешенные в воздухе частицы соли переносятся воздушными потоками до встречи с водяными капельками. Ядрами конденсации могут быть и микроскопические частицы пыли и дымообразующих веществ. Переохлажденные капельки с ядер конденсации,



Рис. 8.4. Кучевые облака хорошей погоды

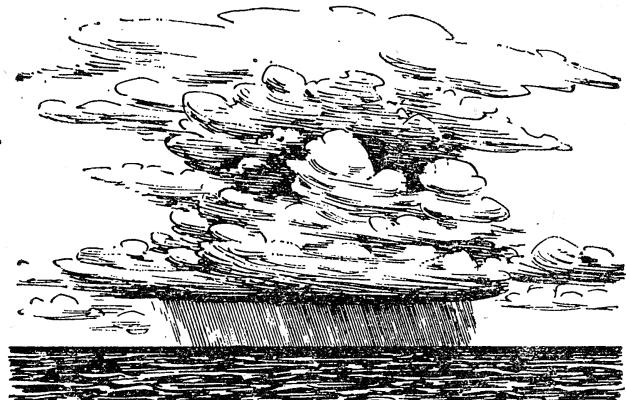


Рис. 8.5. Кучево-дождевое облако («наковальня»)

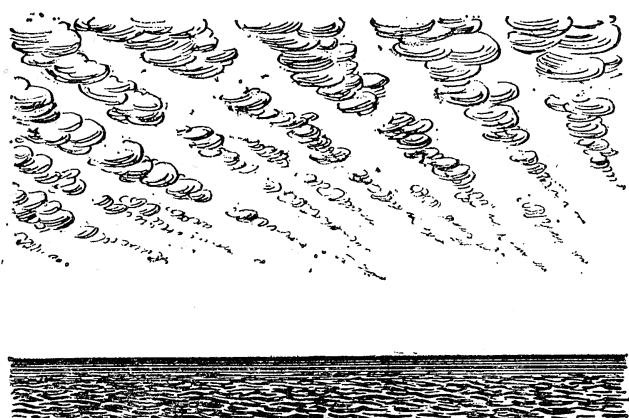


Рис. 8.6. Высококучевые облака («барашки»)



Рис. 8.7. Перистые облака

замерзающие при низких температурах, могут сублимироваться и образовывать ледяные кристаллики.

В основу классификации облачных структур взяты латинские слова, характеризующие их внешний вид: стратус (*stratus*) - слой, кумуллюс (*cumulus*) - куча, циррус (*cirrus*) - перо, альтус (*altus*) - высокий, опакус (*opacus*) - плотный, нимбус (*nimbus*) - дождь, транслюцидус (*translucidus*) - просвечивающий, фрактус (*fractus*) - разорванный, хумилис (*humilis*) - низкий.

Классификация выглядит следующим образом:

I. Облака нижнего яруса.

- 1) Слоистые облака (стратус — *St*) — высота $0,05 \div 0,5$ км. Сплошной, однородный, серый, низконависающий покров. Обычно дают моросящие осадки. В отдельных случаях могут простираться до видимого горизонта.
- 2) Слоисто-кучевые (стратокумуллюс — *Sc*) — высота нижнего края $0,3 \div 1,5$ км. Сплошной волнистообразный серый покров, перемежающийся волнами и более светлыми промежутками между ними (*Sc opacus*). Выше $0,6$ км образуются слоисто-кучевые просвечивающие облака (*Sc translucidus*) серого цвета с просветами. Могут давать морось.

- 3) Слоисто-дождевые (нимбостратус — *Ns*) — высота 0,1 \div 1,0 км. Похожи на слоистые, но имеют более темный цвет. Сопровождаются обложными осадками.
- 4) Разорванно-слоистые (фрактостратус — *Fs*) — сильно изорванные слоистые с просветами.

II. Облака вертикального развития.

- 1) Кучевые облака (кумулюс — *Cu*) — высота от 0,3 до 1,5 км. Белые кучи с серым плоским основанием и белыми кучеобразными вершинами. К ним относятся кучевые облака хорошей погоды (кумулехумилис — *Cu hum*), разорванно-кучевые (фрактоскумулюс — *Fa cu*) и мощные кучевые (кумулюс конгестус — *Cu cong*). Эти облака осадков не дают (рис. 8.4).
- 2) Кучево-дождевые (кумуленимбус — *Cb*) — вершинами достигают высоты перистых облаков (6 \div 10 км), походят на горы или высокие башни. Темное основание лежит на высоте около 0,5 км. Вершины ярко-белые, состоят из ледяных кристаллов. Верхняя часть облака обычно размыта в стороны, имеет вид наковальни. Эти облака несут сильные ливневые осадки, грозы, град, сопровождаются шквалами (рис. 8.5).

III. Облака среднего яруса.

- 1) Высококучевые (альтокумулюс — *Ac*) — образуются на высоте 2 \div 6 км, имеют вид светлых слоисто-кучевых просвечивающих облаков в сочетании с параллельными полосами пластинообразных и хлопьевых образований, параллельных гряд, осадков не дают (рис. 8.6).
- 2) Высокослоистые (альтостратус — *As*) — образуются на высоте 3 \div 5 км в виде пелены светло-серого или синеватого цвета. Могут быть просвечивающимися и плотные, создающие пасмурность.

Все облака среднего яруса имеют смешанную структуру из смеси капелек с ледяными кристаллами. Осадки, выпадающие из них летом, поверхности земли не достигают.

IV. Облака верхнего яруса.

- 1) Перистые (циррус — *Ci*) — легкие, волокнисто-нитевидной формы в виде белых отдельных волокон, иногда «коготков» (рис. 8.7).
- 2) Перисто-кучевые (циррокумулюс — *Cc*) — мелкие «барашки», иногда похожие на рыбью чешую. Могут наблюдаться вместе с перистыми облаками.
- 3) Перисто-слоистые (цирростратус — *Cs*) — тонкая белесая прозрачная пелена, на фоне которой вокруг солнца или луны может образоваться ореол из цветных колец, так называемые круги Гало. Эти и похожие явления — эффект преломления и отражения света в ледяных кристалликах, из которых состоят перистые облака.

Облака верхнего яруса находятся на высоте 6 \div 10 км.

Конденсат атмосферного водяного пара, выпадающий из облаков или образующийся на поверхности земля и наземных предметах, называется атмосферными осадками, которые могут быть жидкими (дождь, морось; на земле — роса) и твердыми (снег, снежная крупа, град; на земле — иней, изморозь, гололед).

По своему характеру выпадающие осадки могут быть:

ливневыми — внезапными и быстротечными выпадениями дождя, снега, крупы или града из кучево-дождевых облаков обычно весной и летом;

обложными — продолжительный и равномерный дождь или снег, выпадающий из высоко-слоистых или слоисто-дождевых облаков при пасмурной погоде и на большой площади; в умеренных широтах преобладают осенью и зимой;

моросящими (морось) — мельчайшие капельки воды, не оставляющие следа на воде; выпадают из низких слоистых облаков или из густого тумана; чаще всего бывают осенью.

Скопление микроскопических капелек воды в нижних слоях атмосферы, при которых горизонтальная видимость составляет менее полутора километров, называют **туманом**. Образуются туманы при высокой относительной (около 100 %) влажности и в присутствии в воздухе ядер конденсации. По причинам, их вызывающим, туманы делятся на:

радиационные — возникающие над сушей в предутренние часы из-за потери тепла подстилающей поверхностью.

С повышением дневной температуры быстро рассеиваются. Для мореплавателя такие туманы, лежащие низко над землей (поземные), опасны тем, что, появляясь на побережье, могут закрывать плавучие и береговые знаки навигационного ограждения. При этом могут быть видимы высоко расположенные верхние части зданий, маяков, других береговых предметов. Над морем радиационные туманы появляются только в высоких широтах при большой относительной влажности воздуха;

адвективные (адвекция (лат.) — перенос), образующиеся на воде при перемещении теплого влажного воздуха над охлажденной поверхностью моря. Плотны и устойчивы к ветрам до 10 м/с. Перемещаясь с ветром, они заволакивают большие районы. Видимость в аддективных туманах охлаждения может быть от нескольких десятков до нескольких метров. Имея большую высоту над уровнем моря, такой туман усложняет плавание, закрывая не только встречные суда, но и огни маяков;

адвективные туманы парения — невысокие, до нескольких метров, клубящиеся туманы, возникающие при перемещении холодного воздуха над теплой поверхностью моря. Встречаются при вторжении холодных масс арктического воздуха на незамерзающие моря в холодное время года.

Разновидностью тумана является туманная дымка, видимость при которой 0,5–5 миль.

Кроме осадков и туманов на ухудшение видимости может влиять **сухая мгла** — механическое помутнение атмосферы, которое встречается в море вблизи берегов при прохождении мимо больших промышленных городов. Мгла состоит из дыма фабричных труб, концентрации в воздухе различных неулавливаемых частиц пыли, выхлопов двигателей автотранспорта, дыма лесных пожаров и т. д. Другой вид мглы образуется в результате сноса ветром с берега (с сухих песчаных равнин и пустынь) в море пыли и мелкого песка. Смесь тумана и мглы называют **смогом**.

В сухую жаркую погоду в море можно наблюдать явление оптической мутности атмосферы, когда сильные конвективные токи воздуха различной плотности перемешивают его. При этом в неоднородной воздушной среде при разных температуре и давлении резко меняются условия отражения, рассеивания и преломления световых лучей: предметы теряют свою четкость, становятся расплывчатыми искаженными, снижая тем условия видимости.

В отличие от навигационной метеорологическая видимость определяется предельным расстоянием видимости наблюдаемого предмета в условиях данной погоды. Для определения дневной дальности метеорологической видимости существует десятибалльная шкала (табл. 14).

Дальность видимости	Характеристика видимости	Условия видимости	Баллы
До 1/4 каб.	Очень плохая	Очень сильный туман	0
До 1 каб.		Сильный туман	1
До 2 ÷ 3 каб.		Умеренный туман	2
Около 0,5 мили	Плохая	Слабый туман	3
От 0,5 до 1 мили		Очень сильный дождь, умеренная дымка или мгла	4
1 ÷ 2 мили	Средняя	Сильный дождь, слабая дымка или мгла	5
1 ÷ 5 миль		Умеренный дождь	6
5 ÷ 11 миль	Хорошая	Слабый дождь	7
11 ÷ 27 миль	Очень хорошая	Без осадков	8
выше 27 миль	Отличная	Совершенно чистый воздух	9

Таблица 14. Шкала метеорологической видимости (для летнего плавания)

8.4. Ветер. Общая циркуляция атмосферы

Перемещение масс воздуха из области высокого атмосферного давления в область с низким давлением называется **ветром**. Скорость ветра определяется величиной барического градиента, т. е. разностью атмосферного давления на установленную единицу расстояния, равную 60 милям (1° широты), в сторону падения давления. Поэтому скорость ветра тем больше, чем больше барический градиент. Величину и направление барического градиента на карте изобар показывают в виде вектора перпендикулярного изобаре большего давления, направленного в сторону меньшего давления. Вследствие вращения Земли (под влиянием силы Кориолиса) направление ветра не совпадает с вектором барического градиента, а отклоняется в северном полушарии вправо, в южном — влево. В средних широтах это отклонение достигает 60° .

На отклонение ветра влияет также кривизна самих изобар, вызывающая криволинейное движение воздуха под действием центробежной силы, направленной по радиусу кривизны. В циклоне центробежная сила направлена против силы градиента, а в антициклоне совпадает с ней. Поэтому при одинаковом градиенте скорость ветра в циклоне всегда меньше, чем в антициклоне.

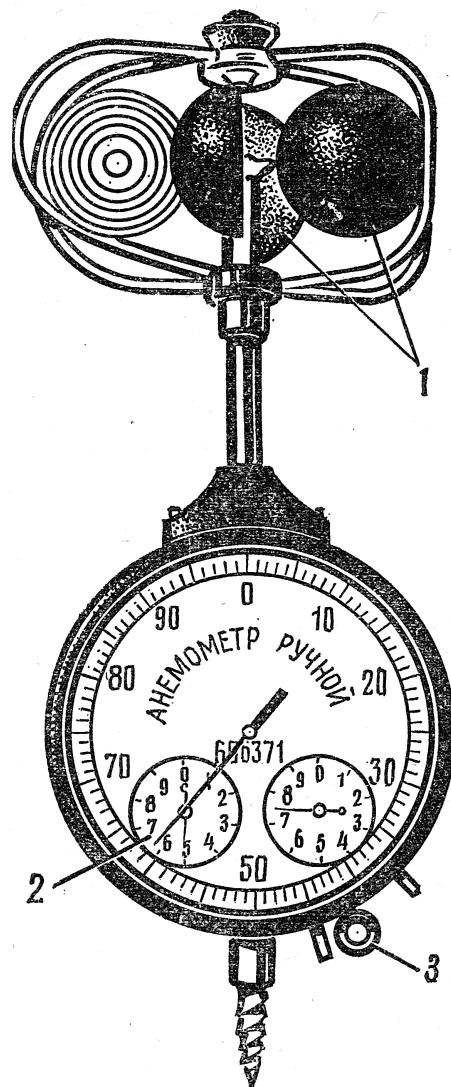


Рис. 8.8. Ручной анемометр
1 — полушария крестовины; 2 — отсчет 6175; 3 — стопор (арретир)

По традиции направление ветра считается из той точки горизонта, откуда он дует. Иначе говоря, ветер дует в компас, направление обозначается в румбах¹ (иногда в градусах). Также в компас принято определять направление зыби, а из компаса, в направлении на горизонт, морские течения.

Единицами измерения скорости ветра являются «метр в секунду», «километр в час», «узел». Практически же скорость ветра с помощью анемометра измеряется в м/с или приближенно оценивается «сила ветра» по шкале Бофорта (табл. ??).

Для измерения скорости ветра в судовых условиях применяется ручной анемометр (рис. 8.8). Ветер, вращая крестовину с четырьмя полыми полушариями, приводит в движение счетчик прибора, который через три стрелки дает показания на циферблатах. Точное значение скорости ветра надо узнать из таблицы поправок в аттестате анемометра.

¹В настоящее время синоним направления

При порывистом ветре определяют его среднюю скорость — по нескольким сделанным подряд измерениям и находят среднее арифметическое значение. Другой способ: проводят наблюдение в течение нескольких минут, а затем делят полученную разность отсчетов на соответствующее число секунд.

Ветер по своей структуре не однороден. Он может быть струйным (ламинарным), когда слои воздуха движутся не перемешиваясь, их частицы не переходят из слоя в сдой. Такое движение воздуха обычно бывает при слабых ветрах. Если же скорость ветра превышает 4 м/с, то частицы воздуха начинают двигаться беспорядочно, его слои перемешиваются и приобретают турбулентный характер. Чем выше скорость ветра, тем больше турбулентность, тем больше скачки скорости в отдельных точках воздушного потока и тем более порывистым становится ветер. Табл. ?? показывает, как меняется ветер в зависимости от его скорости и направления.

Баллы Бофорта	Характеристика ветра	Скорость ветра, м/с (интервал)	Действие ветра		Давление H/m^2
			на судне	на море	
1	2	3	4	5	6
0 (0)	Штиль	0 ÷ 0,2	Дым поднимается вертикально. Вымпел неподвижен	Зеркально-гладкая поверхность	0
1 (1)	Тихий	1 (0,3 ÷ 0,5)	По дыму можно определить направление ветра	Рябь. Пены на гребнях нет	0,1
2 (2)	Легкий	3 (1,6 ÷ 3,3)	Легкий поток воздуха. Слегка колеблются флаги и вымпелы	Короткие волны. Гребни кажутся стекловидными	0,5
3 (3)	Слабый	5 (3,4 ÷ 5,4)	Дым вытягивается по ветру и развеивает флаги и вымпелы	Короткие волны. Гребни образуют стекловидную пену. Изредка образуются маленькие белые барашки	0,2
4 (4)	Умеренный	7 (5,5 ÷ 7,9)	Вытягиваются вымпелы, заполаскивают флаги	Удлиненные волны. Белые барашки видны во многих местах	4

1	2	3	4	5	6
5 (4)	Свежий	9 (8,0 ÷ 10,7)	Вытягиваются и полощут большие флаги	Развитые в длину, но не крупные волны. Повсюду видны барабанчики. Отдельные брызги	6
6 (5)	Сильный	12 (10,8 ÷ 13,8)	Начинают гудеть провода и снасти	Образуются крупные волны. Белые пенистые гребни занимают большие площади. Ветер начинает срывать брызги	11
7 (6)	Крепкий	15 (13,9 ÷ 17,1)	Свист ветра около снастей и надстроек. Становится трудно ходить против ветра	Волны громоздятся, гребни срываются, пена ложится полосами по ветру	17
8 (7)	Очень крепкий	19 (17,2 ÷ 20,7)	Движение против ветра заметно затрудняется	Умеренно длинные волны. На гребнях начинают взлетать брызги. Полосы пены ложатся рядами по направлению ветра	25
9 (8)	Шторм	23 (20,8 ÷ 24,4)	Возможны небольшие повреждения в надстройках. Могут сорваться неукрепленные предметы	Высокие волны с широкими плотными полосами пены. Гребни опрокидываются, рассыпаясь в брызги, которые ухудшают видимость	35

1	2	3	4	5	6
10 (8)	Сильный шторм	27 (24,5 ÷ 28,4)	Возможны более значительные повреждения в оснастке и надстройках	Очень высокие волны с длинными, загибающимися гребнями. Ветер срывает пену большими хлопьями. Поверхность моря белая от пены. Грохот волн, похожий на удары. Видимость плохая	46
11 (9)	Жестокий шторм	31 (28,5 ÷ 32,6)	Возможны разрушения а надстройках, палубе и такелаже	Исключительно высокие волны. Небольшие и средние суда временами скрываются из виду. Море покрыто длинными белыми хлопьями пены, срывающимися с гребней. Видимость плохая	64
12 (9)	Ураган	32,7 и более	Опустошительные разрушения	Воздух наполнен пеной и брызгами. Море покрыто полосами пены. Видимость очень плохая	> 74

Примечание. Так как по настоящей таблице можно определять и состояние моря, в графе «баллы Бофорта» в скобках указаны также баллы волнения.

Шквалистый ветер характерен не только частыми и резкими колебаниями скорости, но и сильнейшими отдельными порывами продолжительностью до нескольких минут. Ветер, который резко увеличивает свою скорость в течение очень короткого промежутка времени на фоне слабого ветра или штиля, называют шквалом. Чаще всего шквалы налетают при прохождении мощных кучево-дождевых облаков и нередко сопровождаются грозой и ливнями. Скорость шквального ветра достигает 20 м/с и более, а в отдельных порывах — 30 ÷ 40 м/с. При этом наблюдаются неожиданные повороты ветра до нескольких румбов. Основной причиной шквала является взаимодействие восходящего потока теплого воздуха в передней части кучево-дождевого облака и нисходящего воздуха, охлажденного ливневым дождем, в тыловой его части. В результате возникает характерный клубящийся вал с вихрем под ним, усиленным вихрями соседних воздушных слоев (см. рис. ??).

Вертикальные вихри в грозовом облаке могут образовать смерчи. Когда скорость такого вихря достигает около 100 м/с, нижняя часть облака в виде воронки опускается к воде,

навстречу поднимающемуся вверх водяному столбу. Встреча со смерчом опасна: обладая большой разрушительной силой и вращаясь по спирали, он может поднять вверх все, что окажется на его пути. Высота смерча достигает более 1000 м, горизонтальная скорость – $30 \div 40$ км/ч. Поэтому при виде смерча нужно определить направление его перемещения и немедленно уходить в сторону.

Иногда смерч может образоваться и без грозовых облаков. В этом случае он зарождается не из тучи, а на поверхности моря, нередко при безоблачном небе. Это смерчи «хорошей погоды». Они быстро разрушаются и практически безопасны.