

Теория плавания под парусами

Чеслав Мархай / Czesław Marchaj

10 марта 2026 г.

Содержание

Предисловие	4
1 О силах, движении и яхтах	5
1.1 Основные понятия из механики	5
1.1.1 Свойства силы	5
1.1.2 Общие законы движения	6
1.1.3 Сложение и разложение сил и скоростей	10
1.1.4 Условия равновесия	12
1.1.5 Плавучесть	15
1.1.6 Остойчивость	17
1.2 Задачи механики плавания под парусами	24
2 Общие сведения о яхтах	28
2.1 Теоретический чертеж яхты	28
2.2 Эволюция яхты	32
2.3 Формулы классных обмеров	39
2.4 Международные классы гоночных яхт	45
2.4.1 Швертботы	46
2.4.2 Килевые яхты для прибрежных морских районов и внутренних водоемов	55
2.4.3 Килевые яхты открытого моря	58
3 Аэродинамика паруса	63
3.1 Основы аэродинамики паруса	63
3.2 Уравнение Бернулли	64
3.3 Возникновение аэродинамической силы на парусе	67
3.4 Разложение давлений на парусе	70
3.5 Измерение аэродинамической силы паруса	74
3.6 Центр давления аэродинамических сил паруса	83
3.7 Аэродинамическое сопротивление паруса	85
3.8 Условия подобия потоков	95
3.9 Свойства паруса и его работа	100
3.10 Лавировка	106
3.11 Курс фордевинд	108

3.12	Полнота формы («пузатость») паруса	112
3.13	Форма паруса	120
3.14	Взаимодействие парусов	126
4	Гидромеханика парусной яхты	197
4.1	Гидродинамические сопротивления корпуса	197
4.1.1	Силы, действующие на яхту во время движения	197
4.2	Сопротивление трения	198
4.3	Сопротивление формы	203
4.4	Сопротивление волнообразования	208
4.4.1	Образование волн	208
4.4.2	Измерение волнового сопротивления	211
4.4.3	Действие гидродинамических сил	214
4.4.4	Теоретические условия глиссирования	216
4.5	Добавочное сопротивление	218
4.5.1	Влияние формы руля	220
4.6	Значение площади бокового сопротивления	222
4.7	Равновесие яхты	229
4.7.1	Поперечное равновесие	229
4.7.2	Влияние крена на сопротивление корпуса	233
4.7.3	Динамическая остойчивость	236
4.7.4	Равновесие направления	238
4.7.5	Склонность яхты приводиться	240
4.7.6	Уменьшение вращающего момента	242
4.7.7	Управляемость, маневренность яхты	244
4.8	Продольное равновесие, или дифферент	251
4.9	Новые тенденции в парусном спорте	253
5	Ветер и вода	262
5.1	Ветер	262
5.1.1	Использование области низкого давления	262
5.1.2	Ветры местного значения	266
5.1.3	Структура ветра	266
5.1.4	Бриз	273
5.1.5	Порыв, шквал	277
5.1.6	Ветер в районе дистанции	283
5.1.7	Береговые препятствия	283
5.1.8	Влияние других соревнующихся яхт	286
5.2	Вода	292
5.2.1	Влияние волны на яхту	292
5.2.2	Характер волн	293
5.2.3	Плавание на волнении	298
5.2.4	Плавание против волн	299
5.2.5	Плавание вместе с волнами	305
5.3	Плавание на течениях и фарватере	310
5.3.1	Морские течения	311
5.3.2	Речной фарватер	312

5.4 Плавание по мелководью	318
Словарь терминов	321

Предисловие

Несколько лет назад литература по парусному спорту пополнилась новой книгой — «Теория плавания под парусами», написанной польским яхтсменом Чеславом Мархаем. Вскоре книга стала известна не только среди яхтсменов Польши; она привлекла внимание зарубежных спортсменов и получила хорошую оценку Международного парусного союза.

Популярность книги объясняется, во-первых, большой потребностью в руководстве, освещающем вопросы парусного спорта с теоретических позиций, и, во-вторых, новизной изложенного в ней материала.

Большинство руководств по парусному спорту, написанных крупными знатоками, основаны на личном опыте или обобщают опыт ведущих яхтсменов. В них даются апробированные практикой советы, как поступать в том или ином случае, но, как правило, без теоретического обоснования. Теория парусного спорта излагается обычно в отдельной главе, оторванно от практики.

В книге Ч. Мархая теория парусного спорта тесно увязана с практикой: ни одно теоретическое положение не оставлено без подкрепления случаем из практики, и наоборот, многие случаи практики рассмотрены и объяснены с чисто теоретических позиций. Книга дает читателю научный фундамент, который позволит ему самостоятельно разобраться во многих сложных вопросах парусного спорта. Автор сумел теоретические основы парусного спорта изложить со строго научных позиций, не прибегая к упрощениям. Читателю достаточно иметь подготовку в объеме техникума или средней школы, чтобы разобраться во всех положениях книги.

Книга иллюстрирована многочисленными примерами и рисунками. Она, несомненно, будет полезна всем любителям парусного спорта, стремящимся пополнить свой теоретические познания и тем самым повысить уровень своего мастерства.

1 О силах, движении и яхтах

1.1 Основные понятия из механики

Прежде чем перейти к рассмотрению вопросов теории плавания под парусами, Целесообразно припомнить основные сведения из физики и механики. В дальнейшем, это убережет нас от разноречивых, а иногда и ошибочных толкований положений и понятий, на которых построено изложение материала в книге.

1.1.1 Свойства силы

Если яхта или какое-нибудь другое тело движется с определенной скоростью, мы всегда можем без труда убедиться, что на него действуют какие-то силы. В природе постоянно проявляются причинно-следственные связи, а всякое движение может возникнуть только как следствие воздействия силы.

Чтобы предвидеть результаты действия сил, необходимо знать основные свойства последних. Из опыта мы знаем о существовании больших и малых сил. Значит, силу можно представить как некую величину, которая может быть измерена. В технике за единицу измерения силы принят килограмм, т. е. сила, с которой земля притягивает эталонную металлическую гирию, хранящуюся в Международной палате мер в Париже. Вес этой гири соответствует весу 1 л (т. е. 1000 см³) воды при температуре 4°C.

Вес любого тела — результат притяжения его массы массой земли, другими словами, вес — результат земного притяжения. В механике вес тела обычно принято обозначать силой, приложенной в определенной точке, называемой центром тяжести этого тела. Центр тяжести однородных тел определяется посредством геометрических построений; например, центр тяжести однородного металлического шара совпадает с его геометрическим центром, а центр тяжести правильной призмы или цилиндра лежит на их оси посередине высоты. Определение центра тяжести яхты требует сложных расчетов по способу Симпсона или трапеций¹.

Знать положение центра тяжести яхты совершенно необходимо для оценки ее остойчивости, одной из важнейших характеристик яхты. Центр тяжести обладает замечательным свойством: тело, подвешенное или покоящееся в этой точке, находится в положении так называемого безразличного равновесия. Такое тело сохраняет любое произвольно приданное ему положение, не проявляя склонности к его изменению; например, шар, изготовленный из совершенно однородного материала, всегда будет сохранять приданное ему положение, так как центр тяжести его всегда будет находиться точно над точкой опоры.

Величина силы не характеризует ее полностью. Результат действия силы зависит не только от величины, но и от направления действия и точки приложения силы, или, иначе, от линии действия силы. Таким образом, любая сила есть прежде всего величина направленная. Например, сила земного притяжения действует по вертикали, т.е. тело падает перпендикулярно поверхности спокойной воды, а линия действия силы проходит через центр тяжести тела.

¹прим. ред.: в наше время это, конечно же, не так, см. [https://en.wikipedia.org/wiki/Simpson%27s_rules_\(ship_stability\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Simpson%27s_rules_(ship_stability))

В механике принято обозначать величину и направление силы векторами — отрезками прямой линии с тремя характеристиками: величиной, направлением действия и линией действия. Для практических целей полезно строить графики, наглядно показывающие действие сил и облегчающие понимание связи между действием сил и поведением тел, например яхты, на которые они действуют (рис. 1 (стр. 6)). Кроме векторов силы, применяются векторы скорости и другие, также имеющие направление в пространстве и величину.



Рис. 1: Действие сил на тело

Результат действия сил может быть многообразным: например, находящееся в покое тело можно привести в движение, которое будет равномерным или иметь переменную скорость. Движущееся тело в зависимости от направления действия силы может изменить скорость и направление движения.

В природе каждое движущееся тело находится под действием по крайней мере двух сил. Лишь в лабораторных условиях удастся получить движение тела под действием только одной силы тяжести — это падение тела под действием собственного веса в вакуумном сосуде. Таких условий свободного падения тел в природе не бывает. В практике движение тел, например яхты, происходит при одновременном действии нескольких сил, и вся трудность механики плавания под парусами состоит в выявлении и рассмотрении результатов действия всех этих сил. Однако, установление связи между силами и движением иногда бывает трудным делом. Ведь мы всегда имеем дело с суммарным результатом действия нескольких сил, а надо знать, как действует каждая сила в отдельности. Так, например, давно было известно существование сил трения, но связь между этими силами, смоченной поверхностью корпуса яхты и скоростью хода была установлена относительно недавно. Еще сегодня многие парусники-гонщики не имеют ясного представления о том, насколько сложно, казалось бы простое, движение яхты и как много различных переменных сил вызывают это движение.

1.1.2 Общие законы движения

Элементарная механика основывает свои выводы на основных четырех законах, впервые сформулированных Ньютоном. Для рассмотрения интересующего нас явления — движения яхты и определения условия ее равновесия достаточно знать первый и второй законы Ньютона.

Из первого закона Ньютона, иногда называемого законом инерции, известно, что любое тело, на которое действуют взаимно уравновешивающиеся силы, находится в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения. Простейший пример такого состояния — тело, на которое одновременно действуют две силы, равные по величине, но противоположные по направлению. Очевидно, что, если на тело Действуют четыре силы, попарно равные по величине, но также попарно направленные в противоположные стороны, тело будет находиться в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения.

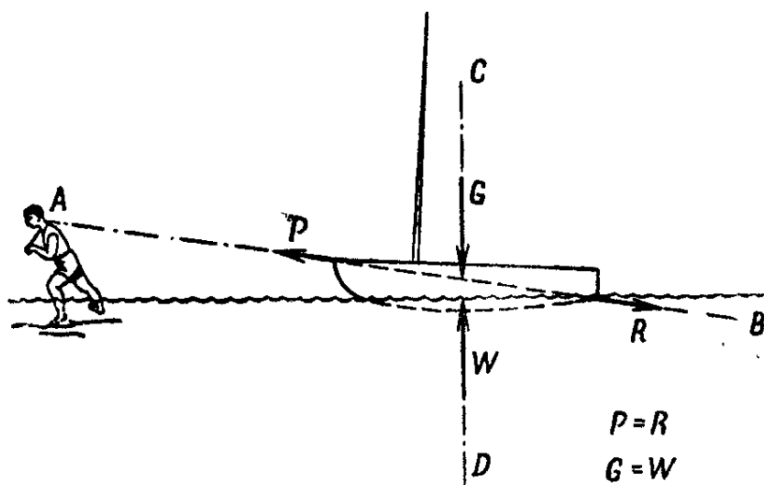


Рис. 2: Буксирование яхты

Теперь рассмотрим пример буксирования яхты (рис. 2 (стр. 7)). На первый взгляд кажется, что при движении яхты действует только сила P , приложенная к буксирному концу. Однако одновременно с началом движения немедленно начинает действовать сила сопротивления воды R , которую требуется преодолевать. При равномерном движении яхты силы P и R равны по величине и противоположны по направлению. Если эти силы не равны друг другу, движение яхты или замедляется или ускоряется, в зависимости от того, какая из этих двух сил больше.

Путь, пройденный телом при равномерном движении, пропорционален времени, т.е.,

$$S = v \cdot t$$

где: S — пройденный путь, м, v — скорость движения, м/сек, t — время, сек.

На рис. 3 (стр. 8) показан график равномерного движения, возможного для яхты при ровном, установившемся ветре и определенном курсе.

На рис. 2 (стр. 7) на яхту, кроме сил P и R , действуют еще две силы, расположенные по прямой DC . Одна из них — сила тяжести яхты G , другая — сила плавучести W (сила давления воды на подводную часть корпуса яхты, равная весу вытесняемой яхтой воды). Эти две силы равны и прямо противоположны по направлению. Они постоянно действуют, когда яхта находится на воде, но, уравновешивая друг друга, не могут вызвать движения яхты. Вот еще один пример проявления закона инерции.

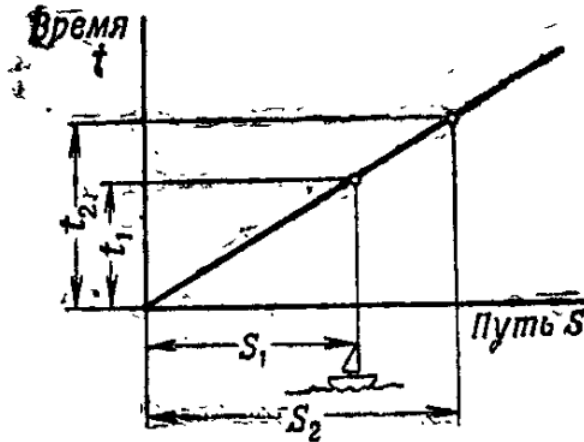


Рис. 3: Равномерное движение яхты

Второй закон Ньютона объясняет поведение тела под действием системы неуравновешенных сил. Лучше всего понять этот закон можно на примере действия определенной силы на тело, находящееся в покое. Начинаем тянуть за буксирный трос с силой P ; яхта движется по прямой с постепенно возрастающей скоростью от нуля до какой-то определенной величины. В это время движение яхты будет прямолинейно-ускоренным.

Когда сила тяги буксира P равна силе сопротивления воды движению корпуса яхты R , скорость яхты становится постоянной. В нашем примере ускорение движения в первую очередь зависит от величины силы P : чем она больше, тем больше и ускорение. Кроме того, легко заметить, что одна и та же сила, действуя поочередно на различные неодинаковые тела, сообщает им разные ускорения. Следовательно, значение ускорения зависит, с одной стороны, от величины действующей силы и, с другой, от свойства тела, называемого массой. Таким образом, масса тела характеризует его способность сопротивляться действию сил.

Масса тела всегда пропорциональна его весу, но это разные физические понятия. Вес выражает направленную вниз силу, с которой земля притягивает массу тела. Вес зависит от величины земного притяжения, меняющегося в разных точках земного шара. Одно и то же тело, взвешенное на полюсе и на экваторе, имеет неодинаковый вес, в то время как масса этого тела осталась неизменной. Отсюда можно сделать вывод, что масса является собственным неизменным свойством тела, не имеющим направленности и не поддающимся графическому выражению.

Второй закон Ньютона гласит: внешняя сила, приложенная к телу с массой m , сообщает ему ускорение в направлении действия силы. Ускорение при этом прямо пропорционально величине силы и обратно пропорционально массе тела. Отсюда:

$$a = \frac{P}{m},$$

где a — ускорение, P — действующая сила, m — масса тела, или $P = m \cdot a$.

Второй закон Ньютона указывает, что ускорение есть непреременный результат действия неуравновешенной системы внешних сил. Там, где возникает ускорение,

всегда действуют внешние неуравновешенные силы, и наоборот, когда действуют такие силы, всегда возникает ускорение движения.

Если пройденный путь при равномерном движении пропорционален времени этого движения, то при равномерно-ускоренном движении он уже пропорционален времени, взятому во второй степени:

$$S = a \cdot t^2$$

где: a — ускорение, м/сек, t — время, сек.

При неровном, порывистом ветре возникающие на парусе силы тяги постоянно меняются, в результате чего меняется и скорость хода. В соответствии со вторым законом Ньютона изменение скорости будет зависеть от массы яхты.

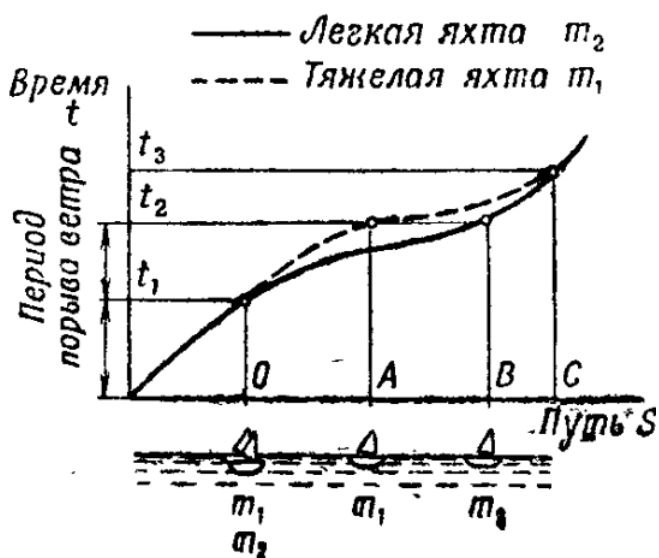


Рис. 4: Движение двух яхт

Представим графически движение двух яхт с разной массой при кратковременном порыве ветра (рис. 4 (стр.9)). Предположим, что две яхты с массами m_1 и m_2 перед шквалом находились в точке O и двигались с равномерной скоростью. Масса m_1 больше массы m_2 . При порыве ветра в промежутке времени $t_1 - t_2$, сила тяги на парусах обеих яхт увеличилась одинаково и стала равной P. Из предыдущей формулы найдем ускорение первой яхты $a_1 = \frac{P}{m_1}$ и ускорение второй яхты $a_2 = \frac{P}{m_2}$. Поскольку $m_1 > m_2$, $a_1 < a_2$, т.е. более легкая яхта при порывах ветра получит большее ускорение, чем тяжелая.

Следовательно, за это время она пройдет дальше, и ее путь будет равен отрезку OB.

В момент окончания порыва ветра легкая яхта опередит тяжелую на отрезок AB. Последняя будет медленнее разгоняться, но, благодаря большей инерции, после прекращения ветра дольше сохранит свою скорость, чем легкая яхта. Географически, в положении B, обе яхты должны поравняться.

Произведение силы на время действия порыва ветра ($P \cdot t$) называется импульсом силы, а произведение массы на скорость ($m \cdot v$) — количеством движения.

Второй закон Ньютона может быть выражен и иначе: импульс силы равен приращению количества движения, или $P \cdot t = m \cdot \Delta v$, где Δv — приращение скорости яхты в результате порыва ветра. Количество движения тяжелой яхты будет: $m_1 \cdot \Delta v_1 = P \cdot t$, а количество движения легкой яхты — $m_2 \cdot \Delta v_2 = P \cdot t$. Следовательно, $m_1 \cdot \Delta v_1 = m_2 \cdot \Delta v_2$.

Таким образом, прирост скоростей будет обратно пропорционален массам этих двух яхт: $\frac{\Delta v_1}{\Delta v_2} = \frac{m_2}{m_1}$.

Парусникам практически отлично известна инерция яхт, которой они пользуются при подходе к месту швартовки с убранными парусами.

Понятие «инерция яхты» на основании второго закона Ньютона можно заменить понятием «количество движения» яхты. Количество движения яхты $m \cdot v$ должно быть затрачено на преодоление сил трения корпуса о воду R (сопротивление воды), действующих определенное время; следовательно: $m \cdot v = R \cdot t$.

Чем больше масса яхты, тем длиннее путь, который она, идя по инерции, должна пройти, чтобы остановиться.

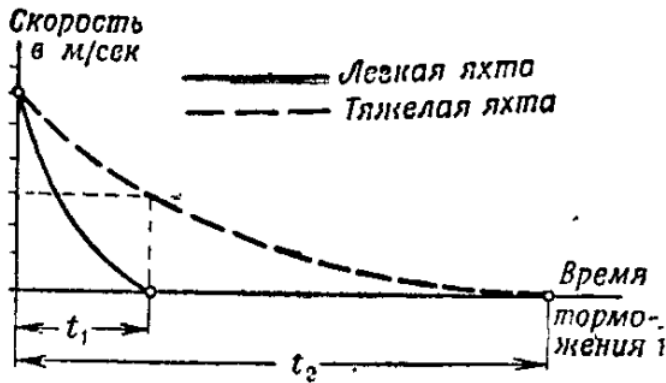


Рис. 5: Торможение двух яхт

На рис. 5 (стр. 10) дан график торможения двух одинаково вооруженных яхт, входящих в порт с одной и той же скоростью; одна яхта — швертбот, другая — килевая. Если отношение масс этих яхт будет равно 1:8, то и время потери хода (время торможения) тяжелой яхтой будет в восемь раз больше, чем у швертбота. Тяжелые яхты медленнее берут разбег, но и медленнее теряют скорость.

На волне килевые яхты, как более тяжелые, ведут себя спокойнее, поскольку они менее чувствительны к действию волн. Понятно, что техника управления яхтой в тяжелых и в легких условиях волны и ветра не должна быть одинаковой. Подробнее об этом сказано в следующих главах.

1.1.3 Сложение и разложение сил и скоростей

Из второго закона Ньютона известно, что каждая действующая на тело сила сообщает ему соответствующее ускорение, независимо от того, какие еще силы действуют на это тело. Находясь под действием нескольких сил одновременно, тело может получить несколько ускорений, но наблюдатель увидит только одно, являющееся результирующим движением. Представим себе яхту, буксируемую двумя тросами,

составляющими какой-то угол с диаметральной плоскостью яхты (рис. 6 (стр. 11)). Допустим, что силы натяжения обоих тросов одинаковы и равны P . Известно, что яхта под действием этих сил будет двигаться в таком направлении, будто вместо двух сил P , действующих в направлении CB и CD , действует одна результирующая сила W . Величина и направление результирующей двух сил, приложенных в одной точке и имеющих разные направления, определяются как диагональ параллелограмма, построенного на известных силах. Этот способ сложения или разложения сил очень полезен, так как облегчает анализ их взаимодействия.

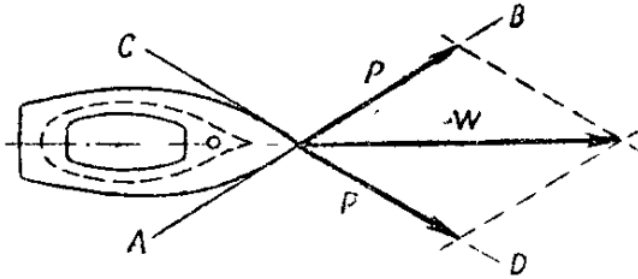


Рис. 6: Сложение сил

При разложении силы ее вектор рассматривается как диагональ параллелограмма, стороны которого направлены по линиям действия двух слагающих сил. Например, аэродинамическая сила тяги паруса раскладывается по оси симметрии яхты и перпендикулярно ему. Очевидно, силу P и любую силу можно разложить на две, действующие и в других направлениях, например OA и OB (рис. 7 (стр. 11)).

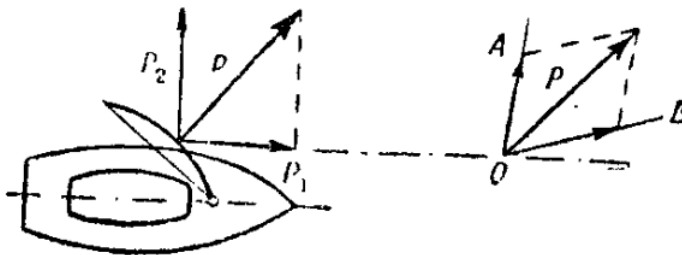


Рис. 7: Разложение сил

Скорости яхт, подобно силам, также могут быть изображены графически в виде векторов, которые можно складывать и раскладывать по правилу параллелограмма.

Представим себе яхту (рис. 8 (стр. 12), 1), идущую под действием ветра. На парусе со скоростью v_1 , на знак, который она должна обогнуть правым бортом. Одновременно яхта движется по течению реки, скорость которого v_n . Действительная скорость яхты определится как результат сложения этих двух скоростей v_w .

Такие случаи часто бывают на практике. Результативную скорость v_w можно разложить на два направления: в направлении цели движения и перпендикулярно

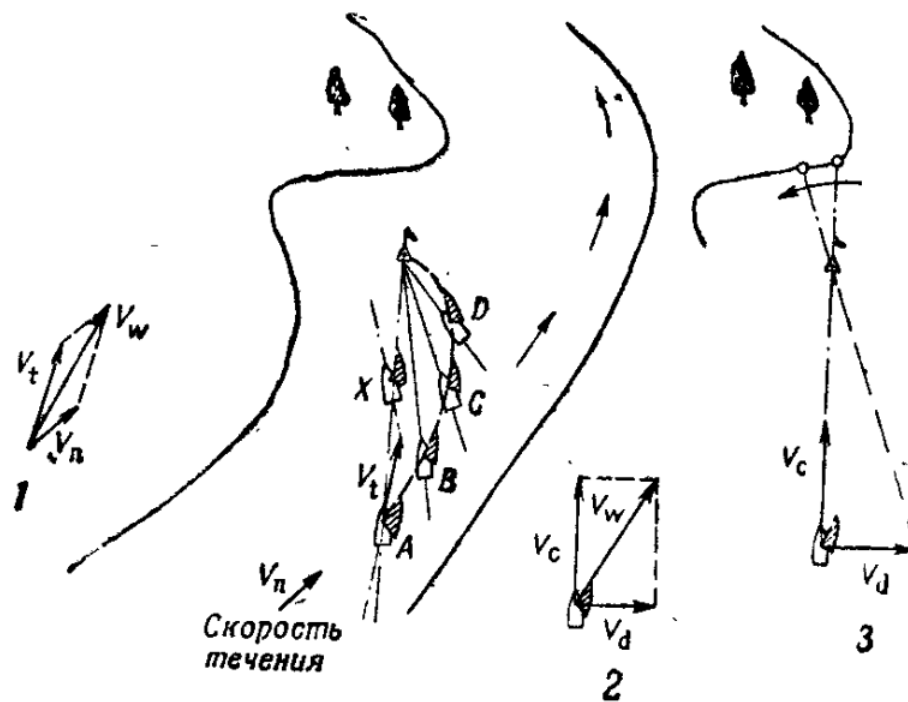


Рис. 8: Курсы яхт при дрейфе

ему. Яхта, двигаясь к цели со скоростью v_c , одновременно будет дрейфовать в сторону от нее со скоростью v_d (рис. 8 (стр. 12), 2). Если неопытный рулевой будет держать курс прямо на цель, т.е. постоянно держать цель на оси яхты, то путь ее будет $ABCD$. Такому рулевому у знака «не хватит высоты», и он потеряет время на контргалс.

Косвенным путем скорость дрейфа можно контролировать, наблюдая за движением поворотного буя на фоне горизонта (рис. 8 (стр. 12), 3). Надо держать такой курс, чтобы буй оставался на одном и том же месте на фоне горизонта: при этом путь яхты к бую будет кратчайшим и наиболее выгодным. Неправильный учет дрейфа может поставить рулевого в очень невыгодное и опасное положение у знака при перемене галса, ведущее к нарушению гоночных правил.

стр. 15

1.1.4 Условия равновесия

Представим себе яхту, стоящую у причала без парусов в штилевую погоду (рис. 9 (стр. 13), 1). По законам механики яхта находится в равновесии, если ее вес G уравновешен давлением воды W на подводную часть корпуса и обе эти силы действуют по одной вертикали, но в противоположных направлениях. Другими словами, сумма проекций сил, действующих по оси $y - y$, должна быть равной нулю ($\Sigma P_y = 0$). Это самый простой случай равновесия системы сил, действующих на яхту. На самом деле приходится сталкиваться с гораздо более сложной системой пространственных сил.

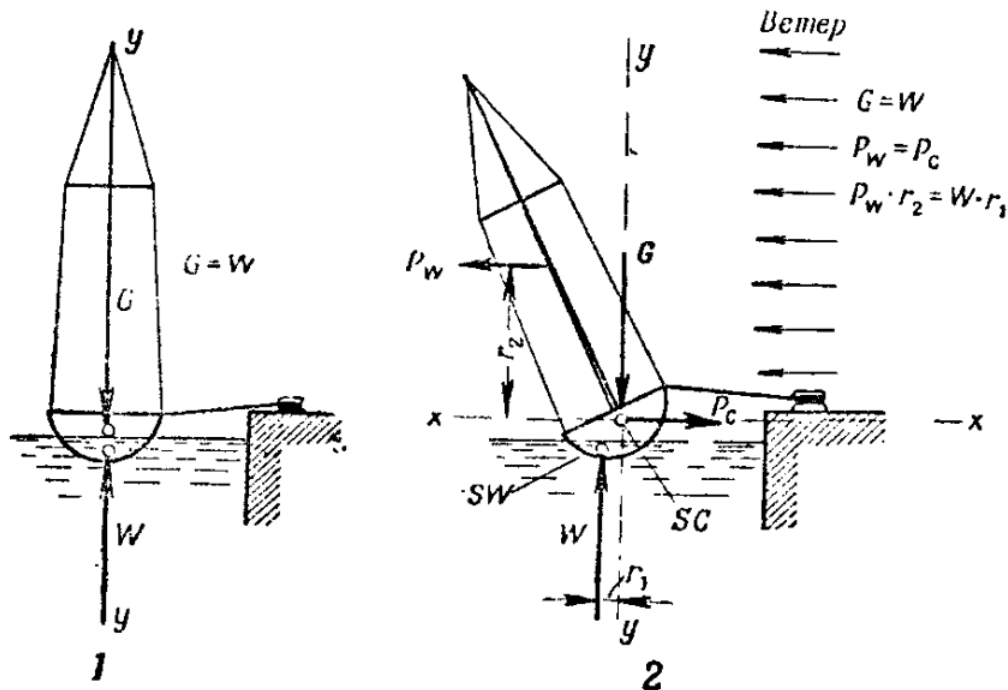


Рис. 9: Яхты у причала

Теперь представим себе ошвартованную яхту без парусов под действием сильного ветра (рис. 9 (стр. 13), 2). Под действием ветра P_w , на рангоут и такелаж яхта накренится и начнет дрейфовать под ветер. Силе P_w , вызывающей дрейф, противодействует сила натяжения швартовов P_c . Кроме того, на яхту действуют: сила тяжести G , проходящая через центр тяжести яхты, и сила гидростатического давления W , проходящая через точку, называемую центром водоизмещения. Для упрощения рассуждений допустим, что все эти силы лежат в одной и той же поперечной плоскости шпангоутов.

стр. 16

Через центр тяжести яхты SC проведем координатные оси $x-y$. Чтобы сохранилось равновесие яхты под действием указанных сил, необходимо выполнение следующих трех условий классической механики:

1. сумма проекций сил на ось $x-x$ должна быть равна нулю;
2. сумма проекций сил на ось $y-y$ должна быть равна нулю;
3. сумма моментов сил относительно центра тяжести SC должна быть равна нулю, или иначе:

$$\text{а) } \Sigma P_x = 0; \quad \text{б) } \Sigma P_y = 0; \quad \text{в) } \Sigma M = 0.$$

Момент силы относительно центра тяжести равен произведению силы на плечо, взятое по центру тяжести O (рис. 10 (стр. 14), 1). Плечо силы r измеряется от центра тяжести перпендикулярно направлению действия силы. Условно примем, что

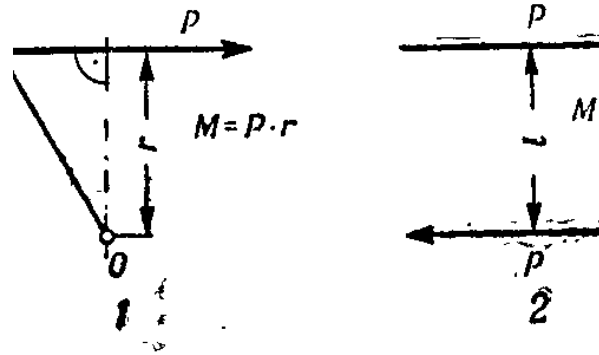


Рис. 10

Рис. 10: Момент силы

момент обозначается знаком «плюс» (положительный момент) — при вращении тела в направлении движения часовой стрелки и знаком «минус» — при вращении против часовой стрелки (отрицательный момент).

Кроме понятия момента силы, в механике встречается еще понятие момента пары сил: это произведение силы P на плечо l между этими силами (рис. 10 (стр. 14), 2). Действие момента пары сил подобно действию момента силы, т. е. оно стремится сообщить телу вращательное движение. Момент выражается обычно в кГм, так как величина силы выражается в кГ, а плечо — в м. Возвращаясь к нашему примеру на рис. 9 (стр. 13), можем заметить, что проекция силы P_w на ось $x-x$ равна силе P_c , но направлена в противоположную сторону:

$$P_c - P_w = 0.$$

Следовательно, первое условие равновесия выполнено. Проекция силы W на ось $y-y$ равна силе G и противоположна по направлению: отсюда

$$W - G = 0.$$

Относительно центра тяжести силы G и P_c не дают никакого момента, поскольку проходят через начало координат и не имеют плеча, которое в данном случае равно нулю. Для равновесия яхты теперь необходимо соблюдение третьего условия — сумма моментов сил W и P_w должна быть равна нулю, т. е. $W \cdot r_1 - P_w \cdot r_2 = 0$.

Момент $W \cdot r_1$ будем называть в теории парусного плавания восстанавливающим моментом M_p . Если этот момент достаточно велик, чтобы уравновесить момент $P_w \cdot r_2$ (кренящий момент), то яхта, находясь под некоторым углом крена, будет сохранять равновесие. Если сила ветра чрезмерно велика, восстанавливающий момент может оказаться недостаточным и яхта может перевернуться, что и бывает с швертботами. Такие случаи чаще происходят, если порыв ветра направлен на яхту в плоскости шпангоутов. Порывистый и сильный ветер менее опасен, если действует на яхту в плоскости симметрии корпуса, т. е. в плоскости наибольшей устойчивости яхты.

Подводя итоги всему сказанному о силах, можно сделать следующий вывод: результат действия сил на яхту может проявиться как движение или как состояние равновесия (уравновешенного крена). Действующие на яхту внешние силы могут также вызывать внутренние напряжения в материале, из которого построена яхта.

Вопросами прочности конструкции, сопротивляемости яхты действию сил занимаются конструкторы-судостроители. В наших дальнейших рассуждениях мы будем заниматься прежде всего вопросами движения и равновесия яхты, так как они имеют решающее значение в соревнованиях парусных судов.

1.1.5 Плаву́честь

Плаву́честь — одна из основных характеристик яхты. Плаву́честь — это способность яхты держаться на воде при погружении корпуса (осадке T) до уровня теоретической ватерлинии. Это — следствие давления воды на погруженную часть корпуса яхты, действующего перпендикулярно поверхности корпуса. С глубиной погружения давление воды увеличивается (рис. 11 (стр. 15)).

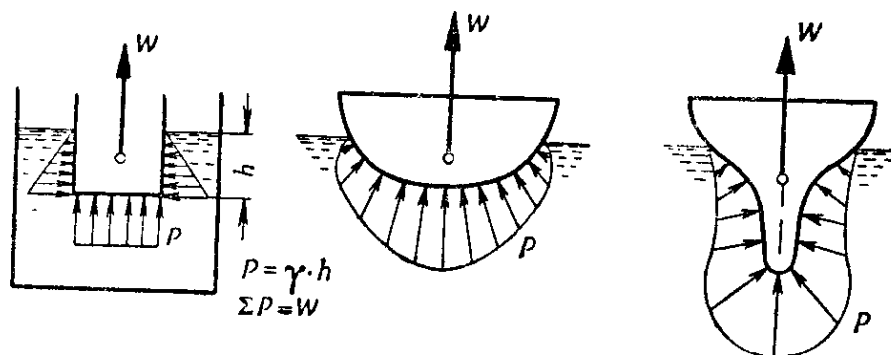


Рис. 11

Рис. 11: Гидростатическое давление

В результате суммарного действия давления частиц воды на всю погруженную часть корпуса образуется равнодействующая сила гидростатического давления W . Она приложена в центре тяжести вытесненной корпусом воды, называемом центром величины, и направлена вертикально вверх, т. е. в сторону, противоположную действию силы веса яхты (G). Законом Архимеда установлено, что вес плавающего тела равен весу вытесненной им воды. Но объем вытесненной телом воды также равен объему погруженной части тела и, следовательно:

$$G = W = \gamma V,$$

где: γ — удельный вес воды, кГ/м^3 ,
 V — объем погруженной части корпуса яхты, м^3 ,
 W — гидростатическое давление, кГ .

Объем V погруженной части корпуса яхты в известной степени является мерой плаву́честь и называется водоизмещением. Объем надводной части корпуса, находящейся над конструктивной ватерлинией, называется запасным водоизмещением.

От величины запасного водоизмещения сильно зависит способность яхты хорошо держаться на волне и ее остойчивость. Важное значение имеет распределение запасного водоизмещения между носовой и кормовой частями корпуса: яхта с низкими надводными бортами легко заливаается волнами. Высоту надводного борта устанавливают в зависимости от условий акватории, где будет плавать яхта.

Обычно для швертботов и небольших яхт высота надводного борта F берется 0,3–0,4 м, а для более крупных морских яхт 0,7–1,2 м.

У неподвижной яхты вес G всегда уравновешен гидростатическим давлением W . На ходу же возникают дополнительно гидродинамические силы, вследствие чего меняется положение ватерлинии, предусмотренной в проекте яхты.

рез определенный промежуток, например 1 м. По этс

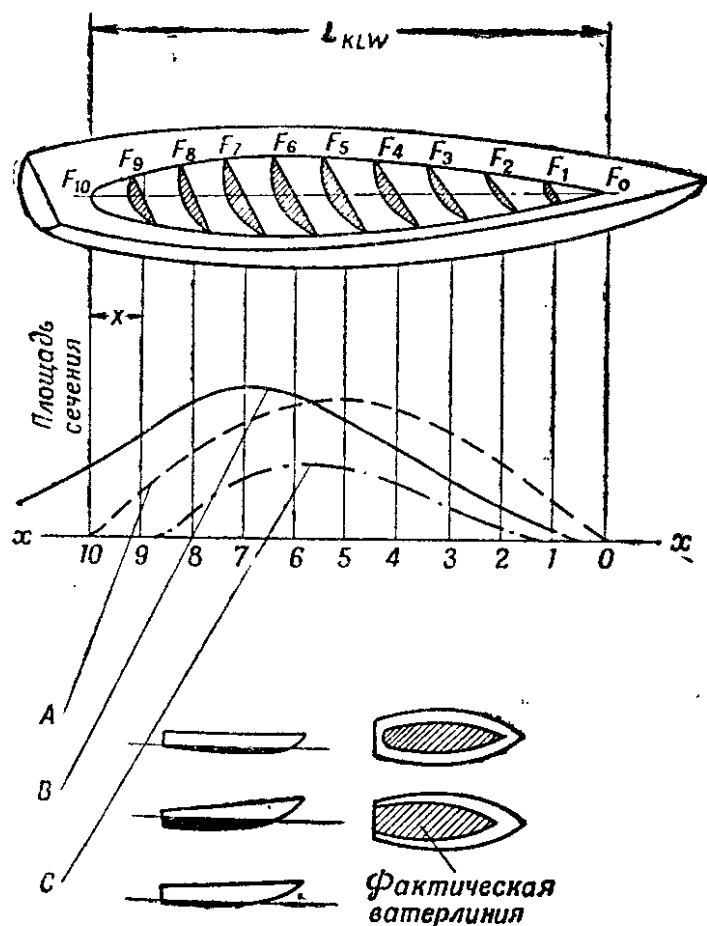


Рис. 12: Строевая по шпангоутам

На теоретических чертежах часто дается кривая сечений корпуса яхты в плоскости шпангоутов, взятых через определенный промежуток, например 1 м. По этой кривой можно составить представление о распределении водоизмещения яхты по длине корпуса. На рис. 12 (стр. 16) показаны сечения подводной части корпуса от F_0 до F_{10} . Точки поперечных сечений корпуса переносятся на горизонтальную ось $x-x$, после чего проекция ватерлинии будет разбита на десять равных частей. Из полу-

ченных на проекции ватерлинии точек восстанавливаем перпендикуляры, а на них в условном масштабе соответственно откладываем величину половин поверхности погруженной части корпуса, вычисленных по шпангоутным сечениям.

стр. 20

Соединив линией полученные на перпендикулярах точки, получим кривую поверхности сечений по шпангоутам — A , так называемую строевую по шпангоутам. Площадь между полученной кривой и осью $x-x$ представляет собой водоизмещение яхты в определенном, выбранном нами, масштабе. Строевая по шпангоутам A служит для нахождения центра величины S .

Характер строевой по шпангоутам будет меняться в зависимости от осадки яхты: например, если увеличится осадка на корму, то соответственно уменьшится осадка на нос яхты (см. кривую B). При этом изменится и положение центра величины S , что, в свою очередь, повлияет на продольную остойчивость яхты. Когда яхта идет с большой скоростью, вследствие действия гидродинамических сил ее осадка заметно уменьшается и строевая по шпангоутам может принять вид, указанный на кривой C .

На небольших скоростях у яхт наблюдается несколько большее углубление кормы сравнительно с носом. На больших скоростях хода гидродинамические силы растут столь быстро, что при благоприятной форме корпуса яхты могут полностью уравновесить вес яхты. Водоизмещение такого корпуса при этом может уменьшиться почти до нуля, и яхта войдет в состояние глиссирования, т. е. скольжения по поверхности воды.

Итак, плавучесть яхты зависит не только от гидростатического, но и от гидродинамического давлений. Теперь в проектировании яхт учитываются новые факторы, которые прежде не принимались в расчет. Классический закон Архимеда, закон гидростатического давления, уже не может полностью объяснить явления, происходящие при плавании с большими скоростями. Особенно это стало ясным во время опытов со скоростными моторными глиссерами — водолетами. В связи с этим в проектировании и строительстве яхт, особенно небольшого размера, все больше видно стремление использовать прежде всего гидродинамические силы. Новое направление расширяет возможности достижения высоких скоростей, немислимых для яхт, при проектировании которых учитывались только гидростатические силы.

стр. 21

1.1.6 Остойчивость

Остойчивость — одна из самых важных характеристик яхты. Остойчивостью называется способность яхты сохранять на воде равновесие под действием внешних сил — ветра и волны.

Из физики известны три рода равновесия: устойчивое, неустойчивое и безразличное. Для безопасности плавания яхты должны обладать устойчивым равновесием. Устойчивое равновесие характеризуется стремлением тела сохранить свое начальное положение вопреки действию внешних сил.

Равновесие яхты может быть нарушено в трех возможных плоскостях: 1) в поперечной, т. е. в плоскости шпангоутов (рис. 13 (стр. 18), 1); 2) в плоскости симметрии (рис. 13 (стр. 18), 2) и 3) в горизонтальной плоскости движения яхты (рис. 13 (стр. 18), 3). В соответствии с этим обычно говорят об остойчивости яхты поперечной, или продольной, или в направлении движения.

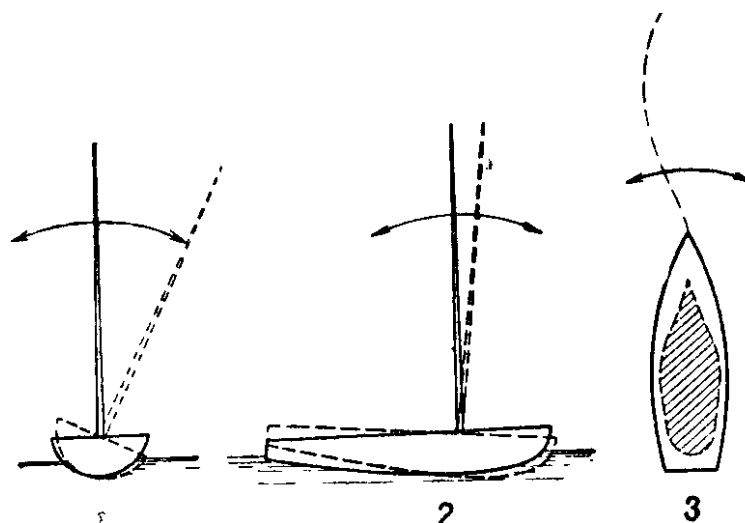


Рис. 13: Плоскости устойчивости яхты

Для безопасности плавания наибольшее значение имеет поперечная устойчивость. Она заметно влияет на основные гоночные качества яхты — ее скорость и способность идти круто на ветер.

Устойчивость зависит от: 1) формы корпуса, 2) взаимного положения центра тяжести и центра величины, 3) степени волнения воды, 4) характера действующих на паруса аэродинамических сил.

стр. 22

Поперечная устойчивость (устойчивость формы) Представим себе, что в результате давления ветра на паруса (рис. 14 (стр. 19)) на швертботе возникает кренящий момент M . В положении 1 кренящему моменту M не противостоит никакой другой уравновешивающий момент; швертбот, очевидно, не сможет сохранить вертикальное положение и начнет наклоняться в плоскости шпангоутов, вращаясь вокруг центра водоизмещения SW . Крену будет противодействовать возникающий при этом восстанавливающий момент M_p (рис. 14 (стр. 19), 2). Когда швертбот наклонится на угол φ , центр величины SW переместится в направлении крена, так как соответственно изменится форма погруженной части корпуса. Центр величины всегда лежит в центре тяжести плоскости, ограниченной новой ватерлинией.

Восстанавливающий момент M_p есть результат действия пары сил W и G , удаленных друг от друга на величину плеча l . Момент M_p можно определить по формуле:

$$M_p = W \cdot l = G \cdot l.$$

Величина момента зависит от величины гидростатического давления W , равного весу яхты G , и от величины плеча пары сил l . Будем считать M_p положительным, когда его действие направлено против кренящего момента M .

стр. 23

Если кренящий момент M действует постоянно, яхта будет крениться до тех пор, пока оба момента M и M_p не станут равными: тогда крен прекратится и яхта будет находиться в положении равновесия и плыть с креном под углом φ . С увеличением момента M крен будет увеличиваться, и, пройдя через положения 3, 4 и 5 (рис. 14 (стр. 19)), яхта, наконец, опрокинется.

W . Крену будет противодействовать возникающий п

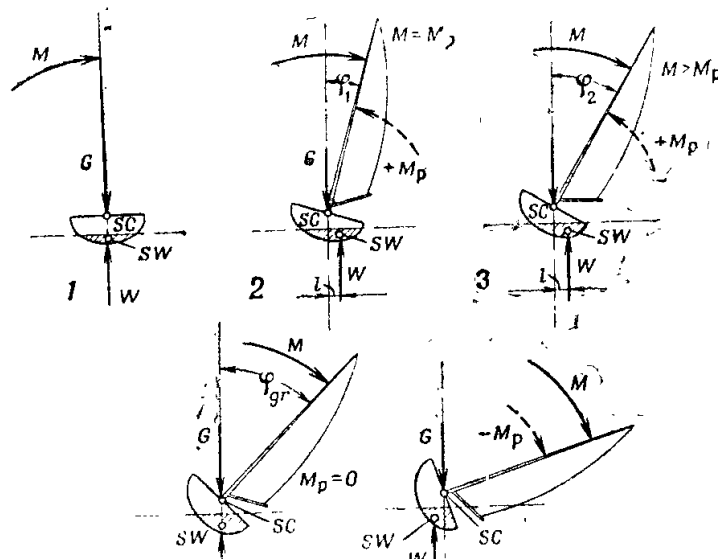


Рис. 14: Крен швертбота

В положении 4 силы W и G действуют по одной вертикали и не образуют момента, поскольку плечо l равно нулю: яхта находится в неустойчивом равновесии. Теперь, если крен увеличивается, действие пары сил становится отрицательным, совпадающим с действием кренящего момента. Таким образом, значение восстанавливающего момента M_p в зависимости от угла крена может быть положительным и отрицательным.

стр. 24

Наглядно это можно представить в виде графика кривой остойчивости (рис. 15 (стр. 20)).

На оси ординат откладываем восстанавливающий момент M_p , а на оси абсцисс — угол крена φ . С ростом угла крена увеличивается и восстанавливающий момент, достигая своего максимального значения $M_{p \text{ макс}}$ при угле крена $\varphi_{\text{макс}}$. В этом положении плечо l пары сил G и W имеет наибольшую величину.

Отрезок кривой остойчивости OA характеризует, таким образом, устойчивое равновесие яхты, что можно пояснить следующим примером. Предположим, что под действием кренящего момента M_1 яхта накренилась на угол φ_1 и наступило равновесие, так как кренящий и восстанавливающий моменты стали равны друг другу (см. точку D на кривой рис. 15 (стр. 20)). Из рис. 16 (стр. 19) видно, что

$$M_1 = P \cdot h.$$

Угол крена φ_1 будет постоянным при $M_1 = M_{p1}$, а следовательно, и $P \cdot h = G \cdot l$.

Если сила давления ветра на парус возрастет на ΔP , то соответственно увеличится кренящий момент на ΔM (см. рис. 15 (стр. 20)). Яхта накренится на угол φ_2 , при котором

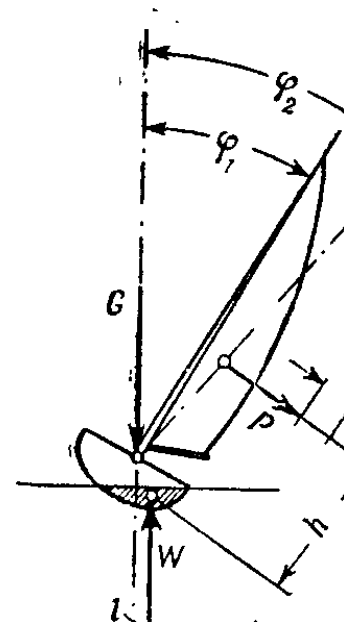


Рис. 16: Крен яхты

станут равными: тогда крен прекратится и яхта вернется в исходное положение.

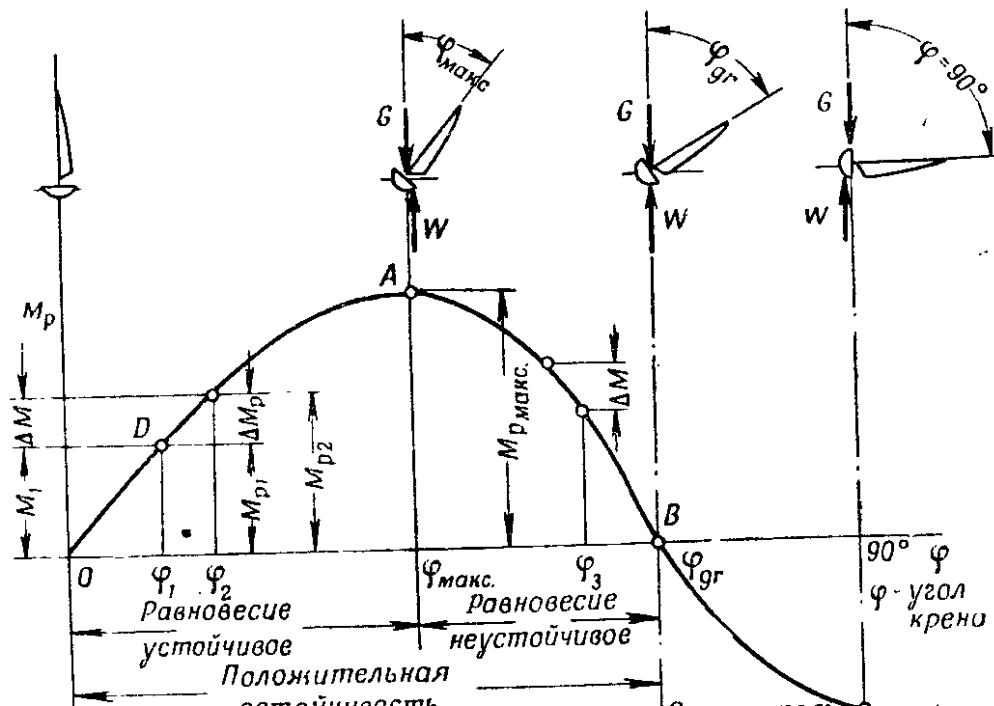


Рис. 15: Кривая остойчивости

$$\Delta M = \Delta M_p, \quad M_1 + \Delta M = M_{p2}.$$

Увеличению кренящего момента ΔM противостоит соответственное увеличение восстанавливающего момента ΔM_p . Когда кренящий момент уменьшается до величины M_1 , яхта автоматически возвращается в прежнее положение с углом крена φ_1 .

Такой резерв восстанавливающего момента возникает на кривой остойчивости только на участке OA . Угол $\varphi_{\text{макс}}$ является максимальным углом крена, границей сохранения яхтой устойчивого равновесия.

Если швертбот будет находиться в положении равновесия при крене, равном углу φ_3 , то увеличение кренящего момента на ΔM может опрокинуть яхту.

Опрокидывание можно предупредить умелым использованием команды в качестве дополнительного балласта. В этом положении яхта не имеет устойчивого равновесия, поскольку приросту кренящего момента M не противостоит соответствующий прирост восстанавливающего момента M_p . В границах углов крена от $\varphi_{\text{макс}}$ до φ_{gr} , величина восстанавливающего момента уменьшается с увеличением угла крена, т. е. обратно тому, что происходило на участке OA кривой остойчивости. Участок AB характеризует положение неустойчивого равновесия. При углах крена больше чем φ_{gr} , восстанавливающий момент M_p становится отрицательным; это значит, что яхта опрокинется даже в том случае, если на нее не действуют никакие внешние силы.

Отсюда следует, что швертботы могут плавать без риска опрокинуться при углах крена, меньших $\varphi_{\text{макс}}$. В границах крена от $\varphi = 0$ до $\varphi_{\text{макс}}$ швертботы авто-

матически поддерживают положение устойчивого равновесия. При крене от $\varphi_{\text{макс}}$ и больше яхта находится в неустойчивом равновесии, и малейшее увеличение кренящего момента приведет к опрокидыванию судна. Для предотвращения опрокидывания единственным выходом будет растравливание шкотов, чтобы уменьшить давление ветра на паруса. Для швертботов характерные значения углов крена таковы: $\varphi_{\text{макс}} = 30\text{--}45^\circ$, $\varphi_{gr} = 60\text{--}80^\circ$.

Остойчивость швертботов, определяемая с помощью кривой (см. рис. 15 (стр. 20)), называется остойчивостью формы.

Влияние параметров яхты на поперечную остойчивость Большое значение для поперечной остойчивости имеет форма корпуса яхты. От нее зависит величина восстанавливающего момента M_p и величина характерных углов крена $\varphi_{\text{макс}}$ и φ_{gr} , играющих большую роль в безопасности плавания и достижении наилучших результатов в гонках.

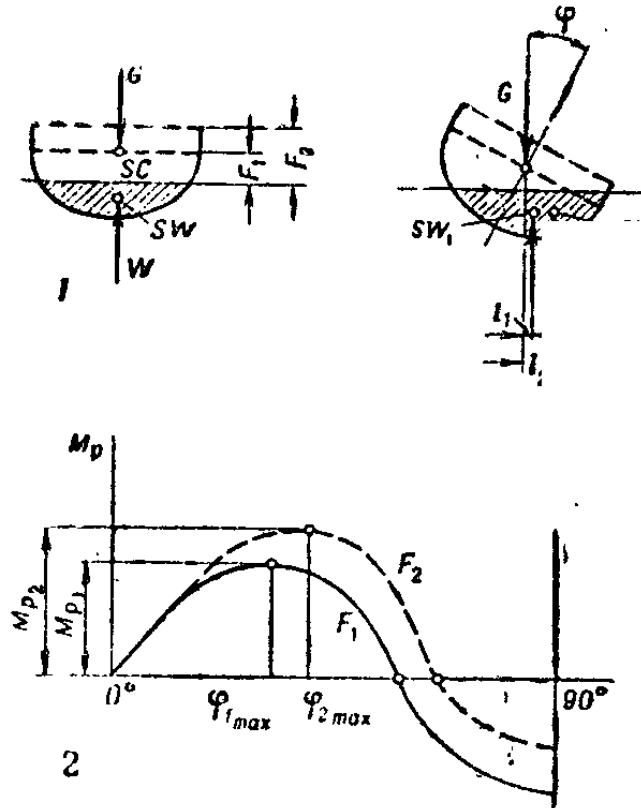


Рис. 17

Рис. 17: Влияние высоты борта

Сравним две яхты с одинаковой шириной, но с разной высотой надводного борта F_1 и F_2 (рис. 17 (стр. 21), 1). Графики остойчивости этих яхт даны на рис. 17 (стр. 21), 2. Яхта с высоким надводным бортом F_2 остойчивее, так как восстанавливающий

момент M_{p2} у нее больше и больше максимально допустимый угол крена. M_{p2} больше M_{p1} и $\varphi_{2\text{макс}}$ больше $\varphi_{1\text{макс}}$. Обе яхты имеют одинаковую начальную остойчивость, т. е. остойчивость при малых углах крена, но при увеличении угла крена яхта с высокими бортами сохраняет значительно большую остойчивость, чем низкорботная.

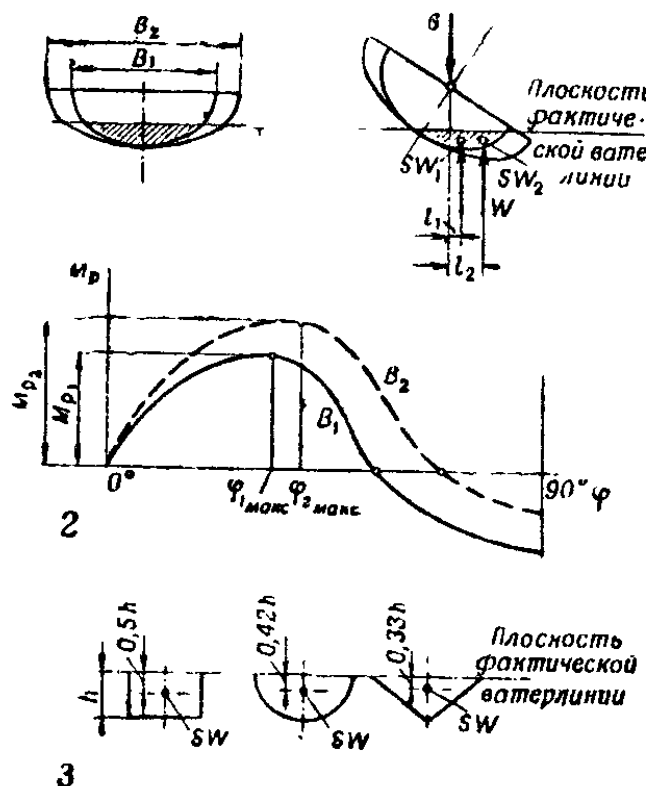


Рис. 18

Рис. 18: Влияние ширины корпуса

Сравним теперь графики остойчивости двух яхт, отличающихся друг от друга шириной корпуса — B_1 и B_2 . Кривые остойчивости показаны на рис. 18 (стр. 22). И начальная и конечная остойчивости у этих яхт разные, причем более широкая яхта — более остойчива, поскольку плечо l_2 пары сил GW больше плеча l_1 . Величина плеча данной пары сил GW зависит от положения центра величины SW , а последний, как известно, находится в центре тяжести поля, ограниченного формой погруженной в воду части корпуса и действительной фактической ватерлинией. Рис. 18 (стр. 22), 3 дает наглядное представление положения центра величины в зависимости от формы погруженной части корпуса яхты.

В новейших конструкциях швертботов можно подметить стремление к увеличению ширины корпуса с одновременным увеличением площади парусов с целью создания более быстроходного судна.

Увеличение ширины корпуса яхты обосновано не только интересами остойчивости, но и другими обстоятельствами, важнейшее из которых — необходимость

учета сил гидродинамического давления. В связи с этим в настоящее время подвергаются пересмотру традиционные взгляды на величину отношения длины яхты L к ее ширине B (удлинение), являющегося основной характеристикой формы корпуса.

Поперечная остойчивость (балласт) Поперечная остойчивость зависит не только от формы корпуса, но и от взаимного положения центра тяжести и центра величины.

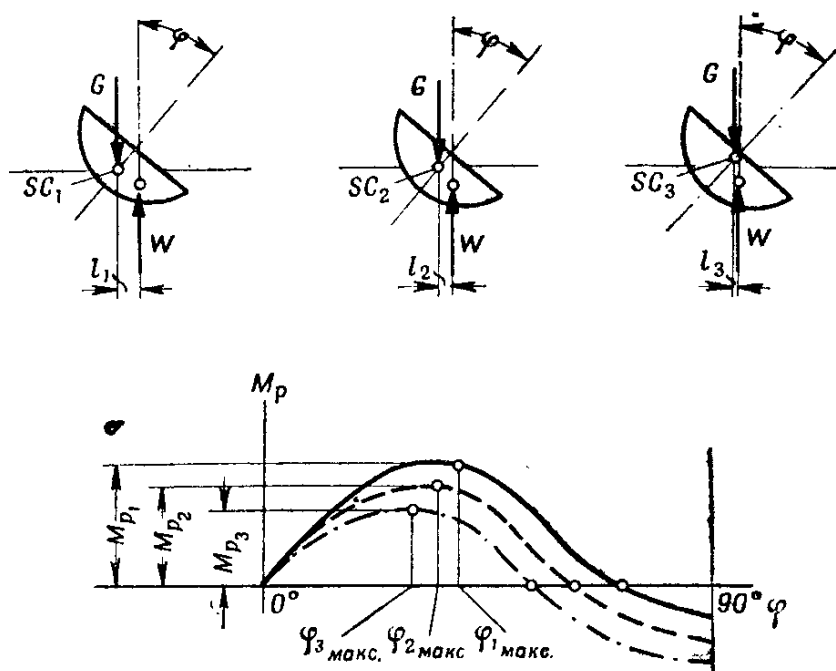


Рис. 19

Рис. 19: Влияние положения центра тяжести

Допустим, что три яхты одинаковой формы отличаются только расположением центров тяжести SC_1 , SC_2 , SC_3 (рис. 19 (стр. 23)). Сравнивая соответствующие схемы действия сил при крене и кривые остойчивости, нетрудно заметить, что чем ниже центр тяжести яхты, тем она остойчивее. Дело в том, что чем ниже центр тяжести, тем больше плечо и восстанавливающий момент пары сил GW . Низкое положение центра тяжести особенно успешно используется при конструировании килевых яхт, когда применяются железные или свинцовые фальшкили, находящиеся в наиболее погруженной части корпуса.

Вес балластного кия колеблется от 30 до 75% общего веса яхты. Для внутренних водоемов строятся яхты с меньшим весом балластного кия, чем для плавания в открытом море.

Форма кривой остойчивости килевой яхты B сильно отличается от таковой для швертбота A (рис. 20 (стр. 24)). По мере увеличения угла крена килевой яхты плечо

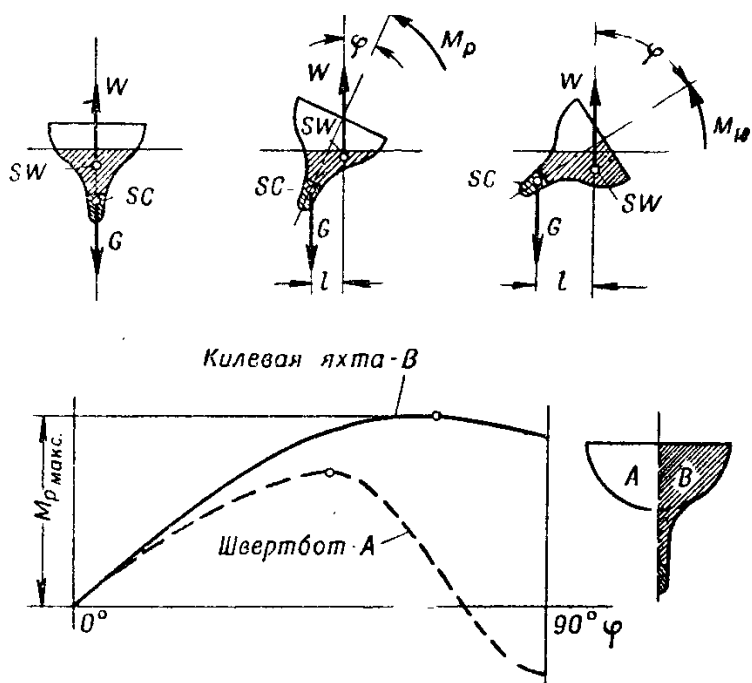


Рис. 20

Рис. 20: Сравнение остойчивости швертбота и килевой яхты

l возрастает, из-за чего восстанавливающий момент M_p остается всегда положительным и килевая яхта никогда не теряет положения устойчивого равновесия. По сравнению со швертботом килевая яхта более безопасна для плавания в условиях штормовой погоды, причем взятие рифов, с точки зрения остойчивости, не обязательно.

Остойчивость швертбота и килевой яхты в известной мере зависит от степени волнения моря и шквалистости ветра. Неожиданный порыв ветра и волна могут создать опасный крен и даже послужить причиной опрокидывания швертбота. Особенно опасны динамические, т. е. резкие, ударные, ветровые нагрузки на парус. Они могут привести к утрате судном остойчивости даже при меньших углах крена, чем при той же самой нагрузке, но возрастающей постепенно.

Подробнее эти вопросы будут рассмотрены в главе «Гидромеханика парусной яхты».

1.2 Задачи механики плавания под парусами

В отличие от ряда других областей спорта в плавании под парусами недостаточно одного хорошего физического развития. Рулевой и команда должны обладать значительными познаниями судоводителя и матроса: они должны не только уметь отлично справляться с яхтой в любых условиях волнения и ветра, но и наилучшим образом использовать их. Преобразование энергии естественных сил природы (воды и ветра) в энергию движения яхты производится ее вооружением, работающим в соответствии с законами физики и механики. Следовательно, чтобы успешно управлять яхтой, правильно и максимально использовать возможности ее вооружения, рулевой и команда должны хорошо знать основы механики плавания

под парусами. Знания эти необходимы и для достижения прогресса в парусном спорте.

В соревнованиях побеждает обычно тот рулевой, который сумел пройти дистанцию с большей скоростью, который провел яхту круче к ветру, чем другие. Именно в этом состоит задача наивыгоднейшего использования окружающей среды: воды и ветра. Параграф 24 «Правил парусных соревнований» гласит: «Для движения яхты не должны использоваться никакие другие средства, кроме естественного воздействия ветра на паруса». Парус, получая энергию из атмосферы, трансформирует ее в силу тяги, под действием которой яхта движется по курсу, преодолевая сопротивление воды.

стр. 30

Совершенство гоночной яхты определяется прежде всего скоростью хода и способностью ее идти круто к ветру. Эти качества зависят от возможности получения максимальной силы тяги на парусе, т. е. от аэродинамики паруса и от возможности снижения до минимума всякого рода сопротивлений движению, и в первую очередь гидродинамических сопротивлений корпуса. Умение добиться работы вооружения яхты с большим коэффициентом полезного действия и знание теории и механики плавания под парусами — самые главные после тактики гонок условия успеха. Задачи механики или теории плавания под парусами прежде всего сводятся к следующему:

1. нахождение условий и путей для получения наивысшей при данных обстоятельствах силы тяги на парусах;
2. определение причин возникновения всех видов вредных сопротивлений яхты, с одной стороны, и способов их снижения — с другой.

Современный уровень аэро- и гидродинамики позволяет правильно решить эти насущные вопросы. Несмотря на это, многие яхтсмены трактуют основные вопросы теории парусного плавания на основании устарелых представлений.

В качестве примера критически рассмотрим очень популярную «теорию паруса», которую можно найти почти во всех руководствах по парусному спорту. Обычно эта теория излагается так: «Сила давления ветра на парус AB , приложенная в центре парусности, раскладывается по правилу параллелограмма (рис. 21 (стр. 26), 1) на: 1) перпендикулярную поверхности паруса силу AD и 2) параллельную поверхности паруса силу AC . Силу AC из дальнейших рассуждений можно исключить, так как она, «скользя» по парусу, не оказывает никакого действия на движение яхты. Сила AD , в свою очередь, раскладывается на две слагающие. Одна из них — AE — перпендикулярна направлению движения яхты, другая — AF — направлена параллельно этому движению. Сила AE вызывает дрейф яхты, которому противодействует сравнительно большая площадь бокового сопротивления судна. Сила AF вызывает движение яхты с некоторой скоростью по курсу, отклоненному от диаметральной плоскости яхты на угол дрейфа».

стр. 31

Ошибочность приведенной «теории паруса» состоит в неправильной оценке сил. В самом деле, если на жесткую систему, какой является парусное вооружение с заложенными шкотами, действуют известные силы, то их действием нельзя пренебрегать. Никакая сила не может бесследно «скользить» или «сплывать», так как такое утверждение противоречит законам механики.

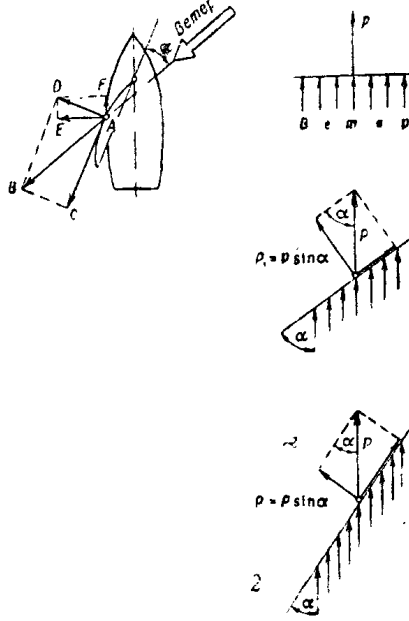


Рис. 21

Рис. 21: К «теории паруса»

Для обоснования «теории паруса» ссылаются на уравнение Ньютона, устанавливающее зависимость между силой ветра и давлением ее на препятствие. Ветер — это поток огромного количества бесконечно малых материальных частиц, налетающих на преграду с определенной скоростью. При ударе о преграду они полностью или в какой-то степени сообщают свою энергию преграде.

На преграде, установленной к ветру под углом 90° , энергия движения ветра тратится полностью (рис. 21 (стр.26), 2). Если преграда стоит к ветру под углом меньше 90° , давление ветра P_1 будет соответственно меньше. Чем больше скорость ветра, тем больше энергия материальных частиц, тем больше энергии поглощается преградой. Сила давления ветра будет также зависеть от величины площади преграды. Встречается следующая формула для определения силы давления ветра на парус:

$$P = \frac{\gamma \cdot v^2}{2g} \cdot S \cdot \sin \alpha,$$

где: P — сила давления ветра,
 γ — удельный вес воздуха около $1,25 \text{ кГ/м}^3$,
 v — скорость ветра, м/сек,
 g — ускорение земного притяжения — $9,81 \text{ м/сек}^2$,
 S — поверхность паруса, м^2 ,
 α — угол установки паруса относительно направления ветра.

Эта формула в определенных границах вполне применима для установления давления ветра на здания и т. п. В условиях, значительно более сложных, с какими приходится иметь дело яхтсмену, она не гарантирует правильных результатов.

Если бы, пользуясь этой формулой, мы построили график сил, действующих

на парус в зависимости от его положения к направлению ветра, то смогли бы убедиться, что наибольшими силы будут при ветре фордевинд, т. е. когда направление ветра перпендикулярно плоскости паруса. Казалось бы, в этом случае под действием максимальных сил яхта должна получить и наибольшую скорость. Такие как будто логичные выводы находятся в явном противоречии с ежедневной практикой. Каждый парусник знает, что наибольшая скорость бывает не на курсе фордевинд, а на курсах, близких к галфвинду.

В вышеприведенной теории и формуле определения давления ветра величина сил на парусе зависит от его площади, форма паруса при этом не учитывается. Но опыт убедительно показывает, что форма паруса, его «пузо», оказывает большое влияние как на скорость хода яхты, так и на ее способность идти круче к ветру. Поскольку вышеупомянутая теория ничего не могла ответить в отношении наиболее выгоднейшей формы паруса и его положения по отношению к ветру, пришлось создавать дополнительные «теории» на этот счет. Появилась «теория биссектрисы угла», согласно которой парус лучше всего работает, когда находится на биссектрисе угла, составленного направлением ветра и диаметральной плоскостью яхты. По этой «теории» при курсе галфвинд плоскость паруса должна находиться под углом 45° к ветру.

Противоречия между выводами, вытекающими из этих популярных «теорий», и парусной практикой служат источником пренебрежения многих парусников теорией вообще. Вместо серьезного повышения своей квалификации путем приобретения подлинных знаний, начинается погоня за «секретами» чемпионов, разгадыванием «тайн», «патентов» и т. п. На этой почве среди парусников возникают быстропроходящие «моды», основанные на ложном выпячивании одного какого-нибудь фактора за счет других, не менее важных в искусстве парусного плавания. Примером такой моды может служить применение огромного количества всевозможных паст для уменьшения сопротивления трения корпуса в воде, как будто только это является важнейшим препятствием на пути к победе в гонках. При этом особенно усердствуют недостаточно квалифицированные рулевые или те, кто поленивее, стараясь скрыть под смазкой все дефекты корпуса неряшливо содержащейся яхты. Другой пример ничем не оправданной моды — распространение яхт класса «Снайп» в качестве гоночных судов. В наши дни «Снайп» не что иное, как яркий образец анахронизма, однако более 10 тысяч владельцев яхт этого класса почему-то уверены в ее высоких гоночно-спортивных данных.

2 Общие сведения о яхтах

Яхтой может быть названо любое парусное судно с характерными размерами и вооружением, служащее исключительно для спортивных целей. Большая килевая яхта с каютой для плавания в открытом море и маленький швертбот, не имеющий палубы, одинаково могут называться яхтами. Само слово «яхта» голландского происхождения: еще в XVI в. так назывались небольшие парусные суда, на которых плавали для развлечения. И в настоящее время в Голландии устраиваются гонки старинных парусных яхт, снабженных забортными швертами.

2.1 Теоретический чертеж яхты

Оценивая гоночные качества яхты какого-либо класса, прежде всего мы обращаем внимание на ее скорость, способность идти круто к ветру, остойчивость и т. п. Эти свойства зависят одновременно от формы и величины корпуса яхты и от характера и величины парусности. Имея хороший опыт, можно на основании теоретических чертежей корпуса и плана парусности оценить хотя бы приблизительно гоночные свойства яхты.

Теоретический чертеж дает основные размеры яхты, характерные разрезы корпуса, т. е. определяет тип яхты и род вооружения. На чертеже размеры корпуса всегда даются по наружной стороне обшивки. На основе теоретических чертежей составляются рабочие чертежи с указанием всех конструктивных размеров, допусков и материалов. По ним и ведется постройка яхты.

Теоретические разрезы корпуса получаются сечением тремя взаимно перпендикулярными плоскостями (рис. 22 (стр. 29)). Вертикальная плоскость, проходящая через продольную ось корпуса и делящая его на две симметричные части, называется *плоскостью симметрии, или диаметральной плоскостью*. Линия пересечения плоскости симметрии с палубой называется *диаметральной линией*.

Горизонтальная плоскость, секущая корпус снаряженной яхты на уровне поверхности спокойной воды, называется *плоскостью ватерлинии (WK)*, а след этой плоскости на наружной стороне обшивки — *конструктивной ватерлинией (KLW)*. Вертикальная плоскость, проходящая по самому широкому месту корпуса перпендикулярно диаметральной плоскости, называется *плоскостью миделя*. Она делит корпус яхты на носовую и кормовую части.

На теоретическом чертеже помещают проекции сечений корпуса, сделанных на равных расстояниях плоскостями, параллельными трем вышеупомянутым плоскостям (рис. 23 (стр. 30)). Так как плоскость симметрии делит корпус на две совершенно одинаковые части, на чертеже показывают линии сечения только одной стороны: эти линии называются *батоксами*, а сам чертеж — *«бокком», или боковой проекцией корпуса яхты* (рис. 24, 1). На рисунке нанесены и другие линии, о которых будет сказано дальше, а также *базисная линия*, по которой определяется положение шпангоутов при закладке.

Проекции сечений корпуса горизонтальными плоскостями на плоскость конструктивной ватерлинии называются *ватерлиниями* (см. рис. 23 (стр. 30)). Посколь-

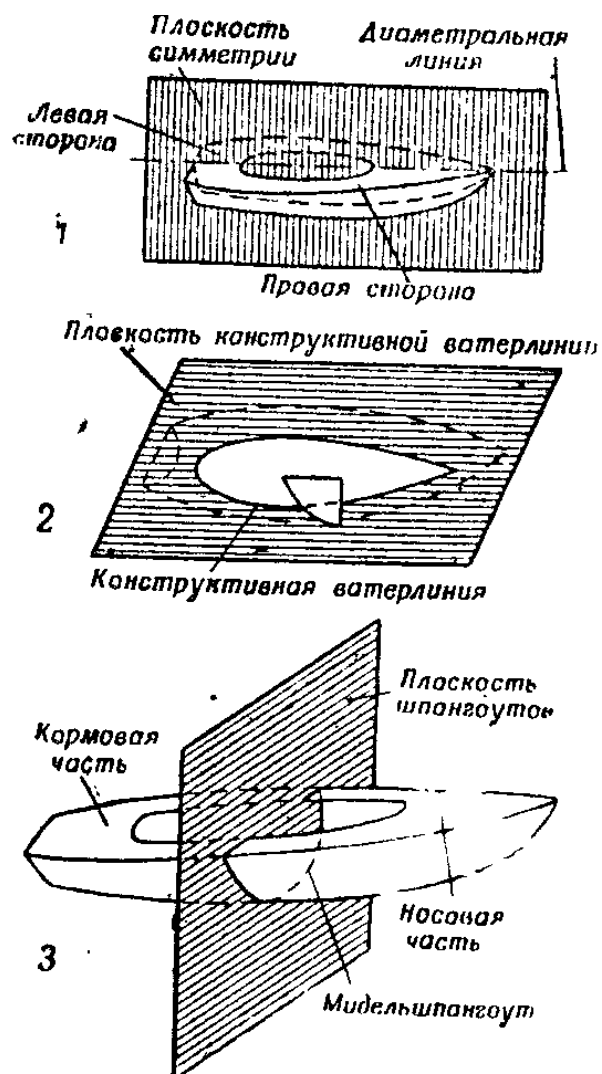


Рис. 22

Рис. 22: Три основные плоскости корпуса яхты

ку обе стороны корпуса одинаковы, на чертеже даются всегда ватерлинии правой стороны (рис. 24, 2). Такой чертеж называется *полуширотой*. На нижней его части показаны еще две кривые: одна — так называемая *строевая по шпангоутам*, позволяющая судить о водоизмещении подводной части корпуса у любого из шпангоутов и форме обводов носа и кормы, и вторая — *линия смоченной поверхности*. Эта кривая дает величину смоченной поверхности корпуса (его подводной части) и распределение ее по длине яхты, что сильно влияет на возникновение сопротивления трения на ходу яхты.

Линии сечений S_1 , S_2 и т. д. получены от пересечения корпуса наклонными плоскостями, проходящими между плоскостью симметрии и самой верхней ватерлинией $W = 5$. Эти линии имеют вспомогательное значение и служат для контроля плавности обводов корпуса и коррекции теоретических чертежей (см. рис. 24, 2).

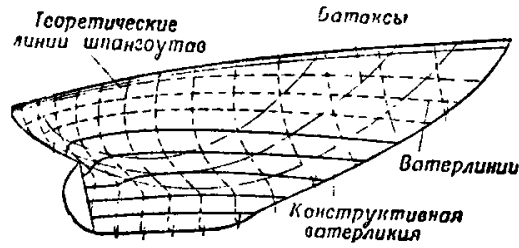


Рис. 23

Рис. 23: Боковая проекция корпуса яхты

Проекции сечений корпуса теоретическими шпангоутами на плоскость мидель-шпангоута показаны на третьем теоретическом чертеже — поперечных сечений, или шпангоутов (рис. 24, 3). На правой стороне рисунка помещаются линии сечения носовой, а на левой — кормовой части корпуса.

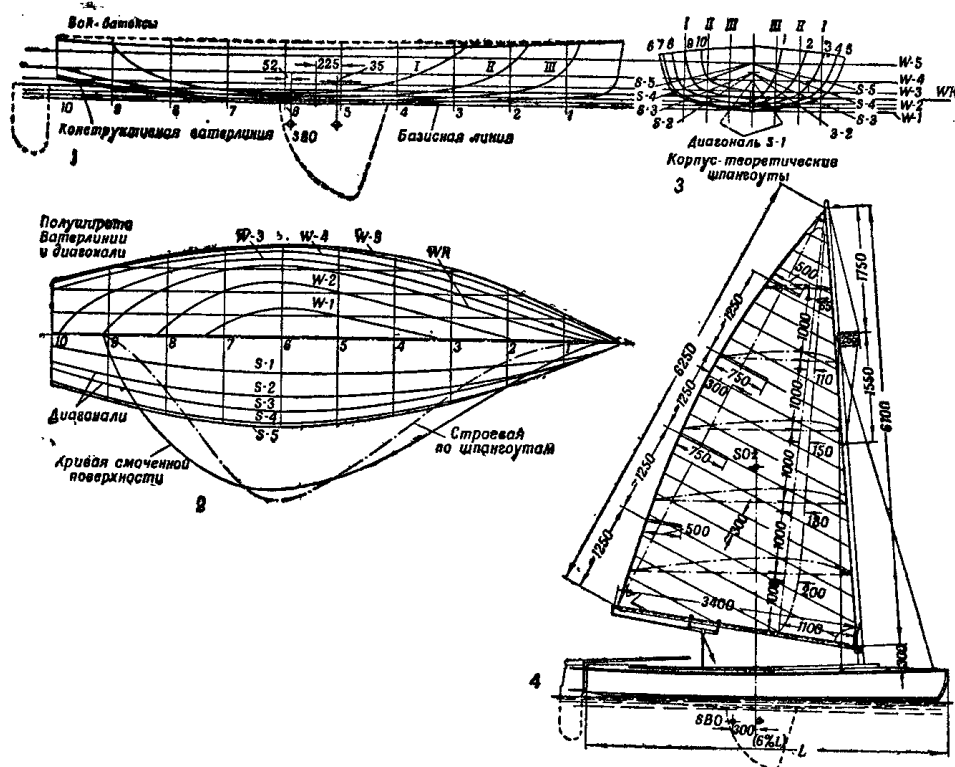


Рис. 24: Теоретический чертеж яхты: 1 — бок, батоксы; 2 — полуширота, ватерлинии и диагонали; 3 — корпус, теоретические шпангоуты; 4 — план парусности

Вышеупомянутые три основные проекции (боковая, поперечная и горизонтальная) в сочетании с планом парусности (рис. 24, 4) составляют основу теоретической документации каждой яхты.

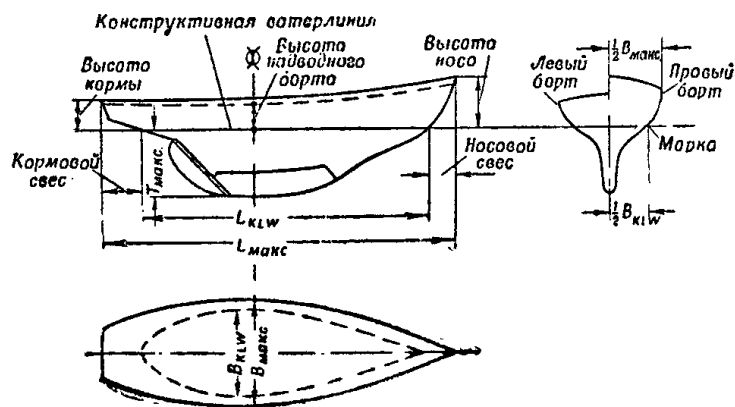


Рис. 25

Рис. 25: Основные размеры яхты

При проектировании и оценке качеств яхты прежде всего внимание обращается на следующие размеры и данные (рис. 25 (стр. 31)):

L_{KLW} — длина яхты по конструктивной ватерлинии (английское обозначение — LWL^2 , немецкое — KWL или OWL^3). Часто действительная длина по ватерлинии несколько отличается от теоретической благодаря разнице в нагрузке (весе яхты) или разнице в осадке носа и кормы.

L_{\max} — максимальная длина корпуса, измеряемая между перпендикулярами, опущенными с крайних точек носа и кормы (английское обозначение — LOA^4 , немецкое — $LüA^5$).

B_{\max} — максимальная ширина корпуса, измеряемая между отвесами, касательными к борту в самой широкой части яхты, обычно в плоскости мидельшпангоута, замаркированной специальным знаком (английское обозначение — *beam*, немецкое — $BüA$).

T_{\max} — максимальная осадка яхты, измеряемая от плоскости конструктивной ватерлинии KLW до самой заглубленной точки корпуса, например до пятки руля (английское обозначение — *draft*, немецкое — *Tiefgang*).

F_6 — высота надводного борта, измеренная в плоскости миделя от палубы до плоскости ватерлинии (KLW).

Величина яхты определяется также ее водоизмещением D и площадью парусности S . Водоизмещение — мера полного веса яхты, корпус которой погружен как раз по ватерлинию; оно выражается в тоннах или m^3 объема вытесненной корпусом воды (английское обозначение — *displacement*, немецкое — *Verdrängung*).

Для килевых яхт часто дается вес фальшкиля G_6 . Величина гоночных килевых яхт часто определяется посредством специальных обмерных формул ($RORC$, KR), о которых речь будет дальше.

Полная площадь парусности S складывается из площади отдельных парусов,

²Length Water Line (Прим. ред.).

³Konstruktionswasserlinie (Прим. ред.).

⁴Length Overall (Прим. ред.).

⁵Länge über Alles (Прим. ред.).

например:

Грот	м ²
Стаксель	”
Бизань	”
Спинакер	”
.....	
Общая площадь парусности	м ²

На теоретическом чертеже «бок» (см. рис. 24, 1) часто указывают две характерные точки:

1) центр парусности SOz , определяемый как центр тяжести поверхности всех парусов;

2) центр бокового сопротивления SBO , определяемый как центр тяжести проекции подводной части корпуса на плоскость симметрии яхты. Принято считать, что через центр бокового сопротивления SBO проходит линия действия сил, противостоящих силам дрейфа. Центр бокового сопротивления смещен на расстояние, равное 6–12% длины яхты, к корме по отношению к плоскости, проходящей через центр парусности и параллельной плоскости мидельшпангоута.

2.2 Эволюция яхты

Конструкция яхты, предназначенной для развлечения и спорта, появилась только в XIX в. В более ранние времена яхты создавались по образцу небольших парусных судов, более или менее приспособленных к специальным целям плавания. Первая гоночная яхта была построена в Америке в 1848 г. по проекту Георга Стирса, конструктора и строителя быстроходных лоцманских судов «Мэри Тэйлор» и «Купер», принесших ему широкую известность.

В гонках вокруг острова Уайт в 1851 г. яхта Стирса, названная «Америка» (рис. 26 (стр. 32)), победила четырнадцать лучших английских яхт, считавшихся образцовыми по конструкции и парусному вооружению. Эта гонка положила начало традиционным гонкам на Кубок Америки, устраиваемым и в наше время.

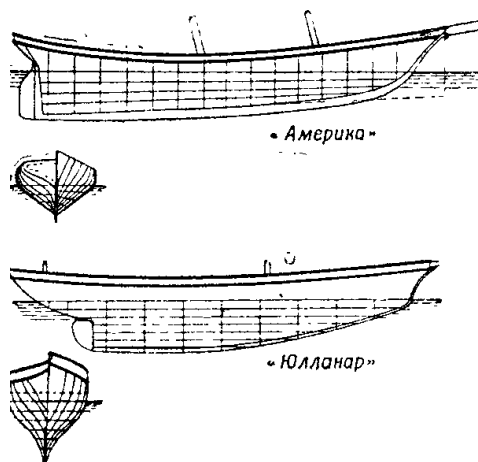


Рис. 26: Яхты «Америка» и «Юлланар»

В отличие от своих конкурентов «Америка» ходила под плоскими парусами, дававшими ей большое преимущество в лавировке: американские конструкторы и спортсмены, специализировавшиеся в строительстве шхун, уже познали преимущество плоских парусов тогда, когда англичане употребляли пузатые, которые давали хорошую тягу только на полных курсах. В то время еще никто не занимался изучением влияния формы («пузатости») паруса на силу тяги. Второй причиной поражения английских яхт была разница в форме их корпуса с «Америкой». Англичане считали, что формой корпус яхты должен походить на тело рыбы — с полными носовыми и острыми кормовыми образованиями. Ошибочность такого представления заключалась в том, что рыбы полностью погружены в воду и не подвержены воздействию тех сил, с которыми сталкиваются плавающие на поверхности воды яхты.

Стирс проектировал корпус «Америки», руководствуясь другими принципами: носовая часть была сравнительно острой, кормовая же — более полной. Наибольшее водоизмещение приходилось на корму, и на ходу «Америка» не давала значительной носовой волны, как английские яхты, и поэтому шла с большей скоростью. Наконец яхта Стирса имела высокий выступающий киль почти по всей длине корпуса, т. е. развитую поверхность бокового сопротивления, и, следовательно, меньше дрейфовала и круче шла к ветру.

Гонимые достоинства «Америки» оказали большое влияние на всех конструкторов и строителей яхт. Выяснилось, что скорость яхты прежде всего зависит от сопротивления корпуса, т. е. от формы корпуса. Отсюда вывод — яхты надо строить более удлиненными.

В конце 80-х годов прошлого столетия в результате исследований известного ученого В. Фруда было правильно оценено значение сопротивления трения. Стронники нового направления старались по возможности уменьшить поверхность подводной части корпуса, от величины которой в первую очередь зависело сопротивление трения. Английская яхта «Юлланар», построенная в 1875 г. Бенталом, послужила прототипом яхт новой конструкции (см. рис. 26 (стр. 32)).

Обмерная формула, учитывающая длину корпуса и поверхность парусности, по которой тогда классифицировали яхты, давала преимущество яхтам с меньшей длиной корпуса, т. е. с меньшим расстоянием между штевнями. Используя это свойство формулы, Бентал удлинил кормовой свес, но для сохранения положения центра бокового сопротивления на прежнем месте ему пришлось одновременно подрезать и переднюю часть корпуса. Как часто бывает на практике, при этом были получены неожиданные результаты, которыми конструктор не задавался: заметно уменьшилась поверхность погруженной части корпуса, а вместе с тем снизилось сопротивление трения.

Погруженная часть корпуса представляет собой геометрическое тело определенной формы и объема для каждой яхты. Отношение поверхности тела к его объему является достаточно характерной величиной, дающей представление о форме данного тела; например, известно, что наименьшее отношение поверхности к объему имеет шар. Чем более вытянута форма тела, тем больше отношение его поверхности к объему. Следовательно, при одном и том же водоизмещении поверхность трения погруженной части корпуса (смоченная поверхность) больше у более длинной яхты. Введение Бенталом кормового и носового свесов способствовало

одновременно уменьшению отношения поверхности к объему погруженной части корпуса (водоизмещения). Кроме того, благодаря уменьшению долевых размеров погруженной части корпуса и сосредоточению массы яхты около центра тяжести сильно возросла маневренность яхты. Концентрация водоизмещения в средней части яхты увеличила осадку, создала более благоприятные условия работы корпуса и уменьшила дрейф. «Юлланар» показал в гонках замечательные качества, что подтвердило правильность теории Фруда.

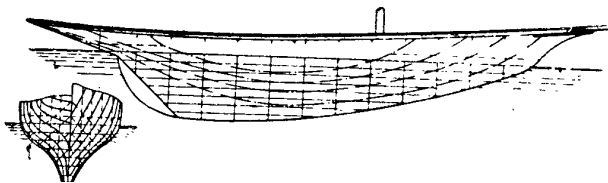


Рис. 27: Яхта «Thistle»

Стремясь еще больше сократить сопротивление трения, английский конструктор Л. Ватсон построил в 1887 г. яхту «Thistle» с очень пологим ахтерштевнем (рис. 27 (стр. 34)).

стр. 41

Идеи Бентала и Ватсона лучше всего удалось конструктивно воплотить шотландскому судостроителю В. Файфу в проекте знаменитой яхты «Минерва», созданной в 1888 г. «Минерва» при сравнительно небольшой длине имела значительную осадку, низкое расположение центра тяжести и могла нести соответственно большую площадь парусности (рис. 28 (стр. 34)).

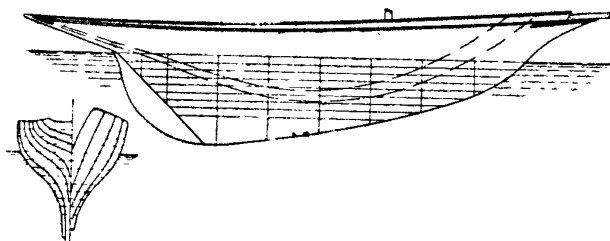


Рис. 28: Яхта «Минерва»

В это же время в Америке строительство яхт развивалось совершенно в ином направлении. Стремление к уменьшению площади трения проявилось в иных конструктивных решениях. В 1887 г. конструктор Е. Бургесс построил яхту с выдвижным килем «Волонтер» исходя из следующего основного положения. При лавировке нужна большая площадь бокового сопротивления для борьбы с дрейфом, а на полных курсах она вредна, так как увеличивает сопротивление трения, поэтому надо сделать ее изменяемой с помощью выдвижного киля. «Волонтер» действительно победил «Thistle», но оказался беспомощным перед «Минервой». Успехи «Минервы» на гонках окончательно подорвали веру в превосходство яхт с выдвижным килем, которые развивались в Америке (рис. 29 (стр. 35)). Необходимо подчеркнуть, что в те времена яхты еще не имели тяжелых свинцовых фальшкилей и задача откренивания решалась с помощью веса корпуса и самой команды. Имея сравнительно небольшую остойчивость, те яхты, не могли иметь большую

парусность, а откренивание за счет использования веса команды было и тяжелым и рискованным. На гонках эти яхты, будучи перегружены парусами, часто опрокидывались.

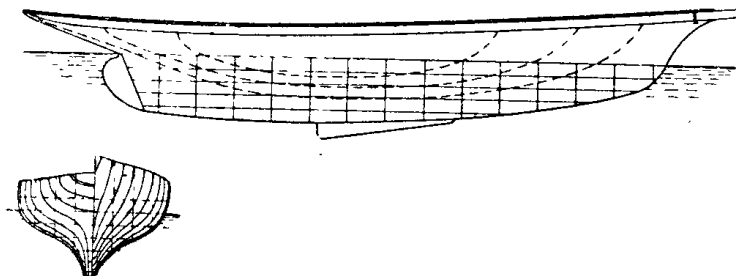


Рис. 29: Яхта «Волонтер»

стр. 42

Почти до конца XIX в. конструкторы обращали особое внимание на гидродинамическое сопротивление корпуса. Наконец была найдена такая форма корпуса, при которой в равной мере учитывалось сопротивление формы и сопротивление трения. Тем самым был достигнут некоторый предел в поисках путей увеличения скорости яхты. Конструкторы и строители стали отдавать себе отчет в том, что яхта движется в двух средах — воде и воздухе, и, следовательно, прежде всего необходимо учитывать законы той и другой среды в равной степени.

Стремясь создавать более быстроходные яхты, конструкторы обратили внимание, естественно, на площадь парусности. Яхта может нести тем больше парусов, чем больше ее поперечная остойчивость. Проблему поперечной остойчивости оригинально решил Н. Герешофф, построивший в 1891 г. яхту «Глориана». Он добился высокой остойчивости, впервые применив низко опущенный свинцовый фальшкиль и более полные образования надводной части корпуса. Благодаря этому создавалась возможность сильно увеличить площадь парусов, что повлекло за собой увеличение скорости хода. Появление яхты Герешоффа можно считать завершением длительных исканий совершенной конструкции корпуса. Так возникла классическая конструкция килевой яхты, основные положения которой действительны и по сей день (рис. 30 (стр. 35)). В конце концов конструкторы пришли к выводу, что при проектировании корпуса яхты необходимо добиваться некоторого оптимального компромисса в соблюдении трех основных предпосылок: 1) минимального сопротивления формы корпуса, 2) минимального сопротивления трения, 3) максимальной остойчивости.

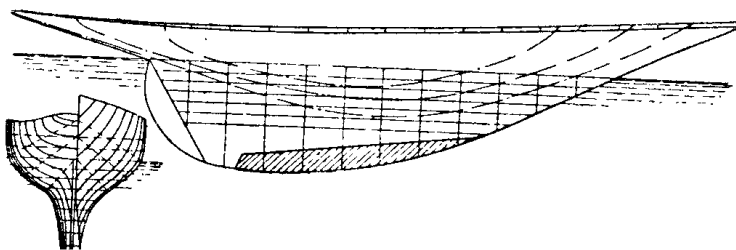


Рис. 30: Яхта «Глориана»

стр. 43

Эти требования взаимно противоречивы. Узкая, длинная яхта имеет малое сопротивление формы, однако, как малоостойчивая, не может нести достаточно большой парусности. Повышение остойчивости путем увеличения веса балласта сопровождается одновременным увеличением осадки и, следовательно, увеличением сопротивления трения. Увеличение остойчивости путем увеличения ширины корпуса вызывает увеличение сопротивления формы корпуса. Задача конструктора состоит в отыскании «золотой середины», в примирении трех противоречивых условий конструирования. В форме корпуса «Глорианы» проявилось исключительное конструкторское чутье Герешоффа, его большое искусство, и поэтому современные конструкторы мало что могут добавить к его классическому творению.

стр. 44

Небольшой прогресс, достигнутый впоследствии, относился главным образом к области парусного вооружения.

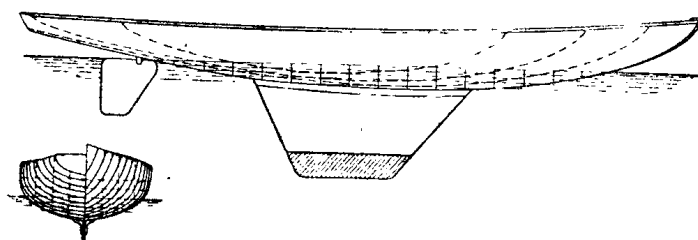


Рис. 31: Яхта «Венона»

Успех «Глорианы» был причиной возникновения еще одного нового, хотя и недолговечного, класса яхт, получившего иронически-шутливое название «скользящая посуда» («skimming dishes»). Типичным представителем этого класса была яхта Герешоффа «Венона» (рис. 31 (стр. 36)), появившаяся в 1892 г. В ее конструкции были объединены черты швертбота и килевой яхты, в результате чего получилась легкая и остойчивая яхта. Яхты швертботно-килевые, или, как их потом называли, яхты с *бульбкилем*, были вне конкуренции по скорости хода и крутизне к ветру. Они легко побеждали в гонках на короткие дистанции, но не годились для продолжительных плаваний, так как не имели даже минимальных удобств для команды.

Секрет успеха этих яхт заключался в удачном использовании возможностей, заключенных в обмерной формуле, классифицировавшей в то время гоночные яхты. Тогда еще не было монотипов, позволяющих объективно оценивать мастерство рулевого и команды: яхты были разные. Поэтому, естественно, возникала мысль о предоставлении всем участникам гонок по возможности равных шансов на успех. Сперва стали делить яхты на гоночные классы по длине ватерлинии и площади парусов, так как скорость яхты, безусловно, сильно зависит от этих характеристик. Чем длиннее яхта, чем больше у нее парусность и меньше вес, тем лучше ход. Очевидно, две яхты одинаковой длины, но разного веса для достижения одинаковых ходовых качеств надо снабдить парусами пропорционально их весу. Следовательно, надо было строить по возможности наиболее легкие яхты. Но для конструкторов до 1890 г. уменьшение веса яхты означало одновременно и снижение ее остойчивости, определяемой в тот период в основном весом корпуса.

стр. 45

С появлением бульбкилей остойчивость достигалась с помощью сравнительно

легкого профилированного куска свинца, прикрепляемого к корпусу яхты посредством стального плавника, позволяющего опустить балласт как угодно глубоко. Сам корпус, очевидно, мог быть каким угодно легким. Идя этим путем, в погоне за результатами начали добиваться снижения веса отказом от надстроек, понижением надводного борта, за счет более тонкой обшивки и т. д.

В результате пришли к яхтам, действительно хорошим ходокам, но совершенно открытым, легким, в шутку прозванным «скользящими посудинами», — яхтам, не обеспечивающим безопасности команды.

Такое нездоровое направление в конструировании яхт вызвало протесты даже самих спортсменов-гонщиков. В 1896 г. в решение задачи включился Р. Фруд. Он считал, что яхта должна быть достаточно удобной и безопасной и вместе с тем достаточно быстроходной. На конференции «Ассоциации гонщиков-яхтсменов» была принята формула для определения гоночного класса яхт. Этой формулой поощрялось строительство удобных и безопасных яхт, имевших корпуса с полными обводами. Формула имела следующий вид:

$$\text{Гоночный балл} = \frac{L + B + \frac{3}{4}G + \frac{1}{2}\sqrt{S}}{2},$$

где: L — длина по ватерлинии, B — наибольшая ширина, G — наружный охват в плоскости миделя, S — площадь парусности.

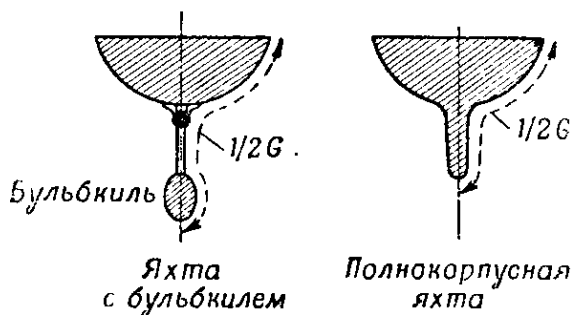


Рис. 32

Рис. 32: Яхта с бульбкилем и полнокорпусная яхта

Определяемый формулой гоночный балл выражался в определенных единицах (метрах или футах), в зависимости от исчисления исходных данных.

Считалось, что яхты, одинаковые или близкие по гоночному баллу, подсчитанному по данной формуле, будут иметь одинаковые шансы в гонках. Оказалось, однако, что формула несовершенна и не достигает цели. Предполагали, что обмер обводов корпуса по миделю всегда больше у плоскодонных яхт с бульбкилем, что и приостановит строительство этих яхт, а конструкторов заставит проектировать корпуса с полными обводами. Слагаемое в числителе G заметно увеличивало гоночный балл для яхт с бульбкилем, переводя эти яхты в более высокий гоночный

класс, в класс яхт, имевших большую длину ватерлинии, т. е. обладающих лучшим ходом (рис. 32 (стр. 37)).

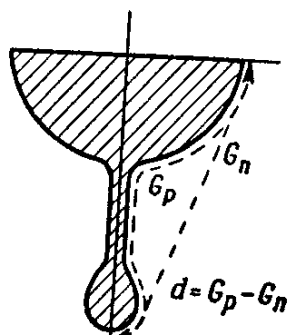


Рис. 33: Измерение обводов по обшивке (G_p) и по натянутой тесьме (G_n)

Однако составители формулы недооценили гибкости и искусства конструкторов, сумевших и этот фактор обернуть в пользу плоскодонных яхт. Применяв шпангоуты с очень малой кривизной, понизив борт, конструкторы свели на нет ущерб, который по обмеру имели плоскодонные яхты с бульбкилем, сохранив за ними их преимущества. Поэтому в 1901 г. с целью вытеснения с гонок небезопасных плоскодонных яхт и поощрения строительства полноценных килевых яхт была введена улучшенная формула, имевшая такой вид:

$$\text{Гоночный балл} = \frac{L + B + \frac{3}{4}G + 4d + \frac{1}{2}\sqrt{S}}{2,1}.$$

От прежней эта формула отличается введением особого «налога» d на плоскодонные яхты. Что же такое d ? Это разница в величине обводов яхты, измеренных двумя разными способами: один раз обводы измеряют по периметру обшивки, а другой — длиной натянутой тесьмы, как указано на рис. 33 (стр. 38). Измерение ведут в плоскости ватерлинии на расстоянии 0,6 длины корпуса яхты, считая от форштевня.

стр. 47

Легко заметить, что у полнокорпусных яхт величина d была меньше, чем у плоскодонных. Увеличенная в 4 раза, она давала им выгодное уменьшение гоночного балла по сравнению с плоскодонными яхтами, имевшими ту же длину ватерлинии.

Карьера плоскодонных яхт с бульбкилем прервалась в 1906 г. с вводом новой международной формулы обмера, принятой всеми европейскими странами. Цель ее введения осталась та же, что и раньше, — добиться постройки гоночных яхт, удобных и безопасных. От формулы 1901 г. она отличалась несколько скорректированными коэффициентами и вводом в числитель новой величины F — высоты надводного борта. Яхты, построенные по новой формуле, должны были обеспечить команде безопасность и удобство плавания во время больших крейсерских гонок.

$$\text{Гоночный балл} = \frac{L + B + \frac{1}{2}G + 3d + \frac{1}{3}\sqrt{S} - F}{2}.$$

На основании этой формулы все яхты были разделены на одиннадцать гоночных классов.

2.3 Формулы классных обмеров

В результате введения математических формул для вычисления гоночного балла яхт спортсмены-гонщики стали больше влиять на конструкторов, ставя перед ними определенные задачи. Первая международная формула была через двенадцать лет несколько изменена в соответствии с требованиями жизни. Смысл и цель корректирования заключались в том, чтобы поощрять строительство сравнительно небольших, дешевых, быстрых и одновременно удобных для команды яхт, не требующих многочисленного экипажа.

стр. 48

В настоящее время действует обязательная формула Международного парусно-гоночного союза, по которой вычисляется гоночная ценность, или иначе, гоночный балл, яхт в классе « $R - 6$ », « $R - 8$ », « $R - 10$ », « $R - 12$ » и « $R - 14$ »:

$$R \text{ (гоночный балл)} = \frac{L + \sqrt{S} + 2d - F}{2,37}.$$

Получающий все большее распространение класс « $R - 5,5$ » обмеряется и конструируется на основании такой формулы:

$$\text{«}R - 5,5\text{» (18,04 фута)} = 0,9 \left(\frac{L\sqrt{S}}{12\sqrt[3]{D}} + \frac{L + \sqrt{S}}{4} \right),$$

где: $D - 1/64$ водоизмещения, выраженного в английских фунтах⁶, L — длина яхты, измеренная по специальной обмерной формуле в английских футах, S — площадь парусности в квадратных единицах (футах).

Класс « $R - 5,5$ », как и другие международные R -классы, называется ограниченным. Он оставляет конструктору лишь некоторую свободу в выборе основных характеристик: например, площади парусности, длины и водоизмещения яхты. Приблизительные размеры яхты класса « $R - 5,5$ » следующие: площадь парусности — около 29 м², водоизмещение — около 1800 кг, длина — около 7,6 м.

Яхты международных классов R уже в 1900 г. были включены в программу II Олимпийских игр. На основании табл. 1 не трудно заметить стремление к постепенному снижению величины гоночных яхт. Так, самая маленькая яхта класса « $R - 6$ » на Олимпийских играх 1900 г. оказалась самой крупной на Олимпийских играх 1952 г. На Олимпийских играх 1956 г. яхты класса « $R - 6$ » были заменены более дешевыми — класса « $R - 5,5$ ». Это ощутимый результат демократизации парусного спорта, результат широкого движения за удешевление стоимости постройки и содержания яхт. В 1928 г. гоночная яхта класса « $R - 12$ » стоила около 25 000 английских фунтов, а класса « $R - 6$ » — только 1100. Значит, на те же деньги можно было построить 23 яхты вместо одной.

стр. 49

Примечание. В таблицу внесены исправления неточностей, имевшихся в оригинале, и добавлены сведения о двух последних олимпиадах (*Прим. перев.*).

Для вычисления гоночного балла чисто морских гоночных яхт в европейских водах иногда применяется формула Английского Королевского клуба океанских гонок (*RORC*):

⁶ Английский фунт — 0,453 кг (*Прим. перев.*).

Год	R-12	R-10	R-8	R-7	R-6	R-5,5	Звездный	Дракон	Firefly	Шверт-бот (2 чел)	Шверт-бот (1 чел)
1900			+								
1908	+		+	+	+						
1912	+	+	+		+						
1920	+	+	+	+	+						+
1924			+		+						+
1928			+		+						+
1932			+		+		+				+
1936			+		+		+				+
1948					+		+	+	+		+
1952					+	+	+	+			+
1956						+	+	+		+	+
1960						+	+	+		+	+
1964						+	+	+		+	+

Таблица 1: Классы яхт на Олимпийских играх

$$MR \text{ (гоночный балл)} = 0,15 \frac{L \cdot \sqrt{S}}{\sqrt{B \cdot D}} + 0,2(L + \sqrt{S}),$$

где: L — длина, измеренная специальным способом, B — наибольшая ширина, измеренная на уровне половины высоты надводного борта, D — так называемая исправленная осадка яхты.

Величина S подставляется в формулу, будучи умноженной на коэффициент, зависящий от рода парусного вооружения, а именно:

Бермудский иол ..	0,98
Бермудская шхуна	0,96
Бермудский кэч ..	0,94
Иол гафельный ...	0,94
Шхуна гафельная	0,92
Кэч гафельный ...	0,90

На основании полученных данных все яхты затем группируются на три класса, принятых в этом клубе: 1-й — от 38 до 64 футов (от 11,6 до 19,4 м), 2-й — от 27,5 до 38 футов (от 8,4 до 11,6 м), 3-й — от 19 до 27,5 футов (от 5,8 до 8,4 м).

Известная английская яхта типа «Маус оф Мальхам» (3-го класса *RORC*) при величине гоночного балла 19,32 фута имеет следующие размеры: полная длина — 9,75 м, длина по ватерлинии — 7,32 м, наибольшая ширина — 2,44 м, водоизмещение — 2,4 т, площадь парусности — 29 (см. рис. 49).

Кроме приведенных выше международных формул обмера и определения класса яхт, существуют в разных странах свои, национальные, формулы, составленные с учетом местных условий акватория, национальных традиций и т. п. В Америке, например, существует формула Американского крейсерского клуба (*CCA*), которая по сравнению с формулой *RORC* поощряет постройку более широких яхт, с высоким надводным бортом и меньшим отношением веса постоянного балласта к водоизмещению.

В европейских странах применяется еще и так называемая формула KR , хорошо известная в СССР, Польше, ГДР. После корректирования в 1948 г. она имеет следующий вид:

$$KR = \frac{L + \sqrt{S} - (\sqrt[3]{D} + B + F)}{1,4} + 0,7 \left(\frac{\sqrt{S}}{\sqrt[3]{D}} - 4,1 \right) - M_0.$$

При постройке яхт по формуле KR , как и по формуле $RORC$, конструктору приходится считаться с ограничениями, предусмотренными ими. Ограничения вводятся с тем, чтобы противодействовать ухищрениям конструкторов, желающих получить выигрыш в скорости яхты за счет удобства и безопасности экипажа. В остальном формула KR оставляет конструкторам широкую свободу в совершенствовании яхт туристско-гоночного назначения.

стр. 51

Рис. 34 (стр. 41) поясняет способ обмера корпуса по формуле KR .

Длина L измеряется на уровне, приподнятом над ватерлинией на величину, равную 4% длины ватерлинии. Этот размер надо определять в безветренную погоду и на спокойной воде. Замер производится, когда яхта находится в полной гоночной или походной готовности: на борту должно быть все предписанное снаряжение и оборудование; экипажа быть не должно.

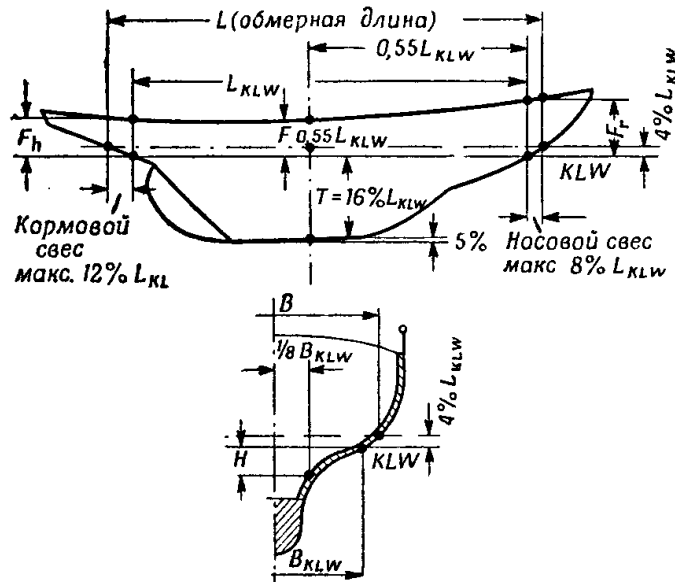


Рис. 34: Способ обмера корпуса по формуле KR

Площадь парусности S входит в формулу KR , будучи умноженной на коэффициент, зависящий от типа вооружений; этот коэффициент составляет для: тендера или шлюпа — 1, иола — 0,98, шхуны — 0,96, кэча — 0,94.

Высота парусного вооружения H_t (рис. 35 (стр. 42)) измеряется от палубы до верхней контрольной марки на мачте по задней стороне мачты. Эта высота ограничивается и, например, для яхт типа тендер или шлюп составит $1,7 \sqrt{S} + 1,5$ м, а для яхт типа иол или = $1,7 \sqrt{S}$ — площадь бизани + 1,5 м.

Если измеренная высота H_t отличается от величины, получаемой по вышеприведенной формуле, расхождение учитывается следующим образом: если допуска-

емая величина H_t меньше измеренной, разница между ними, умноженная на 3, прибавляется к измеренной высоте грота H ; если измеренная H_t меньше допускаемой, то разницу делят на 2 и вычитают из измеренной высоты грота H . Площадь парусов измеряется в соответствии с инструкцией по обмеру: например, площадь гафельного паруса вычисляется по формуле:

$$\text{Площадь} = \frac{B \cdot H + G \cdot D}{2}.$$

Площадь треугольного паруса соответственно:

$$\text{Площадь} = \frac{B \cdot H}{2}.$$

Площадь передних парусов вычисляется по формуле:

$$\text{Площадь} = 0,85 \frac{I \cdot J}{2},$$

причем горизонтальная шкаторина (нижняя) наибольшего переднего паруса не должна быть длиннее $1,5 J$. Длина спинакер-рея не должна быть больше J (основания переднего треугольника).

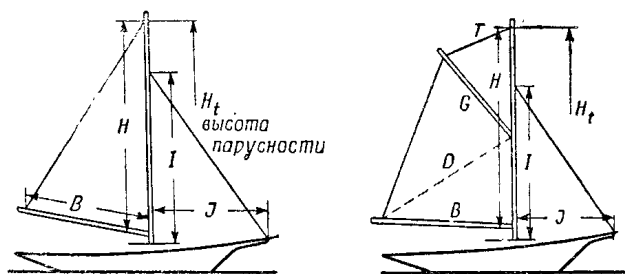


Рис. 35

Рис. 35: Обмер парусности по формуле KR

Число лат для паруса площадью до 75 м^2 — не более 4, и для паруса сверх 75 м^2 — не более 5. Длина крайних, верхней и нижней лат — не больше $0,12 \sqrt{S}$, длина средних лат может быть равна $0,17 \sqrt{S}$.

Водоизмещение D для яхт старой постройки определяется по формуле:

$$D = \frac{L_{KLW} \cdot B_{KLW} \cdot H}{2,2}$$

(способ измерения и обозначений указан на рис. 34 (стр. 41)). Для яхт новой постройки величина водоизмещения определяется по конструктивным данным.

Ширина B измеряется по наружной поверхности обшивки на расстоянии $0,55 L_{KLW}$ от форштевня, на уровне измерения длины яхты L .

Высота надводного борта F вычисляется по формуле:

$$F = \frac{F_v + F(0,55 L_{KLW}) + F_h}{3}$$

(способ измерения и обозначений указан на рис. 34 (стр. 41)).

Мотор M_0 (если на яхте имеется стационарный мотор). От гоночного балла, вычисленного по формуле KR , вычитается «фора» — величина M_0 , определяемая соответственно: для моторов с винтом постоянного шага M_0 берется равным 3% величины KR , и для моторов с регулируемым шагом винта — 1,5% величины KR .

На основании вычисленного по формуле гоночного балла яхты группируются в следующие классы, внутри которых яхты соревнуются без учета (табл. 2).

Таблица 2: Классы яхт по формуле KR

Значение KR	Группа
До 4	4
4,1–4,5	4,5
4,6–5	5
5,1–5,5	5,5
5,6–6	6
6,1–7	7
7,1–8	8
8,1–9	9
9,1–10	10
10,1–12	12
12,1–14	14
14,1–16	16

Примечание. Такая разбивка по группам применяется к яхтам новой постройки.

Если в гонках участвуют яхты, отличающиеся гоночной силой, то яхты с более высоким гоночным баллом дают «фору» меньшим (так называемые гандикапные гонки). Здесь окончательные результаты определяются не по фактическому времени и порядку яхт на финише, а по учтенному времени, вычисленному из фактического времени прохождения дистанции, помноженному на определенный коэффициент (табл. 3).

На следующем примере поясним, каким образом вычисляется учтенное время. Возьмем участвовавшие в гонках яхты A , B , C , D и E , очередность и время финиша этих яхт (гоночный балл и коэффициент берем по табл. 3).

Умножая фактическое время прохождения дистанции на коэффициент, получаем учтенное время, в соответствии с которым и распределяются призовые места:

- $A - 9932 \cdot 0,761 = 2 \text{ час. } 05 \text{ мин. } 58 \text{ сек.} = \text{— II место}$
- $B - 9768 \cdot 0,772 = 2 \text{ час. } 05 \text{ мин. } 41 \text{ сек.} = \text{— I место}$
- $C - 9699 \cdot 0,783 = 2 \text{ час. } 06 \text{ мин. } 34 \text{ сек.} = \text{— III место}$
- $D - 9820 \cdot 0,793 = 2 \text{ час. } 09 \text{ мин. } 47 \text{ сек.} = \text{— V место}$
- $E - 9691 \cdot 0,802 = 2 \text{ час. } 09 \text{ мин. } 32 \text{ сек.} = \text{— IV место}$

Таким образом, первый приз в гандикапе выиграла не яхта E , а яхта B , хотя она финишировала лишь третьей. Математические коэффициенты учета времени и сама формула определения гоночной силы дают конструкторам широкое поле

Таблица 3: Коэффициент учета времени для яхт класса *KR*

<i>KR</i>	Коэфф.	<i>KR</i>	Коэфф.	<i>KR</i>	Коэфф.	<i>KR</i>	Коэфф.
4,0	0,651	5,0	0,700	6,0	0,742	7,0	0,779
4,1	0,656	5,1	0,704	6,1	0,746	7,1	0,783
4,2	0,661	5,2	0,708	6,2	0,750	7,2	0,786
4,3	0,666	5,3	0,713	6,3	0,754	7,3	0,789
4,4	0,671	5,4	0,717	6,4	0,758	7,4	0,793
4,5	0,676	5,5	0,721	6,5	0,761	7,5	0,796
4,6	0,681	5,6	0,726	6,6	0,765	7,6	0,799
4,7	0,686	5,7	0,730	6,7	0,768	7,7	0,802
4,8	0,690	5,8	0,734	6,8	0,772	7,8	0,806
4,9	0,695	5,9	0,738	6,9	0,776	7,9	0,809
8,0	0,812	9,0	0,840	10,0	0,865	11,0	0,887
8,1	0,815	9,1	0,843	10,1	0,867	11,1	0,889
8,2	0,818	9,2	0,845	10,2	0,870	11,2	0,891
8,3	0,821	9,3	0,848	10,3	0,872	11,3	0,894
8,4	0,823	9,4	0,851	10,4	0,874	11,4	0,896
8,5	0,826	9,5	0,853	10,5	0,876	11,5	0,898
8,6	0,829	9,6	0,856	10,6	0,879	11,6	0,900
8,7	0,832	9,7	0,858	10,7	0,881	11,7	0,901
8,8	0,835	9,8	0,861	10,8	0,883	11,8	0,903
8,9	0,837	9,9	0,863	10,9	0,885	11,9	0,905
12,0	0,907	13,0	0,924	14,0	0,938	15,0	0,950
12,1	0,909	13,1	0,926	14,1	0,940	15,1	0,951
12,2	0,911	13,2	0,927	14,2	0,941	15,2	0,952
12,3	0,913	13,3	0,929	14,3	0,942	15,3	0,953
12,4	0,915	13,4	0,930	14,4	0,943	15,4	0,954
12,5	0,916	13,5	0,932	14,5	0,944	15,5	0,955
12,6	0,918	13,6	0,933	14,6	0,946	15,6	0,956
12,7	0,920	13,7	0,934	14,7	0,947	15,7	0,957
12,8	0,921	13,8	0,936	14,8	0,948	15,8	0,958
12,9	0,923	13,9	0,937	14,9	0,949	15,9	0,959
16,0	0,960	17,0	0,968	18,0	0,975	19,0	0,9810
16,1	0,961	17,1	0,969	18,1	0,976	19,1	0,9815
16,2	0,962	17,2	0,970	18,2	0,976	19,2	0,9820
16,3	0,963	17,3	0,971	18,3	0,977	19,3	0,9825
16,4	0,964	17,4	0,971	18,4	0,978	19,4	0,9830
16,5	0,964	17,5	0,972	18,5	0,978	19,5	0,9835
16,6	0,965	17,6	0,972	18,6	0,979	19,6	0,9840
16,7	0,966	17,7	0,973	18,7	0,979	19,7	0,9845
16,8	0,967	17,8	0,974	18,8	0,980	19,8	0,9850
16,9	0,967	17,9	0,974	18,9	0,980	19,9	0,9855

деятельности для достижения наибольшей скорости хода. Подготовленность, искусство рулевого и команды в таких гонках как бы отходят на второй план. Уже со старта яхты различной гоночной силы расходятся далеко друг от друга, и возможности возникновения тактической борьбы между участниками тем самым почти полностью устраняются. В выявлении искусства рулевого и команды гандикашные

Таблица 4: Пример вычисления учтенного времени

Яхты <i>KR</i>	Коэфф. времени	Время финиша и место
<i>A</i> 6,5	0,761	V 2 час. 45 мин. 32 сек. — 9932 сек.
<i>B</i> 6,8	0,772	III 2 час. 42 мин. 48 сек. — 9768 сек.
<i>C</i> 7,1	0,783	II 2 час. 41 мин. 39 сек. — 9699 сек.
<i>D</i> 7,4	0,793	IV 2 час. 43 мин. 40 сек. — 9820 сек.
<i>E</i> 7,7	0,802	I 2 час. 41 мин. 31 сек. — 9691 сек.

гонки уступают классным гонкам на яхтах того же класса, особенно на монотипах.

стр. 56

2.4 Международные классы гоночных яхт

В начальный период развития современного парусного спорта плавали и соревновались на очень крупных яхтах. Длина ватерлинии доходила до 30 м. Огромная парусность (до 1000 кв. м), тяжелые паруса требовали большой сноровки от экипажа, насчитывавшего на некоторых яхтах до 70 человек. Чем больше по размерам яхта, тем больше ее скорость, отсюда погоня за постройкой крупных, длинных и дорогих яхт. Лишь спустя много лет, с накоплением необходимых знаний, было введено деление яхт по гоночным классам в зависимости от их основных размеров. Таким образом, были созданы благоприятные условия для развития не только крупных, но и небольших яхт.

Эти тенденции ярко проявились в быстром развитии небольших яхт для внутренних водоемов. Особенно заметно это стало после 1920 г., когда впервые в программу парусных соревнований на Олимпийских играх были включены швертботы-одиночки (что являлось принципиальной победой сторонников демократизации парусного спорта. Развитие парусного спорта на реках и озерах вызвало к жизни огромный флот швертботов. — *Прим. перев.*), прототипом для которых послужили изжившие себя яхты с выдвигаемым килем («skimming dishes»), так успешно конкурировавшие в конце XIX в. с килевыми яхтами.

В настоящее время существует огромное число типов и классов яхт для плавания как во внутренних водоемах, так и в открытом море. Кроме классов, принятых во многих странах, в каждой стране имеются свои национальные, более полно отвечающие местным условиям.

стр. 57

С точки зрения конструкции, все многообразие гоночных яхт можно разделить на три основных класса: 1) свободный, 2) ограниченный и 3) монотипы. Различаются они между собой степенью ограниченности инициативы конструкторов, строителей и владельцев, в зависимости от правил постройки и обмера. Наиболее жестки эти ограничения в классе монотипов, вследствие чего яхты этого класса позволяют наиболее объективно по результатам гонок оценивать мастерство рулевого и команды.

В двух остальных классах конструкторы не так ограничены, и гоночные результаты таких яхт в одинаковой мере зависят как от мастерства экипажа, так и от искусства конструктора и строителя. Поэтому свободный и ограниченный классы играют важную роль в техническом прогрессе спортивного судостроения, что подтверждается всей историей парусного спорта.

Наиболее удачные классы признаны Международным парусным союзом в каче-

стве международных. Существуют международные союзы по отдельным классам яхт, которые заботятся о популяризации данного класса, наблюдают за выполнением правил класса при постройке и обмере, за организацией международных соревнований и т. п.

Теперь отвлечемся от конструктивных соображений и посмотрим на яхты с точки зрения условий их эксплуатации. По этому признаку все яхты можно разделить на три группы: 1) швертботы, т. е. яхты с выдвижным килем, 2) килевые яхты для морского прибрежного плавания и во внутренних водах, 3) килевые яхты для плавания в открытом море.

Познакомимся более подробно с некоторыми яхтами, представляющими указанные группы, главным образом с такими, которые сейчас стали наиболее популярными, включены в программы олимпийских парусных гонок, первенств мира и континентов.

2.4.1 Швертботы

Монотип олимпийский 1936 г. (О — июл, «0-36», «Олимпик») спроектирован к Олимпийским играм 1936 г. как швертбот для одного человека. Затем он был включен в семью международных классов и быстро завоевал популярность, в основном в европейских странах. Удачные обводы корпуса обеспечили ему успех в гонках с подобными швертботами, особенно при слабых ветрах. При сильных ветрах «Олимпик» не так легко начинает глиссировать, как новейшие швертботы, из-за сравнительно тяжелого и низко погруженного корпуса (главным образом в кормовой части). Это легко установить, сравнив форму подводной части «Олимпика» с формой новейшего «Летучего голландца» (теоретические чертежи корпуса «Олимпика» см. на рис. 24).

стр. 58

Характерная особенность «Олимпиков» — возможность менять настройку корпуса в зависимости от условий. Мачту можно передвигать на некоторое расстояние вперед или назад и, кроме того, придавать ей наклон назад.

Основные размеры «Олимпика»:

Максимальная длина	.....	5 м
Максимальная ширина	.....	1,66 м
Осадка, включая шверт	.....	1,06 м
Вес корпуса без оснастки (минимум)		150 кг
Площадь парусности	.....	11 м ²

В классе «Олимпик» проводятся соревнования на первенство Европы и первенства внутри стран. (С появлением яхт класса «Финн» и других, более современных, швертботов «Олимпика» стали терять свои позиции и постепенно сходят со сцены. Сейчас они уже не участвуют в первенствах Европы. — *Прим. перев.*)

Олимпийский монотип «Финн» спроектирован шведом Рихардом Сарби в 1950 г. и включен Финским парусным союзом в качестве швертбота-одиночки в программу Олимпийских игр 1952 г. в Хельсинки. Благодаря высоким спортивным качествам «Финн» затем включался в программы Олимпийских игр 1956 г. в Мельбурне, 1960 г. в Неаполе (он будет также включен в программу парусных соревнований на Олимпийских играх в Токио в 1964 г. — *Прим. перев.*).

Удлиненная носовая часть корпуса не вызывает образования вредных носовых волн, но зато сравнительно узкая корма затрудняет глиссирование. Интересно

и оригинально спроектировано вооружение. Свободно стоящая мачта может вращаться в стакане в зависимости от положения гика, укрепленного в гнезде мачты. Заклиненный в гнезде мачты гик не позволяет парусу скручиваться на полных курсах. Сильно изгибающаяся на курсах бейдевинд мачта выгодно делает парус более плоским. Такое вооружение удачно не только своей простотой, но и сравнительно высоким аэродинамическим коэффициентом полезного действия (рис. 36 (стр. 47)).

стр. 59

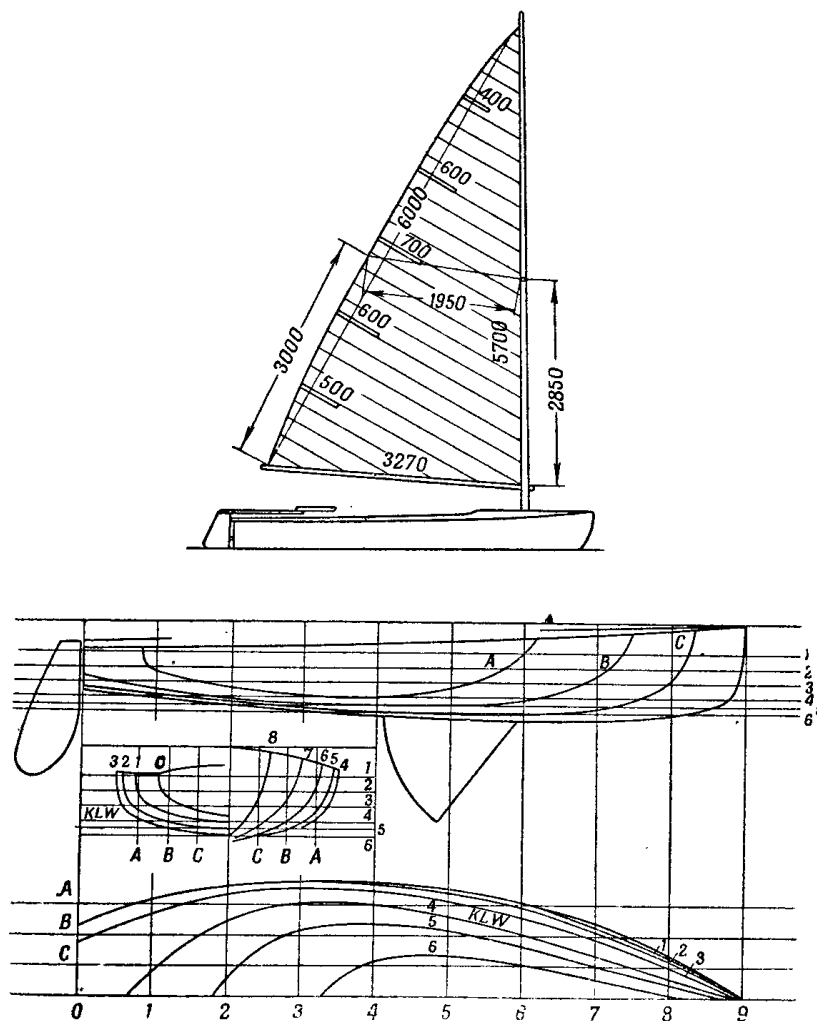


Рис. 36

Рис. 36: Швертбот «Финн»

Поскольку «Финн» — монотип, главную роль в гонках всегда будет играть мастерство рулевого, особенно его искусство правильно сбалансировать яхту. Чемпион мира Пауль Элфстром ввел в практику несколько новых приемов, облегчающих откренивание, которые он с успехом применил уже в 1952 г. в Хельсинки на XV Олимпийских играх. Это специальное крепление для ног, позволяющее рулевому свешиваться далеко за борт и сравнительно легко менять положение туловища в зависимости от условий крена. Теперь эти приемы применяются всеми рулевыми, выступающими в классе «Финн»:

стр. 60

Основные размеры «Финна»:

Максимальная длина	4,5 м
Максимальная ширина	1,51 м
Осадка, включая шверт	0,85 м
Вес корпуса без оснастки (минимум) ..	105 кг
Вес корпуса с вооружением (минимум)	150 кг
Площадь парусности	10 м ²

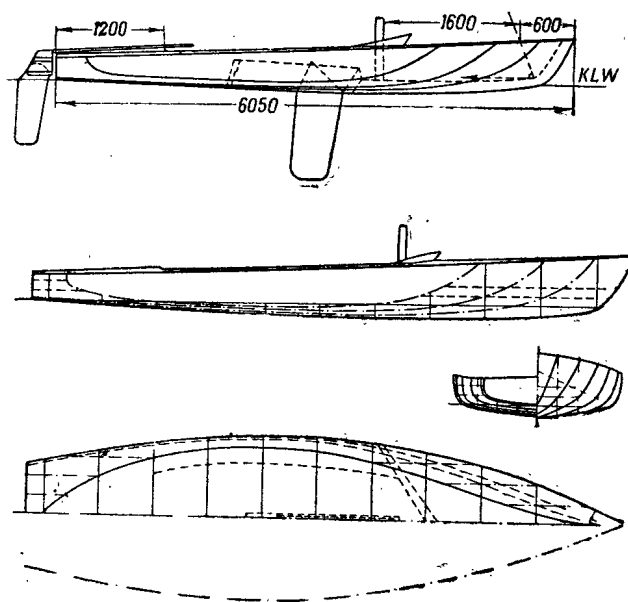


Рис. 37: Теоретический чертеж «Финна»

В классе «Финн» разыгрываются первенства отдельных стран, Европы и мира.

«Летучий голландец» — международное обозначение «FD» (Флайнг Датчмен) — швертбот для двух человек, спроектирован Парусным союзом Голландии (конструктор ван Эссен) и признан ИЯРУ в качестве международного класса. Корпус яхты может быть изготовлен из многослойной фанеры, склейки или пластмассы. Сравнительно широкая плоская корма без свеса и узкий высокий нос облегчают входение яхты в режим глиссирования. Этому способствуют небольшой вес корпуса и большая парусность (рис. 37). Управление «Летучим голландцем» требует отличной квалификации и сработанности экипажа, особенно при сильном ветре. Откренивая, шкотовый матрос полностью свешивается за борт, удерживаясь от падения в воду посредством оттяжки, прикрепленной к мачте так называемой «трапеции».

Основные размеры «Летучего голландца»:

Максимальная длина	6,05 м
Максимальная ширина	1,7 м
Осадка, включая шверт	1,1 м
Вес корпуса без оснастки (минимум) ..	125 кг
Вес корпуса с вооружением (минимум)	160 кг
Площадь парусности	17 м ²

в том числе:

грот	11 м ²
стаксель	6 м ²
Площадь спинакера	17 м ²
Обмерная площадь парусности	15 м ²

В этом классе разыгрываются чемпионаты Европы и мира.

Класс яхт «5-0-5». Первая яхта этого класса была спроектирована Джоном Вестеллом, английским конструктором, в 1950 г. Это один из самых новых международных швертботов на два человека. Он превосходит по скорости «Летучие голландцы»: при ветре 10 м/сек швертбот развивал на глиссировании скорость 14 узлов. Главная черта «5-0-5» — исключительно малый вес корпуса, всего 100 кг, при площади парусности 16,5 м². Характерные формы корпуса с широкой плоской кормой без свеса, специальные отвороты бортов в носовой части облегчают начало глиссирования и предохраняют от захлестывания воды в яхту. Водонепроницаемые ящики по обоим бортам делают яхту практически непотопляемой, а их форма облегчает балансирование и откренивание. В корме устроены специальные диафрагмы для самоудаления из корпуса воды на ходу яхты.

стр. 63

Тщательно продуманное вооружение делает «5-0-5» очень интересной гоночной яхтой. Недаром яхты этого класса получили среди спортсменов название «гоночных машин». Только экипаж, обладающий высоким мастерством, сможет выжать из этой несколько перегруженной парусами яхты наивысшие результаты. Корпус «5-0-5» может быть изготовлен из любых материалов. Никаких ограничений нет в устройстве мачты, шверта, руля, формы гика и т. п. Правилами класса строго устанавливаются только форма и вес корпуса и площадь парусов. Допускается применение «трапеции», как и в классе «Летучий голландец» (рис. 38 (стр. 50)).

стр. 62

Основные размеры «5-0-5»:

Максимальная длина	5,05 м
Длина по ватерлинии	4,57 м
Максимальная ширина	1,88 м
Осадка, включая шверт	1,14 м
Вес корпуса	100 кг (220 фунтов)
Обмерная площадь парусности ...	14 м ²
Фактическая площадь парусности	16,5 м ²
Водоизмещение	0,317 т

Первая яхта класса «Снайп» (Бекас) спроектирована в 1931 г. Вильямом Кросби. Корпус можно строить из любых материалов (дерево, фанера, пластмасса), форма обводов угловатая (шарпи). Вес корпуса с вооружением не может быть меньше 204 кг, что является главным пороком «Снайпа». Вместе с тем, большой вес яхты плюс вес команды из двух человек при маленькой площади парусов делают этот швертбот безопасным (рис. 39 (стр. 51)). Только очень неопытный рулевой может опрокинуться на «Снайпе». Безопасность — главная причина быстрого распространения «Снайпа» по всему земному шару. Через 22 года после рождения «Снайпов» количество их в мире дошло уже до 10 000. Это международный класс, в котором разыгрываются чемпионаты Европы и мира.

стр. 64

Основные размеры «Снайпа»:

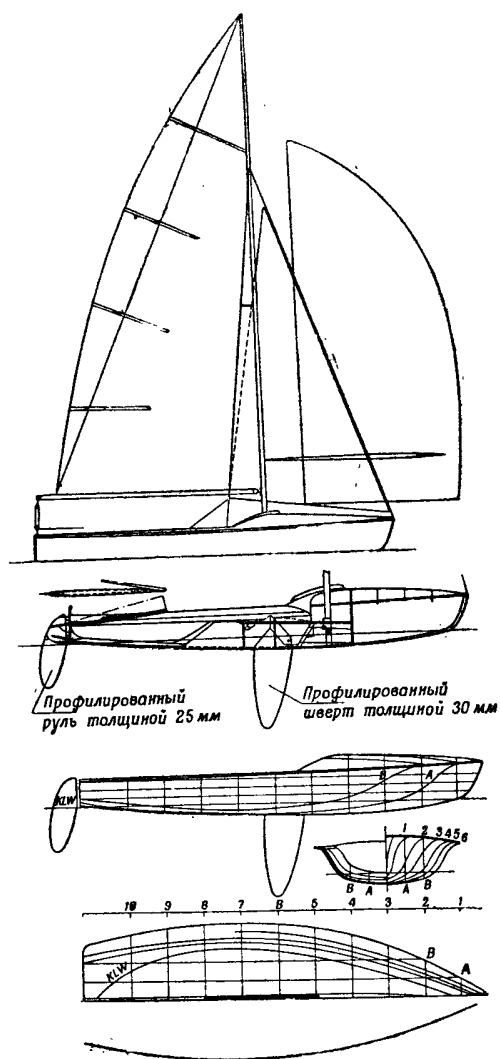


Рис. 38

Рис. 38: Швертбот «5-0-5»

Максимальная длина	4,63 м
Максимальная ширина	1,53 м
Площадь парусности	10 м ²
Вес корпуса с вооружением (минимум)	204,3 кг

Яхта класса «Пират» спроектирована Каролом Мартенсом. Этот национальный немецкий класс сильно распространен в странах средней Европы. Теперь для «Пиратов» часто устраиваются различные международные гонки. Корпус яхты деревянный, настолько простой формы, что без труда может быть построен самим любителем. Положение и изгиб мачты можно регулировать так же, как у яхт класса «0-36». С 1956 г. разрешено несение спинакера площадью 10 м² (рис. 40 (стр. 52)).

Основные размеры «Пирата»:

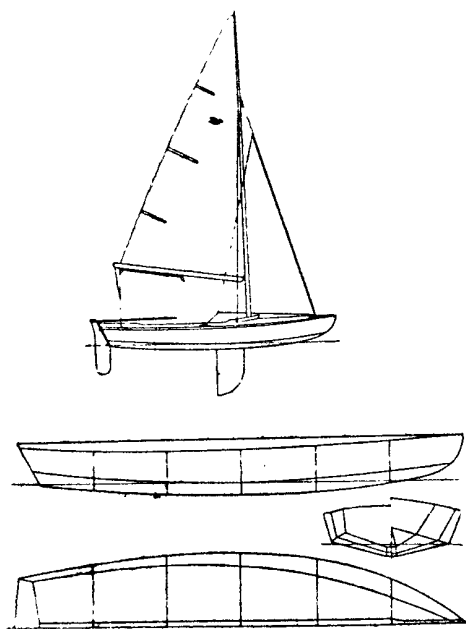


Рис. 39: Швертбот «Снайп»

Максимальная длина ..	5 м
Максимальная ширина	1,61 м
Осадка, включая шверт	1,05 м
Вес корпуса (минимум)	180 кг
Площадь парусности ...	10 м ²

в том числе:

грот	7,28 м ²
стаксель	2,72 м ²
площадь спинакера	10 м ²

стр. 66

Швертбот «Кадет» спроектирован английским конструктором Джеком Холтом в 1947 г. Это яхта для детей и подростков с командой два человека. В короткий срок «Кадет» снискал широкую популярность. Сейчас в разных странах плавают более 2000 этих швертботов (для них устраиваются международные соревнования как в Европе, так и в других странах. Международный парусный союз ввел его в семью международных яхт. — *Прим. перев.*).

«Кадет» был задуман как яхта туристского и гоночного назначения, простая и легкая в постройке, для развития парусного спорта среди детей и подростков. Вес корпуса «Каде́та» — всего 54 кг, его легко переносят трое-четверо ребят. Строится яхта из фанеры толщиной 6 мм, шверт деревянный, профилированный, толщиной 12 мм (рис. 41 (стр. 53)). По правилам класса швертбот должен строиться только самими любителями. Стоимость постройки невелика.

Основные размеры «Каде́та»:

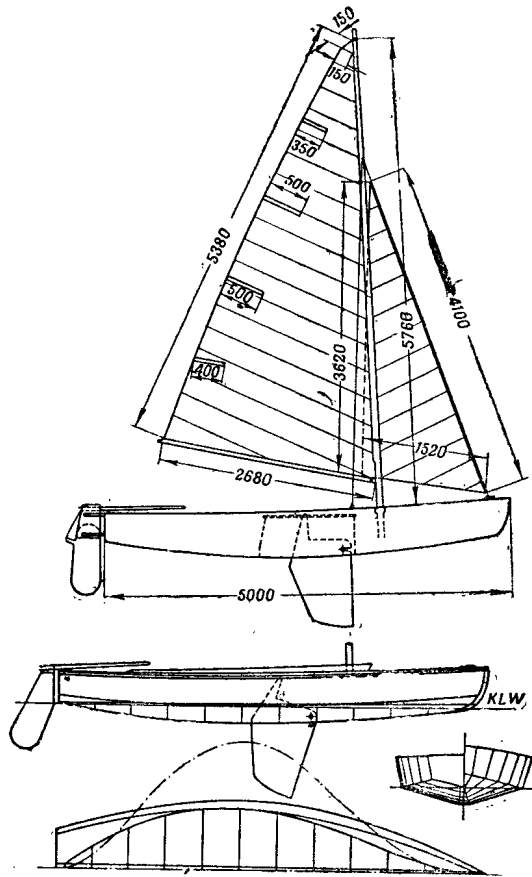


Рис. 40

Рис. 40: Швертбот «Пират»

Максимальная длина	.....	3,20 м
Максимальная ширина	....	1,25 м
Вес корпуса с вооружением		68 кг
Осадка, включая шверт	...	0,76 м

Площадь парусности:		
грот	....	4,5 м ²
стаксель		1,45 м ²

Интересно привести некоторые параграфы из устава класса «Кадет», показывающие, какое спортивно-воспитательное значение придается занятиям парусным спортом в этом классе:

Пункт 2. В гонках яхт класса «Кадет» могут участвовать:

- а) мальчики или девочки, умеющие проплыть 50 м в спортивном костюме (майке, свитере, тренировочных брюках или трусах) и спортивной обуви;
- б) мальчики и девочки, умеющие проплыть под водой в течение 20 сек. в таком же костюме.

Умение плавать проверяется в школах плавания.

Пункт 3. В классе «Кадет» в соревнованиях выступают юноши и девушки не

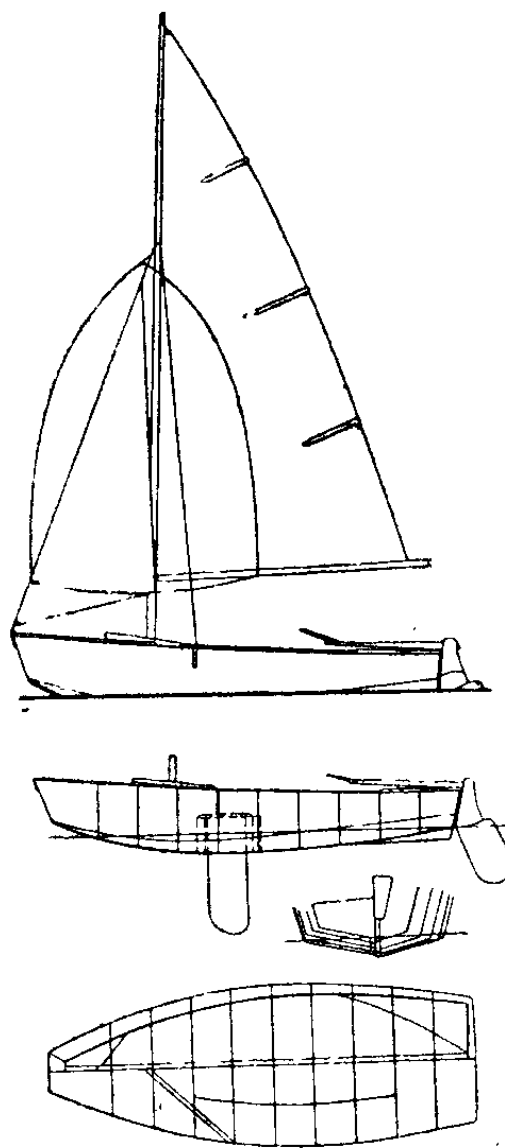


Рис. 41

Рис. 41: Швертбот «Кадет»

старше 18 лет. Право участия теряется в год, когда яхтсмену исполнится 19 лет.

Пункт 5. К гонкам допускаются только яхты, снабженные водонепроницаемыми емкостями, обеспечивающими непотопляемость яхты, нагруженной балластом весом 150 кг.

Пункт 8. Во время гонки команда обязана надевать спасательные жилеты.

Таким же, как «Кадет», любительским классом является **класс яхт «Моль»**, допускающий оригинальные решения в постройке и вооружении (рис. 42 (стр. 54) и 43 (стр. 54)). Он возник в результате стремления многих любителей иметь швертбот, созданный собственными руками, для нужд своей семьи. Он должен был быть пригодным для гонок и прогулок, быть простым и дешевым в постройке и, конечно,

достаточно «свободным» для проявления творческой инициативы владельца.

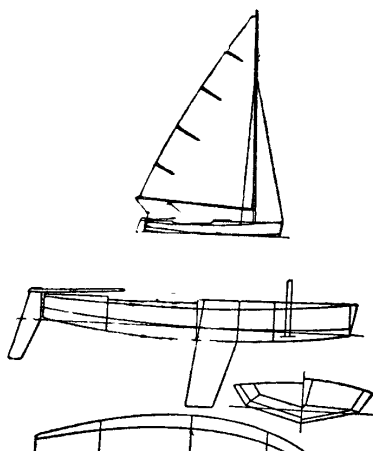


Рис. 42: Швертбот «Моль» (вариант 1)

стр. 68

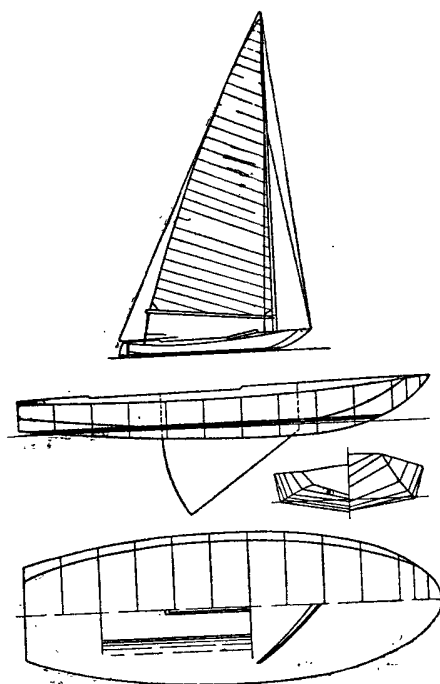


Рис. 43

Рис. 43: Швертбот «Моль» (вариант 2)

Основные ограничения в классе «Моль»:

- 1) максимальная длина корпуса не более 3,35 м при одном руле и одном шверте;
- 2) никаких ограничений в способе постройки и форме корпуса и вооружения;
- 3) рангоут целый; мачта одна, максимальная высота ее — 5,03 м; гик один, с максимальной длиной 2,89 м; никаких ограничений в весе рангоута и такелажа;

стр. 69

4) парус один, поднимаемый не выше чем на 4,57 м по мачте и не шире чем 2,75 м по гика. Стрелка задней шкаторины не более 0,15 м измеряется на половине длины шкаторины. Парус крепится к гика любым способом, но так, чтобы нижняя шкаторина его нигде не отходила от гика больше чем на 7,6 см.

Парус не может быть поднят над палубой выше чем до уровня 4,88 м. Допускается не свыше четырех лат общей длиной не более 2,39 м. Фаловая дощечка грота должна быть не шире 10,1 см при измерении под прямым углом к мачте. Парус может быть сшит из любого числа полотнищ, а количество парусов на яхте не ограничивается.

2.4.2 Килевые яхты для прибрежных морских районов и внутренних водоемов

В 1911 г. в США появилась яхта «Звезда». Она была спроектирована Френсисом Свейсгатом как небольшой килевой монотип для проведения соревнований в водах Лонг Айленда⁷ (рис. 44 (стр. 56)). Последующие усовершенствования и замена гафельного вооружения бермудским сделали этот класс, названный «Звездным», или «Звездником», популярным во всем мире. С 1932 г. «Звездники» постоянно участвуют в олимпийских гонках. Ежегодно проводятся крупные международные соревнования, вплоть до первенств стран, континентов и мира. В настоящее время насчитывается свыше 4000 яхт этого класса.

стр. 70

«Звездник» — классическая гоночная яхта на два человека. Управление ею требует от команды высокого мастерства, отличной физической подготовки и знания технических особенностей своей яхты. Возможность регулирования такелажа в широких пределах, гибкость рангоута, перемена положения мачты — все это позволяет добиваться высоких аэродинамических коэффициентов паруса при различных условиях плавания. Плавание, гонки на «Звездниках» дают большое удовлетворение, что и служит главной причиной их популярности среди опытных яхтсменов.

стр. 71

Основные размеры «Звездника»:

Максимальная длина .	6,9 м
Длина по ватерлинии .	4,8 м
Максимальная ширина	1,7 м
Осадка	1,05 м
Вес фальшкиля	около 400 кг
Площадь парусности . .	26 м ²

Употребление спинакера запрещено.

стр. 72

Класс яхт «Дракон» появился в 1929 г. Яхта была спроектирована и построена норвежским конструктором Йоганом Анкером. По замыслу это должна была быть дешевая килевая яхта для туристских целей. Постепенно она превратилась в довольно дорогую гоночную яхту, имеющую сравнительно хороший ход.

«Дракон» — ограниченный класс, допускает некоторую свободу конструкции и регулирования вооружения (рис. 45 (стр. 57)).

При обмере контролируются размеры и форма корпуса, площадь и форма парусов, величина мачты и гика.

⁷Сведения неправильные. Яхта «Звездного» класса была спроектирована американцем Вильямом Гардиером (*Прим. перев.*).

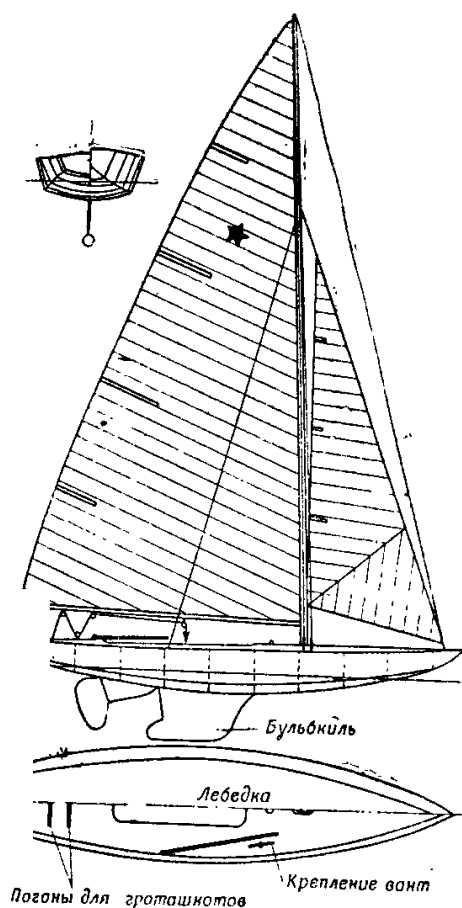


Рис. 44

Рис. 44: Килевая яхта «Звезда»

Вместо рубки на современных «Драконах» остались только козырьки, предохраняющие от попадания в яхту воды.

Класс не ограничивает применения различных приспособлений, облегчающих управление парусами, регулирование рангоута и др. (рис. 46 (стр. 57)).

Как и в «Звездном» классе, на «Драконе» нужна хорошо подготовленная команда, но из трех человек. И «Драконы» и «Звездники» не имеют самоотливных кокпитов.

Основные размеры «Дракона»:

Максимальная длина .	8,9 м
Длина по ватерлинии .	5,7 м
Максимальная ширина	1,9 м
Осадка	1,2 м
Вес фальшкиля	около 1000 кг
Водоизмещение	около 2 т
Площадь парусности . .	22 м ²

Класс яхт «R – 5,5» (рис. 47 (стр. 58)) относится к так называемым «конструктивным классам». Основные размеры яхт ограничиваются математической формулой, приведенной на рис. 47 (стр. 58). Яхты этого класса могут различаться меж-

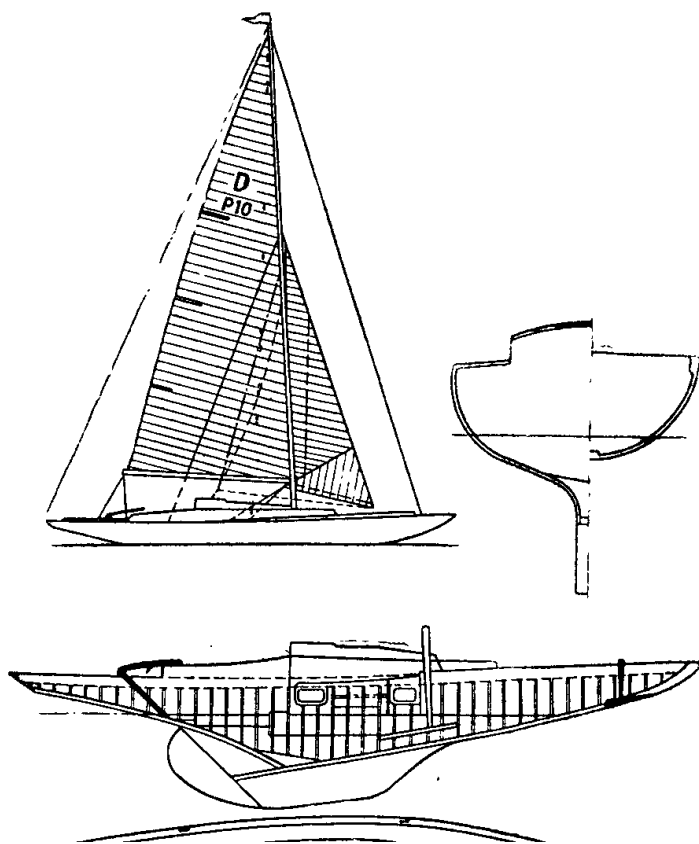


Рис. 45: Теоретический чертеж яхты «Дракон»

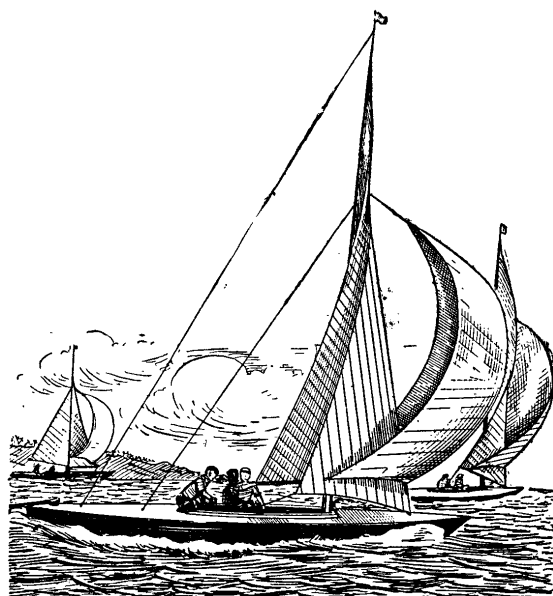


Рис. 46: Яхта класса «Дракон» под полными парусами

ду собой длиной корпуса, водоизмещением и площадью парусности, что открывает широкое поле деятельности для конструкторов. Ограничения действуют таким об-

разом: если конструктор желает увеличить длину корпуса, а водоизмещение оставить прежним, он должен соответственно уменьшить площадь парусности, и наоборот.

Пожалуй, ни один класс яхт не привлекал столько конструкторских сил и не испытывался с такой тщательностью, как этот. Корпуса и паруса испытывались в аэро- и гидродинамических трубах, проводились серии испытаний в натуре и т. д. В результате

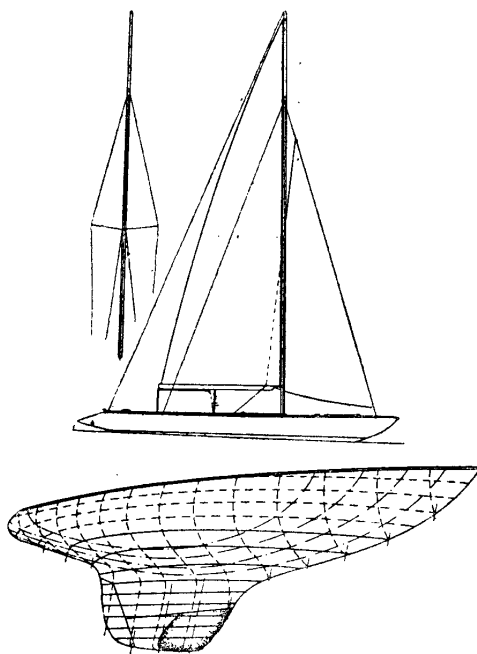


Рис. 47: Яхта класса «R-5,5»

за короткий срок яхты класса «R-5,5» достигли значительного совершенства. В настоящее время в этом классе проводятся ежегодно крупные международные соревнования (в программе олимпийских парусных соревнований класс «R-5,5» участвует с 1952 г. и уже включен в программу олимпийских гонок в Токио в 1964 г. — *Прим. перев.*).

Основные размеры яхт класса «R-5,5» приведены в табл. 5 в сравнении с размерами «Дракона» и «Звездника».

2.4.3 Килевые яхты открытого моря

В развитии конструкций современных яхт для плавания в условиях открытого моря характерно стремление строить так называемые «яхты малого водоизмещения». Вопрос заключается в том, за счет чего обеспечивается поперечная остойчивость: за счет низко подвешенного свинцового фальшкиля при сравнительно узком и длинном корпусе (балластная остойчивость) или за счет увеличения ширины корпуса с менее глубокой осадкой и более легким фальшкилем (стойчивость формы). В последнем случае под палубой образуется обширное помещение, что особо важно для небольших яхт.

Таблица 5: Сравнение размеров яхт классов «R-5,5», «Звездник» и «Дракон»

	«R-5,5»	«Звездник»	«Дракон»
Площадь парусности, м ²	26,5–29	26	22
Максимальная длина, м	—	6,9	8,9
Длина ватерлинии, м	6,5–7	4,8	5,7
Осадка, м	1,35	1,05	1,2
Максимальная ширина, м	1,9	1,7	1,9
Водоизмещение, т	1,7–2,0	0,9	2,0
Вес балластного киля, кг	—	395–408	990–1000
Максимальная высота парусности, м	11,1	9,7	10
Количество лат на гроте (максимум)	4	4	4
Число членов экипажа	3	2	3

Современные конструкции развиваются в направлении строительства более широких, с плоскими обводами, поместительных яхт, лучше обеспечивающих удобства команды в длительных плаваниях.

Яхты малого водоизмещения значительно дешевле обычных килевых яхт такой же длины: более легкая конструкция требует меньшего расхода материалов. Расходы на паруса тоже меньше, так как более легкая яхта требует меньше парусов для достижения одинаковой скорости с более тяжелой яхтой.

стр. 75

Чтобы получить достаточную площадь бокового сопротивления, вернулись к конструкции типа яхты «Волонтер» — опускному, но уже профилированному шверту. Примером яхты такого типа может служить

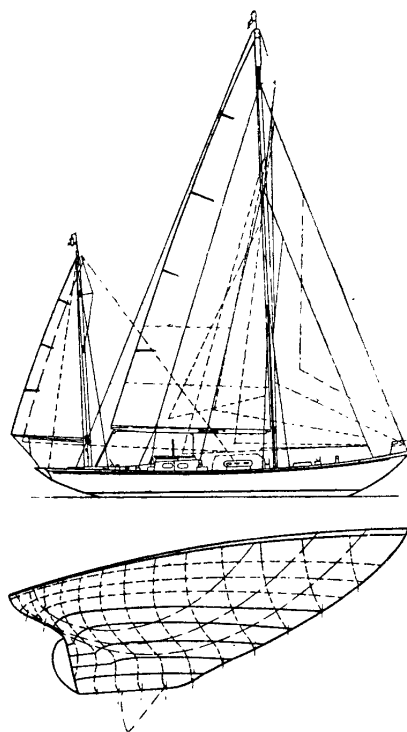


Рис. 48: Яхта «Карина»

«Карина», выигравшая гонку через Атлантический океан в 1955 г. (рис. 48 (стр. 59)). Эта яхта-компромисс (имеет неподвижный постоянный и подвижный балластный киль) спроектирована конструктором П. Л. Родсом.

Основные размеры «Карины»:

Максимальная длина	16,3 м
Длина по ватерлинии	11,05 м
Ширина	3,96 м
Осадка корпуса (без шверта)	1,83 м
Площадь парусности	110,9 м ²

По роду вооружения «Карина» — иол, а по гоночной силе относится к первому классу Британского королевского океанского клуба.

После выигрыша Атлантической гонки «Карина» была победительницей многих других международных гонок.

Примером яхт малого водоизмещения может также служить «Маус оф Мальхама», по размерам значительно уступающий «Карине». Это гоночно-крейсерский иол, построенный в 1954–1955 гг. Он принадлежит уже к третьему классу.

Основные размеры «Маус оф Мальхама»:

Максимальная длина	9,75 м
Длина по ватерлинии	7,3 м
Водоизмещение	2,4 т
Балласт	0,94 т
Осадка	1,75 м
Площадь парусности	29 м ²

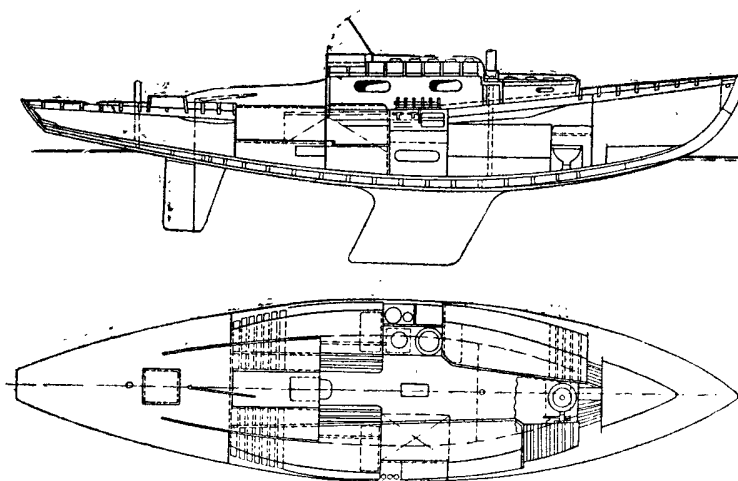


Рис. 49

Рис. 49: Конструктивный чертеж яхты «Маус оф Мальхама»

В конструкции этой яхты интересно решена задача получения достаточной площади бокового сопротивления путем крепления к килю профилированного, литого металлического плавника (шверта). Уравновешенный руль расположен далеко позади плавника (рис. 49 (стр. 60)). Все внутреннее оборудование и отделка выбирались

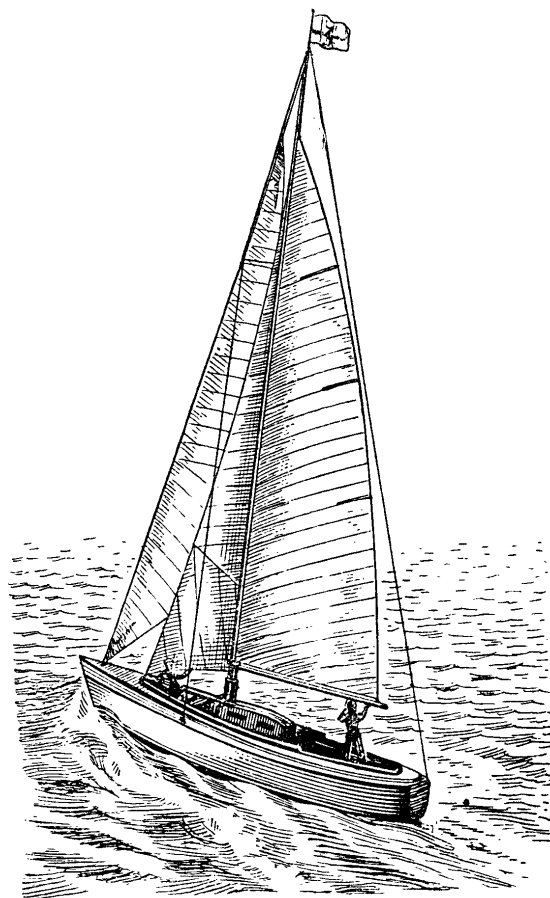


Рис. 50. Яхта «Миф оф Мальхама»

Рис. 50: Яхта «Миф оф Мальхама»

такими, чтобы максимально уменьшить вес яхты, применялись, например, легкие синтетические пенопласты для коек и т. п.

На рис. 50 (стр. 61) показана яхта типа тендер — «Миф оф Мальхама». Стоит обратить внимание на принятое на этой яхте распределение всей площади парусности между отдельными парусами, приведенное в табл. 6.

Ясно, что не все указанные паруса нужны в каждой гонке, однако большой выбор позволяет всегда найти такие паруса, которые лучше всего подходят к условиям данной гонки.

В 1950 г. в Англии образовалось общество «Юниор Оффшор Груп» (Младшая морская команда) с целью содействия и поощрения строительства морских яхт, имеющих меньшие размеры, чем это установлено третьим классом Океанского клуба. Яхты, построенные по правилам этого общества, должны быть полностью безопасными (как и морские яхты других классов). Длина ватерлинии должна быть в пределах 5–6 м. В настоящее время имеется два класса этих яхт (четвертый и пятый), являющихся как бы продолжением классов Британского океанского клуба.

Знаменателен факт перехода через Атлантический океан яхты «Сопранино» за 28 с половиной дней: эта яхта по своим размерам относится уже к новым классам

Таблица 6: Паруса яхты «Миф оф Мальхама»

№ п/п	Название паруса	Площадь паруса, м ²	Вес ткани, г/м ²
0	Грот	28,3	510
1	Широкая генуя	59,0	240
2	Легкая генуя (нейлон)	48,0	50
3	Большой кливер (нейлон)	28,0	200
4	Второй кливер	17,2	460
5	Третий кливер	9,3	460
6	Генуэзский стаксель на переднем штаге	23,2	270
7	Первый стаксель	20,0	400
8	Второй штормовой стаксель	13,1	460
9	Малый стаксель (нейлон)	6,6	50
10	Большой спинакер (нейлон)	81,0	60
11	Малый спинакер	56,0	85
12	Малый кливер	23,2	360
13	Второй легкий стаксель	13,3	240
14	Штормовой триссель (лен)	11,2	420

«Юниор Оффшор Груп».

Основные размеры «Сопранино»:

Максимальная длина 6 м

Длина по ватерлинии 4,95 м

Ширина 1,67 м

Водоизмещение 700 кг

Площадь парусности 14,9 м²

Не трудно предвидеть большие перспективы развития этих новых классов. Дешевизна постройки и вооружения делает их доступными широкому кругу любителей парусного спорта. Владельцы таких яхт могут или участвовать в морских гонках, или уходить в далекие плавания, чтобы испытать всю прелесть морской жизни. Отличные мореходные качества этих яхт уже проверены первоклассными яхтсменами как в гонках, так и в походах.

3 Аэродинамика паруса

3.1 Основы аэродинамики паруса

стр. 80

Ветер — поэтический синоним непостоянства. «Вольный», «буйный», «шаловливый», «капризный» — эти и многие другие эпитеты присвоены ему. И в то же время именно этот неподдающийся точному учету фактор играет первостепенную роль в расчетах парусника. Постепенно было раскрыто много секретов ветра как метеорологического явления. Выяснилось также многое в области использования ветра как движущей силы, в том числе и на яхтах. Наконец удалось даже получить фотографии ветрового потока, снятые в практически интересных условиях.

Теперь, зная ряд законов, которым подчиняется ветер, казалось бы, остается заставить его работать на человека, построив для этого самое совершенное оборудование. Однако использовать полностью энергию ветра не удастся: приходится уступать его «капризам».

Следовательно, нельзя не считаться с прихотями ветра, надо стараться их предвидеть и к ним принаравливаться. Яхтмены используют ветер как движущую силу яхты, но выгоды от этого целиком зависят от неумолимых законов погоды.

Изучением действия ветра на тело (предметы, строения и т. п.) занимается наука *аэродинамика*; ветер как элемент погоды изучает *метеорология*. В дальнейшем аэродинамическими мы будем называть силы, которые действуют на тело, находящееся в воздушном потоке.

Ветер — горизонтальное движение воздушных масс. Воздух — газ, имеющий массу и вес: при температуре 15° и давлении 760 мм 1 м³ воздуха весит 1,225 кг.

стр. 81

Это значит, что удельный вес воздуха $\gamma = 1,225$ кГ/м³, а удельная масса воздуха

$$\rho = \frac{\gamma}{g} = \frac{1,225}{9,81} = 0,125 \text{ кГ/сек}^2/\text{м}^4,$$

где $g = 9,81$ м/сек² (ускорение силы земного притяжения).

Кинетическую энергию воздушного потока можно выразить формулой:

$$E_k = \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{\rho \cdot v^2}{2} = \frac{\gamma \cdot v^2}{2g},$$

где: m — масса тела, v — скорость движения.

Действие ветра — это проявление воздействия кинетической энергии движущегося воздушного потока. Часто, руководствуясь здравым смыслом, можно предвидеть результат действия ветра в том или ином случае. Но нередко наши рассуждения и здравый смысл приводят к ошибочным выводам.

Посмотрим на рис. 51 (стр. 65), 1. На две крыши разной формы действует ветер, дующий со скоростью $v_w = 20$ м/сек. Какая же крыша будет быстрее сорвана ветром? Казалось бы, высокая крыша должна быть сорвана раньше. На самом деле менее прочна низкая крыша.

Другой пример. На два паруса одинаковой формы и площади действует ветер со скоростью v_w (рис. 51 (стр. 65), 2). Один парус стоит к ветру под углом 15° , другой — под углом 90° . Спрашивается, на котором из них возникнут большие аэродинамические силы? По «здравому смыслу», на втором парусе, а на самом деле — наоборот.

На рис. 51 (стр. 65),³ показаны лодки, стоящие на буях A и B . Река течет со скоростью v_n . Спрашивается, как будут вести себя лодки, если их приближать друг к другу, как показано стрелками? Многие ответят, что вода между лодками будет отталкивать их друг от друга, и чем лодки ближе, тем сильнее. Однако практика показывает обратное: лодки притягиваются друг к другу, и тем сильнее, чем меньше между ними расстояние. Незнание этого явления (притяжение двух кораблей) приводило к катастрофам. Поэтому морскими законами теперь установлены обеспечивающие безопасность минимальные расстояния между кораблями, идущими встречными курсами с большой скоростью.

стр. 82

Почему так происходит, будет ясно из последующего изложения. Сейчас заметим только, что в объяснениях явлений аэродинамики, как и гидродинамики, нельзя полагаться только на «здравый смысл». Чтобы правильно разобраться в происходящем, надо рассмотреть действие ветра или потока воды с точки зрения законов физики.

3.2 Уравнение Бернулли

Основной закон аэродинамики выражен уравнением Бернулли⁸. Применяя это уравнение, можно уяснить себе не только работу паруса, но и полет птиц, самолетов, возникновение волн около плывущего корабля, увеличение осадки корпуса при движении корабля и т. п. Уравнение Бернулли выведено для идеальной жидкости, т. е. абсолютно несжимаемой и не имеющей вязкости. Упругие явления (явление сжатия воздушного потока) наступают только при скоростях, превышающих скорость звука — 300 м/сек. Практически скорость ветра во много раз меньше скорости звука, и потому воздушный ветровой поток можно рассматривать как идеальную жидкость.

стр. 83

Однако и ветер и вода имеют определенную вязкость, которой нет у идеальной, условной, жидкости. Поэтому уравнение Бернулли не позволяет создать точную картину фактического обтекания воздухом паруса или водой корпуса яхты. Тем не менее расхождение теории с практикой в данном случае не столь велико и уравнение Бернулли вполне применимо.

Рассматривая движение идеальной жидкости, удобно пользоваться ограниченным участком — струей данной жидкости. Струю можно представить как участок жидкости, ограниченный линиями тока (линиями, представляющими траектории) частиц жидкости, движущихся с определенной скоростью (рис. 52 (стр. 65)). Представим себе, что через трубу переменного сечения протекает струя жидкости, имеющая на входе сечение S_1 , скорость v_1 и давление p_1 (рис. 53 (стр. 65)). В единицу времени через сечение S_1 протечет масса жидкости, равная Q , которую можно определить по формуле:

$$Q = S_1 \cdot v_1 \cdot \rho.$$

В сечении S_2 за то же время t должно протечь то же количество жидкости:

$$Q = S_2 \cdot v_2 \cdot \rho.$$

стр. 84

⁸Даниил Бернулли (1700–1782) — русский ученый, прославившийся своими исследованиями в области гидродинамики, механики и акустики (*Прим. перев.*).

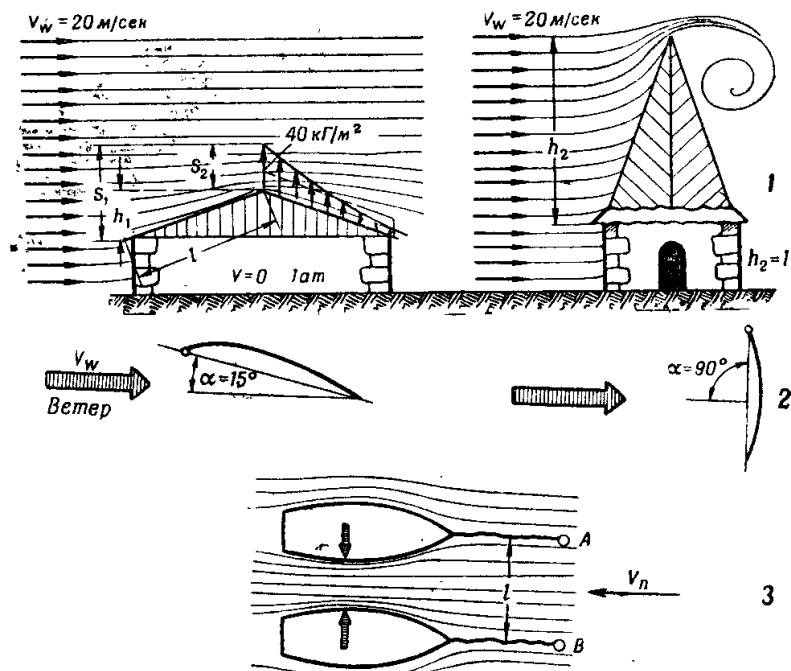


Рис. 51: Примеры действия воздушного и водного потоков: 1 — две крыши; 2 — два паруса; 3 — две лодки на буюх

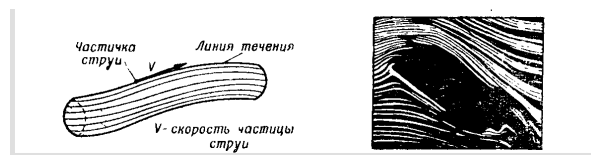


Рис. 52: Струя жидкости: частичка струи, линия течения, V — скорость частицы струи

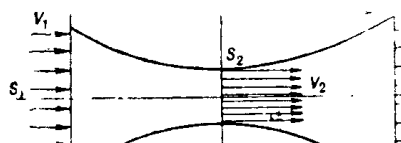


Рис. 53: Труба переменного сечения

Поскольку количество протекшей жидкости в обоих сечениях одинаково, получаем:

$$S_1 \cdot v_1 \cdot l = S_2 \cdot v_2 \cdot \rho.$$

Так как удельный вес массы жидкости ρ за это время не изменился, исключаем его из обеих частей равенства и получаем:

$$S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2.$$

Это уравнение называется *уравнением неразрывности потока*. Оно показывает, что скорость потока изменяется обратно пропорционально его сечению: если сечение S_2 в два раза меньше S_1 , то скорость в нем в два раза больше. Очевидно, в сечении S_3 , равном S_1 , скорости потока одинаковые $v_1 = v_3$. При возрастании скорости растет и кинетическая энергия; следовательно, кинетическая энергия потока в различных сечениях будет разной.

Но энергия не возникает из ничего, один ее вид может перейти в другой. Рост кинетической энергии потока мог произойти только в результате работы, произведенной давлением p_1 на участке трубы S_1 и S_2 .

Уравнение Бернулли определяет характер и величину изменений энергии, происходящих в потоке идеальной жидкости. Наглядно это можно представить следующим образом (рис. 54 (стр. 69)).

Через трубку переменного сечения течет жидкость под статическим давлением p_1 . Допустим, что в сечении S_1 скорость потока равна v_1 . В сечении S_2 скорость v_2 больше, так как S_2 меньше S_1 .

Частица жидкости одинакового объема, например 1 см^3 в точке 1 сечения S_1 , во-первых, обладает энергией положения по отношению к уровню 0–0; энергия эта будет тем больше, чем выше точка 1 или чем больше h_1 . Энергию положения можно выразить как $\gamma \cdot h_1$ (см. рис. 54 (стр. 69)). Во-вторых, частица находится под статическим давлением p_1 , под действием которого она движется. В-третьих, частица обладает некоторой кинетической энергией, так как она движется со скоростью v_1 ; кинетическую энергию можно выразить формулой, определяющей скоростной напор:

$$q = \frac{\gamma \cdot v_1^2}{2g}.$$

В положении 2 скоростной напор частицы возрастает за счет уменьшения энергии положения или статического напора. Бернулли удалось выразить математически зависимость скоростного напора, потенциальной энергии и давления в идеальной среде следующим уравнением:

$$\frac{\gamma \cdot v_1^2}{2g} + \gamma \cdot h_1 + p_1 = \frac{\gamma \cdot v_2^2}{2g} + \gamma \cdot h_2 + p_2.$$

Теорему Бернулли можно сформулировать так: при установившемся движении идеальной жидкости сумма энергий кинетической, потенциальной и давления есть величина постоянная. Следовательно:

$$\frac{\gamma \cdot v^2}{2g} + \gamma \cdot h + p = \text{const.}$$

Другими словами, энергия потока, выражающаяся в трех видах, кинетической, потенциальной и давлений, может изменяться в пределах этих видов, переходя из одного в другой или обратно, но суммарно оставаясь одной и той же. Необходимо подчеркнуть, что эта зависимость установлена для случая спокойного, незавихренного течения жидкости, называемого *ламинарным*.

3.3 Возникновение аэродинамической силы на парусе

Когда движение происходит на одном и том же постоянном уровне, уравнение Бернулли упрощается:

$$\frac{\gamma \cdot v^2}{2g} + p = \text{const},$$

откуда следует, что сумма кинетической энергии и давления будет постоянной. Именно эта формула применима для парусника, так как ветровой поток воздуха, действующий на парус, в общем, следует считать параллельным поверхности воды.

Применим уравнение Бернулли для вычисления статического и динамического давлений воздушного потока в сопле (рис. 55 (стр. 67)). Примем скорость воздуха в сечении S_1 равной 20 м/сек, а статическое давление — 760 мм ртутного столба (нормальное атмосферное давление). Сечение S_2 по площади в два раза меньше S_1 . В соответствии с положением о непрерывности потока скорость v_2 должна быть 40 м/сек, потому что:

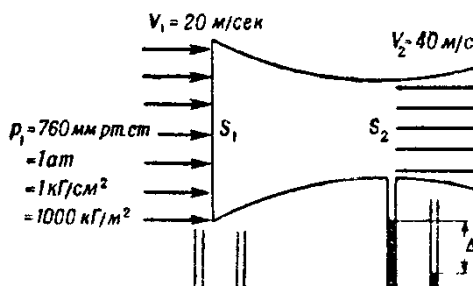


Рис. 55: Давления в сопле

$$S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2.$$

Но $S_2 = \frac{1}{2}S_1$, значит $S_1 \cdot v_1 = \frac{1}{2}S_1 \cdot v_2$,
или $v_2 = 2v_1$.

Подставляя соответствующие значения в уравнение Бернулли для сечений S_1 и S_2 , получим:

$$p_1 + \frac{\gamma \cdot v_1^2}{2g} = p_2 + \frac{\gamma \cdot v_2^2}{2g}, \quad \text{или} \quad 10\,000 + \frac{1,225 \cdot 20^2}{2 \cdot 9,81} = p_2 + \frac{1,225 \cdot 40^2}{2 \cdot 9,81}.$$

Теперь можно легко вычислить величину статического давления в сечении S_2 . Произведя вычисления, получим:

$$p_2 = 9925 \text{ кг/м}^2.$$

Понижение статического давления в сечении S_2 будет:

$$\Delta p = p_1 - p_2 = 10\,000 - 9925 = 75 \text{ кг/м}^2.$$

Разницу (75 кГ/м^2) давления в сечении S_2 и атмосферного можно установить с помощью манометра, одним концом присоединенного к соплу в плоскости S_2 , а другим сообщающегося с атмосферой. Теперь следует сделать практический вывод: каждому увеличению скорости ветра (в определенном потоке) должен соответствовать одновременный спад статического давления, что вызывает явление так называемого *подсоса*, или *засасывания*.

Вернемся к примеру с двумя крышами, подвергающимися действию сильного ветра (см. рис. 51 (стр. 65), 1). На коньке плоской крыши будут возникать в результате сужения струи ветра явления, аналогичные рассмотренным нами в сопле. Из-за увеличения скорости ветра там образуется область пониженного давления, т. е. появляется сила, стремящаяся оторвать крышу. Внутри здания сохранится атмосферное давление, так как скорость ветра $v = 0$. Для примерного расчета возьмем уменьшение сечения (площади) потока ветра крышей, равное $1/2 S_1$, тогда на каждый метр крыши может действовать среднее давление, срывающее крышу, — около 20 кГ/м^2 . При размерах крыши 80 м^2 сила, срывающая ее, была бы равна $80 \times 20 = 1600 \text{ кГ}$.

Обратимся ко второму случаю с высокой крышей. Здесь наблюдаются другие явления: вместо последовательного, спокойного уменьшения площади воздушного потока при плоской крыше, — резкое изменение площади, вызывающее образование вихревого, турбулентного движения масс воздуха. На крышу действует динамический напор ветра, определяемый формулой:

$$q = \frac{\gamma \cdot v^2}{2g} = \frac{1,225 \cdot 20^2}{2 \cdot 9,81} = \frac{400}{16} = 25 \text{ кГ/м}^2.$$

Если обе крыши имеют одинаковую площадь, то высокая испытывает давление ветра только одной стороной — на площади 40 м^2 . Отсюда сила, стремящаяся сорвать крышу, равна $40 \cdot 25 = 1000 \text{ кГ}$, т. е. значительно меньше, чем в случае с плоской крышей. К этим выводам давно пришли на основании наблюдений и опыта, жители Татр: они строят дома с крутыми крышами.

Паруса, поставленные под разными углами к ветру, подчиняются тем же законам (см. рис. 51 (стр. 65), 2). Находящийся в воздушном потоке парус вызывает изменение скорости и направления этого потока. В соответствии с уравнением Бернулли изменение скорости будет сопровождаться изменением статического давления (рис. 56 (стр. 69), 1). В точке O воздушный поток $S-S$ делится на два: подветренный S_z и наветренный S_n . Поскольку площадь сечения для подветренного потока уменьшается и будет меньше, чем у наветренного, скорость ветра там v_z больше, чем начальная скорость v . Соответственно статическое давление на подветренной стороне p_z меньше атмосферного p . Наоборот, на наветренной стороне

скорость ветра v_n меньше начальной скорости v , а статическое давление p_n соответственно больше атмосферного p . На подветренной стороне будет возникать разрежение, или «подсасывание», а на наветренной, наоборот, — повышенное давление, превышающее атмосферное. В результате разницы в давлении на обеих сторонах паруса образуется некоторая результирующая сила p , представляющая собой сумму единичных составляющих давлений p_n и p_z , показанных на рис. 56 (стр. 69), 2.

Основываясь на уравнении Бернулли, возникновение на парусе аэродинамических сил можно объяснить следующим образом. При движении ветра вдоль паруса вокруг него возникает как бы вращение воздуха с некоторой скоростью

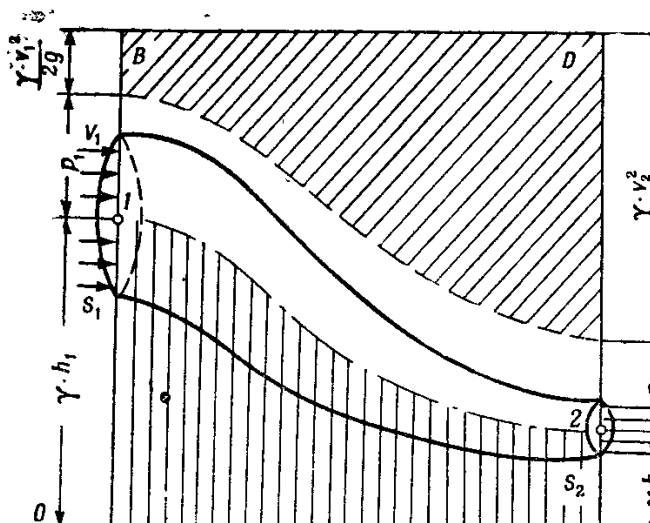


Рис. 54: Графическая иллюстрация уравнения Бернулли

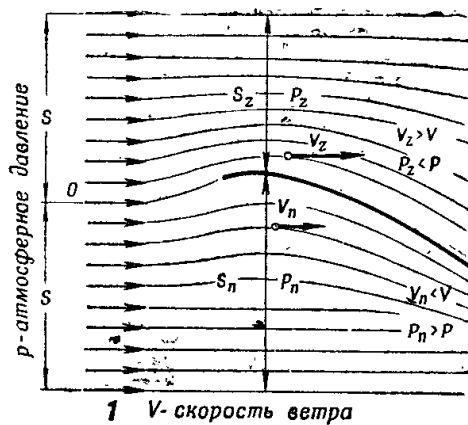


Рис. 56: Давления на парусе: 1 — распределение скоростей и давлений; 2 — результирующая сила; 3 — циркуляционное движение воздуха

v_c (рис. 56 (стр. 69), 3). Складывая скорость равномерного движения воздуха v (скорость ветра, считая ее постоянной) со скоростью циркуляционного движения v_c , получаем полную картину скоростей и давлений на поверхность паруса, которая может объяснить возникновение аэродинамических сил.

Любопытно, что теоретическое представление о существовании циркуляционного движения воздуха вокруг паруса, казалось бы противоречащее здравому смыслу, подтверждается специальными опытами.

Простой опыт позволит убедиться в этом. Укрепите кусочек волнистого картона шпилькой на тупом конце карандаша (рис. 57 (стр. 70), 1). Если под этим кусочком двигать лист картона в направлении V , как показано на рисунке, то волнистый картон в результате возникшей циркуляции воздуха обнаружит тенденцию к отклонению в противоположном направлении V_c . При отсутствии циркуляции кусочек волнистого картона под влиянием трения воздуха должен был бы поворачиваться в одном и том же направлении с нижним листом картона.

Положения теории циркуляции наглядно иллюстрируются экспериментом, впервые проделанным физиком Магнусом (1852 г.). Он установил, что на валу, вращающемся со скоростью ω под действием ветра, дующего со скоростью v , возникает сила P , направленная перпендикулярно оси вала и направлению ветра (рис. 57 (стр. 70), 2). Это явление названо «эффектом Магнуса». На основании «эффекта Магнуса» инженер Флетнер построил роторное судно, не нашедшее, однако, практического применения из-за нерентабельности. Открытие Магнуса широко было использовано русским ученым Н. Е. Жуковским при разработке вопросов аэродинамики.

Среди парусников распространено мнение, что на наветренной стороне паруса воздух испытывает сжатие. Это мнение ошибочное: сжатие воздуха под влиянием движения происходит только при скорости, превышающей скорость звука — 300 м/сек. Единственная причина возникновения аэродинамической силы — изменение форм энергии ветра, вызванное парусом, причем плотность ветра не меняется.

3.4 Разложение давлений на парусе

Величину давлений на наветренной и подветренной сторонах паруса можно измерить с помощью простейших манометров. Такие измерения проводились и в лабораториях на моделях, и в естественных условиях непосредственно на плавающей яхте. На американской яхте «Parroose» такие измерения были выполнены при помощи спиртовых манометров, соединенных резиновыми трубками с местами замера (рядом отверстий) на поверхности паруса. При определенном угле установки паруса к направлению ветра сперва замеряли давление на наветренной стороне,

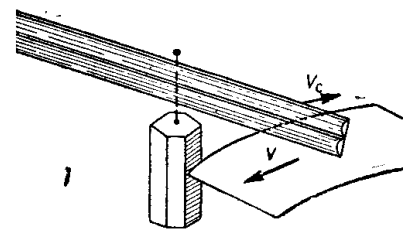


Рис. 57: 1 — опыт с волнистым картоном; 2 — эффект Магнуса

а потом, переменяя галс, — на подветренной. Величина давлений указывается манометрами в миллиметрах воды или спирта. Замеры дают разницу между давлением, образующимся на подветренной стороне паруса, и атмосферным давлением. 1 мм водяного столба соответствует давлению 1 кГ/м^2 .

стр. 91

Полученные таким путем значения положительных и отрицательных давлений (отрицательным будем называть давление меньше атмосферного) можем изобразить в виде графика в каком-либо произвольном масштабе. Соединив концы отрезков — векторов измеренных давлений плавной кривой, получим график распределения давлений

на обеих сторонах паруса. График измеренных давлений можно изобразить так, как это сделано на рис. 56 (стр. 69), 2.

Описанный экспериментальный путь определения давлений на парусе позволяет установить не только их величину, но и распределение по поверхности паруса. Увеличив количество замеров, распределенных по всей площади паруса, можно получить подробную картину работы полной поверхности всего паруса.

стр. 92

На рис. 58 (стр. 72) наглядно дано распределение давлений на наветренной и подветренной сторонах бермудского паруса при скорости ветра $v_w = 10 \text{ м/сек}$.

На рис. 58 (стр. 72), I показано распределение давлений в сечении AB при угле атаки $\alpha = 15^\circ$ на обеих сторонах паруса.

На рис. 58 (стр. 72), II дана такая же картина для подветренной стороны паруса, построенная на основании замеров, произведенных по сечениям на различных уровнях (1, 2, 3, 4, 5).

На рис. 58 (стр. 72), III дано распределение давлений вдоль сечения CD при угле атаки $\alpha = 90^\circ$, т. е. для курса фордевинд.

Рис. 58 (стр. 72), IV показывает распределение давлений по наветренной стороне этого паруса (метод производства замеров аналогичен описанному выше).

График на рис. 58 (стр. 72), I построен на основании измерений, сделанных в натуральных условиях, и отличается от графика на рис. 56 (стр. 69), 2, построенного по результатам замеров, сделанных на парусе без мачты. Излом кривой в области пониженного давления на рис. 58 (стр. 72), I объясняется воздействием мачты, которое она оказывает на форму воздушного потока.

На рис. 59 (стр. 72) показано обтекание воздушным потоком мачты и распределение возникающих при этом давлений. На рисунке видно, что места максимального разрежения расположены на сторонах мачты, обтекаемой ветром с наибольшей скоростью. Позади этого пространства образуются завихрения, поглощающие часть энергии ветра. Эти завихрения, а также связанная с ними потеря энергии и служат причиной излома линий давлений на рис. 58 (стр. 72), I и II.

стр. 93

Вернемся к рис. 58 (стр. 72). Не трудно видеть, что суммарная аэродинамическая сила, возникающая на парусе, тем больше, чем больше площади давлений на наветренной и подветренной сторонах паруса. При острых углах атаки и незавихренном (ламинарном) потоке аэродинамическая сила складывается на $1/3$ из напора на наветренной и на $2/3$ из разрежения на подветренной сторонах паруса. Наибольшая аэродинамическая сила образуется именно при незавихренном потоке. Для хорошей постановки и управления парусами на острых курсах рулевой должен знать сущность физических явлений, происходящих на парусе. Такие знания всегда помогут ему получить максимальную силу тяги, а следовательно, и большую скорость яхты.

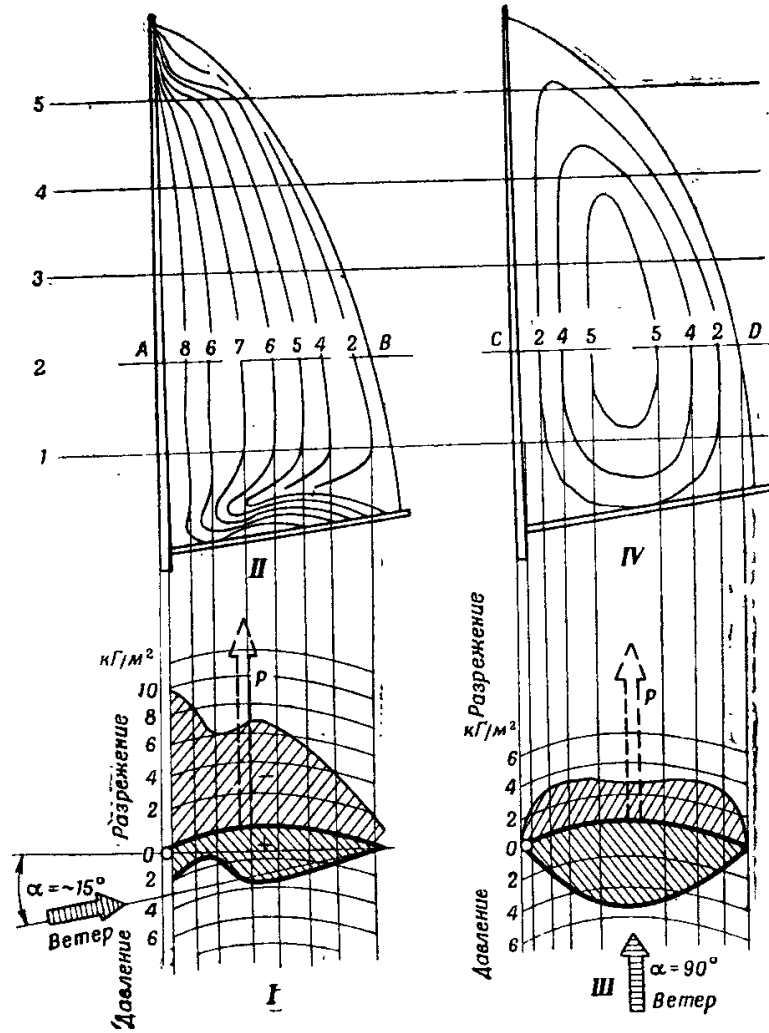


Рис. 58: Распределение давлений на бермудском парусе: *I* — давления в сечении *AB* при $\alpha = 15^\circ$; *II* — давления на подветренной стороне; *III* — давления в сечении *CD* при $\alpha = 90^\circ$; *IV* — давления на наветренной стороне при $\alpha = 90^\circ$

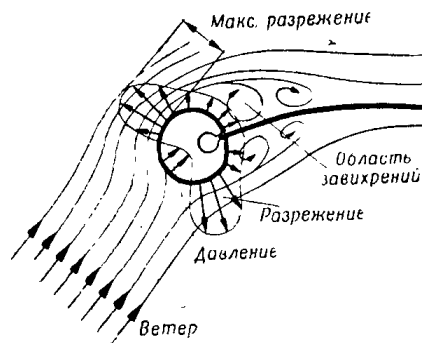


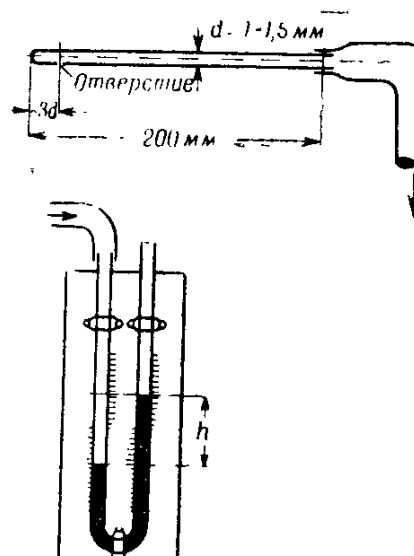
Рис. 59: Обтекание мачты воздушным потоком

Пример влияния мачты на образование силы тяги показывает, что величина давлений на обеих сторонах паруса в значительной степени зависит от характера воздушного потока. Завихрение потока бесполезно поглощает часть динамической энергии и заметно уменьшает величину как напора, так и разрежения, что, в свою очередь, вызывает уменьшение аэродинамической силы. Бесполезные потери энергии на завихрения возникают не только от мачты. Они могут появиться в результате плохой, негладкой установки лат, морщин и других неровностей на парусе и т. п.

В сумме такие, казалось бы незначительные, причины в большей или меньшей степени снижают коэффициент полезного действия паруса и оказывают тем самым заметное влияние на гоночные качества вооружения. Упомянутые недостатки или пороки паруса видны на глаз, но бывают случаи, что видимых пороков нет, а парус работает неудовлетворительно. Тогда надо обратить внимание на плавность формы паруса. Правильно скроенный и сшитый парус должен иметь равномерную умеренную выпуклость — «пузо» — по всей своей поверхности (рис. 60 (стр. 75), I). Гонщики говорят о таком парусе: «лежит, как ложка». Только с таким парусом удастся добиться незавихренного обтекания на острых углах встречи паруса с ветром. В широких пределах яхтенных курсов, от бейдевинда до бакштага (см. рис. 60 (стр. 75), II), парус устанавливается под острым углом к ветру. В пределах этих курсов огромное влияние на работу паруса оказывает состояние его поверхности. Часто можно видеть паруса, поверхность которых выглядит, как на рис. 60 (стр. 75), b-e. На парусах с такой поверхностью образуются вихревые потоки, и аэродинамическая сила уменьшается. Коэффициент полезного действия паруса при малых углах атаки сильно зависит от состояния поверхности паруса, особенно его первой половины на подветренной стороне. Здесь образуются наибольшие разрежения, влияющие на работу остальной части паруса.

стр. 94

Узнать, как распределяется давление воздушного потока на обеих сторонах паруса, можно с помощью простого прибора — аэродинамического лота. Он состоит из тонкой металлической трубки диаметром 1–1,5 мм, один конец которой запаян, а другой посредством резиновой трубки присоединен к спиртовому манометру. На небольшом расстоянии от запаянного конца трубки просверливается отверстие (рис. 61 (стр. 73)). Для устройства спиртового манометра надо взять стеклянную трубку, согнуть ее и укрепить на доске, покрытой миллиметровой бумагой, как показано на рис. 61 (стр. 73), внизу. Во время замеров металлическая трубка на длинной рейке поднимается к месту замера, устанавливается у самой поверхности паруса осью параллельно направлению ветра. Отсчет на манометре покажет разницу между величиной замеренного давления и атмосферным давлением. Конечно, исследования, проведенные с помощью описанного прибора, будут иметь



стр. 95

Рис. 61: Аэродинамический лот

ориентировочный характер, но они могут быть полезными для усвоения основ работы паруса, наивыгоднейших условий совместной работы грота и стакселя и т. п. Все это необходимо знать, так как быстрый рост уровня парусного спорта во всем мире требует от гонщиков обязательного усвоения теоретических знаний.

3.5 Измерение аэродинамической силы паруса

В предшествующих главах было установлено, что аэродинамическая сила возникает в результате благоприятного распределения давлений на обеих сторонах паруса. Эта качественная сторона вопроса не позволяет, однако, выяснить такие важнейшие количественные характеристики, как скорость хода яхты, способность идти круто к ветру, остойчивость и др. Предвидеть результаты действия аэродинамической силы можно только, если известны следующие данные: а) величина силы, б) направление ее действия и в) точка приложения или линия действия силы.

На основании многочисленных экспериментов, проведенных в естественных и лабораторных условиях, установлено, что вышеупомянутые характеристики аэродинамической силы зависят от:

а) динамического давления ветра (скоростного напора), определяемого по уже известной на формуле: $q = \frac{\gamma \cdot v^2}{2g}$;

б) площади паруса S , м²;

в) угла установки паруса относительно направления ветра, или так называемого угла атаки α ;

г) формы паруса и его полноты («пузатости»).

Говоря о форме паруса, следует всегда иметь в виду отношение высоты паруса к ширине, так сказать — вытянутость, удлиненность паруса. Для прямоугольного (рейкового) паруса оно определяется по формуле:

$$\lambda = \frac{L}{l},$$

где L — высота паруса, м, l — длина паруса по хорде, м (рис. 62 (стр. 75)).

Для треугольных парусов, гафельных или гуари, у которых на разной высоте ширина меняется, характеристика их удлиненности, или вытянутости, определяется следующим способом:

$$\lambda = \frac{L}{l} \cdot \frac{L}{L} = \frac{L^2}{S},$$

где: S — площадь паруса, м².

«Пузатость» паруса W определяется как отношение высоты образуемого «пузом» свода f к длине хорды профиля l .

$$W = \frac{f}{l}.$$

Динамическое давление ветра и площадь паруса легко вычислить, если известны скорость ветра и размеры паруса. Наоборот, очень трудно определить влияние формы паруса и угла атаки на величину аэродинамической силы. Для этого надо

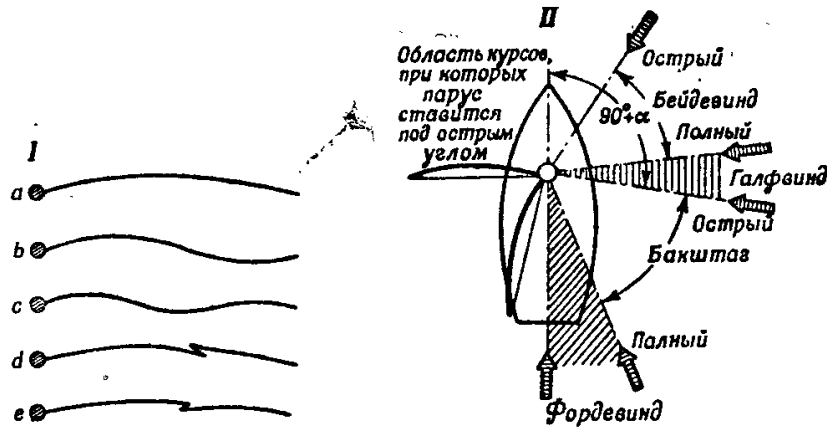


Рис. 60: I — профили паруса: a — правильный, b-e — неправильные; II — область курсов, при которых парус ставится под острым углом

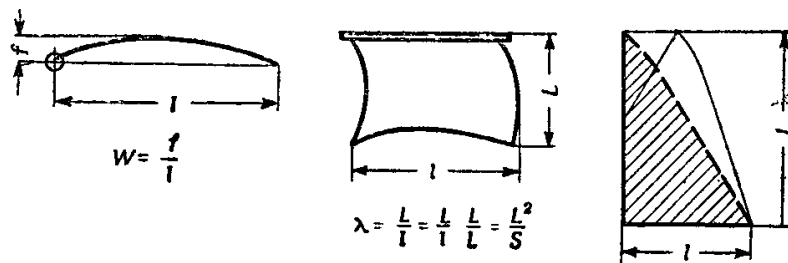


Рис. 62: Удлинение и пузатость паруса: $W = f/l$; $\lambda = L/l = L^2/S$

знать аэродинамический коэффициент паруса C , который находится только экспериментальным путем в аэродинамических трубах.

В результате продувок паруса в аэродинамической трубе определяют аэродинамический коэффициент при различных углах атаки; чаще всего выражают эту зависимость графически.

Способ измерения аэродинамической силы паруса

Эмпирическая формула определения аэродинамической силы паруса имеет следующий вид:

$$P = \frac{\gamma \cdot v^2}{2g} \cdot S \cdot C.$$

Подставляя в выражение $\frac{\gamma \cdot v^2}{2g}$ известные нам величины

$$\gamma = 1,225 \text{ кГ/м}^3, \quad g = 9,81 \text{ м/сек}^2,$$

которые на уровне моря можно принять за постоянные, получим:

$$\frac{\gamma \cdot v^2}{2g} = \frac{1,225 \cdot v^2}{2 \cdot 9,81} = \frac{v^2}{16}.$$

Теперь общий вид формулы аэродинамической силы будет таким:

$$P = \frac{v^2}{16} \cdot S \cdot C,$$

где: v — скорость ветра, м/сек, S — площадь паруса, м², C — коэффициент аэродинамической силы.

Аэродинамический коэффициент получают на основании продувок в трубах уменьшенных моделей, представляющих в масштабе копию нормального паруса. Измерения в аэродинамической трубе проводятся следующим образом: испытываемую модель помещают в измерительную камеру трубы в ветровой поток. Скорость ветра может регулироваться оборотами вентилятора. С помощью рычажков или тяг модель устанавливается в определенном положении таким образом, что возникающая на парусе сила регистрируется на динамометре. Непосредственное определение аэродинамической силы P довольно сложно в смысле технического устройства передачи на динамометр. Поэтому измеряют непосредственно две силы: P_z , перпендикулярную направлению ветра, и P_x , параллельную направлению ветра. Найдя значение сил P_z и P_x , легко определить величину равнодействующей силы P ($P = \sqrt{P_z^2 + P_x^2}$). На рис. 63 (стр. 77), 2 и 3 показана схема устройства для определения сил P_z и P_x .

В аэродинамических трубах испытывают не только модели парусов, но и модели яхт, определяют влияние близко идущей другой яхты и т. п. (рис. 64 (стр. 77)).

Вышеописанный метод позволяет измерять силы P_z и P_x при углах атаки в пределах от 0 до 90° через каждые 5°.

Если модель паруса изготовлена из полотна, то определяется угол, при котором парус перестает «полоскаться» и начинает наполняться ветром. Измерения производятся при постоянной скорости ветра.

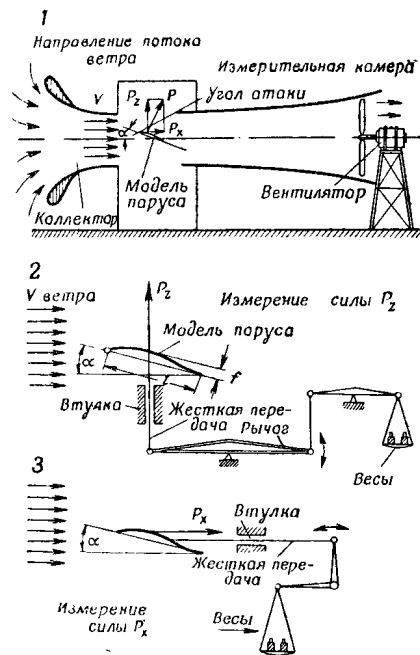


Рис. 63

Рис. 63: Схема измерения аэродинамических сил в аэродинамической трубе: 1 — общая схема; 2 — измерение силы P_z ; 3 — измерение силы P_x

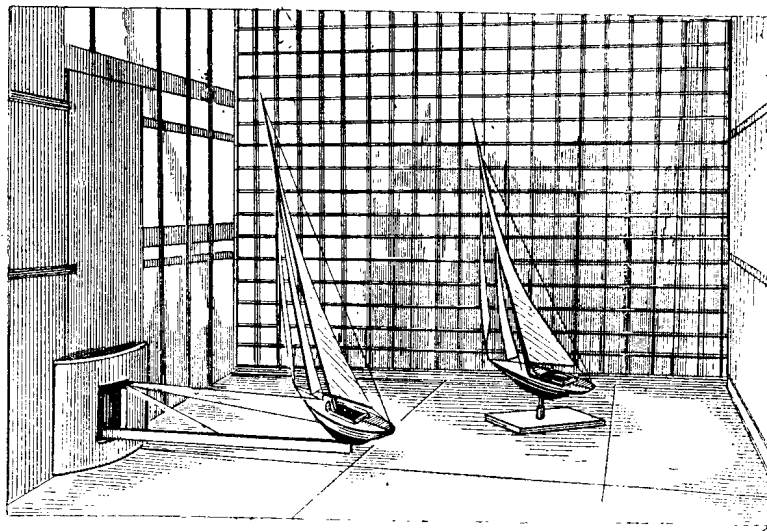


Рис. 64. Измерение аэродинамических сил в положении правильной подветренной позиции

Рис. 64: Измерение аэродинамических сил в положении правильной подветренной позиции

Полярные кривые парусов

Измерив величины сил P_z и P_x , не трудно графически определить величину равнодействующей силы P . Для этого на оси координат $y-y$ откладываем значения силы P_z

и на оси $x-x$ значения силы P_x . Величины сил P_z и P_x отмечаем поочередно для одинаковых углов $\alpha = 5, 10, 15, 20, 25, 30^\circ$ и т. д. до 90° (рис. 65 (стр. 79)).

стр. 100

Получаем ряд точек для углов $5, 10, 15^\circ$ и т. д., которые можно представить в одной какой-то системе координат и затем по этим точкам построить кривую (рис. 66 (стр. 79)). Полученная таким способом кривая называется полярной аэродинамической силы паруса. С помощью этой кривой определяются величина и направление аэродинамической силы паруса для любого угла атаки.

Величину и направление аэродинамической силы для каждого угла атаки укажут векторы, проведенные из точки O к соответствующей точке на кривой; так, для угла атаки 15° величина и направление силы P выражается отрезком OA , для угла атаки 25° — OB .

Построенная таким образом кривая (поляра) пригодна только для выяснения аэродинамической силы модели паруса, которая имела определенную площадь S и испытывалась при определенной скорости ветра v .

Возникает вопрос, каким путем можно использовать результаты исследования моделей для определения аэродинамической силы обычного паруса натуральной величины при различных скоростях ветра. Это делается посредством применения некоторого отвлеченного множителя, называемого аэродинамическим коэффициентом C . Зная аэродинамическую силу модели, можно определить аэродинамический коэффициент C сравнительно простым вычислением по формуле, уже известной из предыдущего материала:

стр. 101

$$P = \frac{v^2}{16} \cdot S \cdot C, \quad \text{откуда} \quad C = \frac{P \cdot 16}{v^2 \cdot S},$$

где: P — величина в кГ аэродинамической силы модели паруса для определенного угла атаки, взятая по полярной кривой, v — скорость ветра во время измерения, м/сек, S — площадь модели паруса, м².

На рис. 66 (стр. 79) даны две кривые аэродинамических коэффициентов C , полученные в результате исследований, выполненных в Геттингенском институте. Исследовались жесткие паруса, изготовленные из жести. Первая кривая построена по результатам исследования совершенно плоского паруса I , вторая II паруса, имевшего выпуклость («пузо»), равную $\frac{1}{10}$. Площадь обоих парусов была одинаковой, отношение высоты к ширине, т. е. удлиненность обоих парусов, была равна 5. Уже беглое знакомство с кривыми показывает большое влияние «пузатости» паруса на величину коэффициента C , а значит, и на величину аэродинамической силы паруса. Сравнение коэффициентов для обоих парусов позволяет оценить величину и направление действия аэродинамической силы для парусов, работающих в одинаковых ветровых потоках.

Рассматривая кривую II для «пузатого» паруса, заметим, что коэффициент аэродинамической силы, значения которого отложены по линии C , изменяется по величине в зависимости от угла атаки α . Максимальное значение C получает при

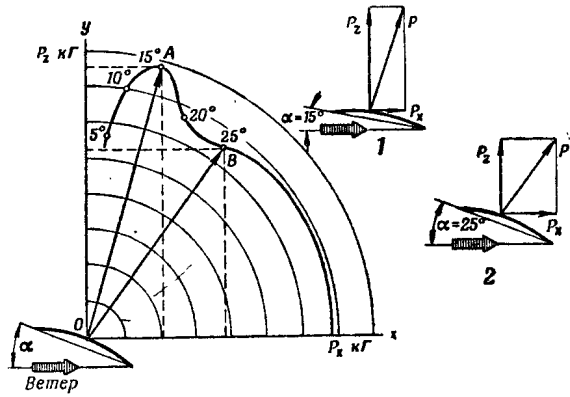


Рис. 65

Рис. 65: Полярная кривая аэродинамической силы: 1 — разложение силы при $\alpha = 15^\circ$; 2 — разложение силы при $\alpha = 25^\circ$

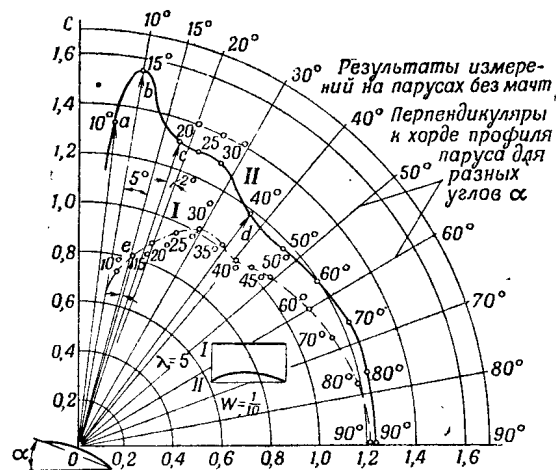


Рис. 66: Полярные кривые аэродинамических коэффициентов: $I - \lambda = 5, W = 1/10$; II — результаты измерений на парусах без мачт. Перпендикуляры к хорде профиля паруса для разных углов α

угле атаки $\alpha \approx 15^\circ$, а затем с увеличением угла атаки значение C быстро уменьшается. Взятые последовательно отрезки Oa , Ob , Oc и Od позволяют оценить величину аэродинамических сил при углах атаки α , равных 10, 15, 20 и 40° . Эти результаты более наглядно показаны на рис. 67 (стр. 81). Не трудно видеть, что установка паруса под разными углами атаки оказывает большое влияние на ход яхты.

В зависимости от того, насколько выбраны шкоты, на парусе возникает большая или меньшая сила, а также меняется направление ее действия. Чрезмерно выбранные или потравленные шкоты сильно уменьшают аэродинамическую силу паруса.

Ламинарный и турбулентный потоки

Опытами установлено, что причиной уменьшения коэффициента C служит отрыв воздушных струй от обтекаемой поверхности на подветренной стороне паруса. Было найдено, что наибольшую величину коэффициент C имеет при угле атаки 15° . При углах атаки меньше 15° на подветренной стороне паруса наблюдается устойчивый незавихренный поток воздуха, в котором частицы газа движутся параллельно друг другу (см. рис. 67 (стр. 81), 1). Такой поток способствует наиболее выгодному расположению области пониженного давления на подветренной стороне паруса, отчего в решающей степени зависит величина равнодействующей силы P .

При угле атаки 15° разрежения на подветренной стороне паруса становятся максимальными; следовательно, и коэффициент C достигает своего максимума. С увеличением угла атаки после 15° начинают появляться завихрения сперва у задней шкаторины (см. рис. 67 (стр. 81), 2), и здесь поток начинает становиться завихренным, турбулентным. По мере увеличения угла атаки завихрения распространяются на всю поверхность паруса на подветренной стороне. В результате расходования энергии ветра на образование бесполезного вихревого движения частиц снижается величина разрежений и соответственно уменьшается коэффициент C . Вихревое движение возникает в результате уменьшения кинетической энергии потока за счет вязкости воздуха.

Сравнивая значение коэффициента C для плоского и «пузатого» парусов, можно заметить, что наибольшая разница имеется при острых углах атаки, причем возникающие на парусах силы различаются не только по величине, но и по направлению действия (рис. 68 (стр. 82)).

Например, при угле атаки $\alpha = 15^\circ$ сила P_2 на плоском парусе почти в два раза меньше силы P_1 на «пузатом» при одном и том же ветре. Кроме того, равнодействующая P_1 наклонена влево от перпендикуляра к хорде «пузатого» паруса, а равнодействующая P_2 наклонена вправо от перпендикуляра к хорде плоского паруса. Это легко установить, сравнив отрезки Ob и Oc на чертеже полярных кривых обоих парусов на рис. 66 (стр. 79), где положения перпендикуляров к хорде паруса для соответствующих углов атаки указаны на внешней окружности.

Большая разница в значениях коэффициентов C «пузатого» и плоского парусов получается вследствие влияния кривизны «пуза» паруса на скорость воздушного потока на подветренной стороне паруса. Чем больше кривизна, тем больше суживается поток и увеличивается разрежение (см. рис. 68 (стр. 82)). На совершенно плоском парусе нельзя получить незавихренный поток, так как отрыв струй происходит уже у самой мачты. При увеличении углов атаки разница между плоским и «пузатым» парусами уменьшается. При угле 90° (т. е. на курсе фордевинд)

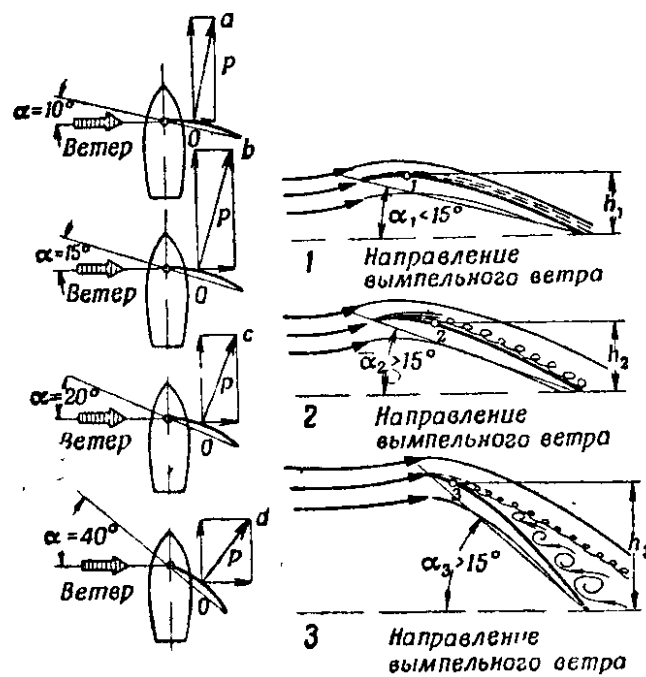


Рис. 67

Рис. 67: Ламинарный и турбулентный потоки на парусе: 1 — $\alpha < 15^\circ$, ламинарный поток; 2 — $\alpha > 15^\circ$, начало завихрений у задней шкаторины; 3 — $\alpha = 40^\circ$, полностью турбулентный поток

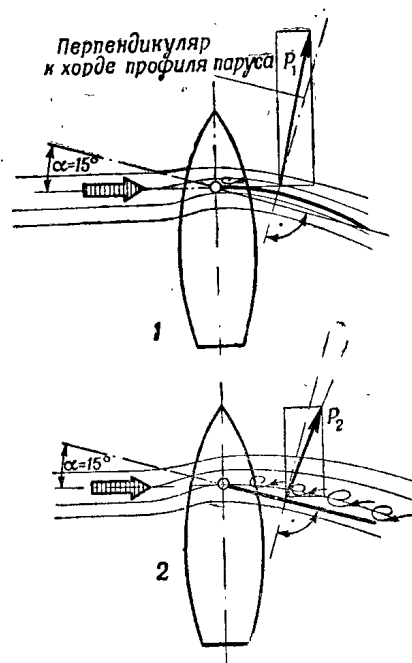


Рис. 68

Рис. 68: Сравнение обтекания «пузатого» и плоского парусов при $\alpha = 15^\circ$

разница между плоским и «пузатым» парусами настолько незначительная, что практически не принимается в расчет. Происходит так потому, что на фордевинде у обоих парусов на подветренной стороне образуется почти одинаковый по характеру турбулентный поток ветра, а следовательно, картины распределения давлений и разрежений у обоих парусов очень близки. Необходимо заметить, что при завихренном воздушном потоке в образовании аэродинамической силы P силы разрежения участвуют значительно меньше, чем силы давления. Именно поэтому «пузатый» парус на курсе фордевинд дает меньшую аэродинамическую силу, чем на острых курсах от бейдевинда до острого бакштага, т. е. тогда, когда парус работает на малых углах атаки. Аэродинамическая сила, которую можно получить при угле атаки 90° (на курсе фордевинд), равна примерно 60% величины аэродинамической силы, которую можно получить на этом парусе при острых углах атаки.

3.6 Центр давления аэродинамических сил паруса

Полярная кривая паруса позволяет определить величину и направление действия аэродинамической силы, чего, однако, недостаточно. Надо еще знать точку приложения этой силы, или, иными словами, центр давления аэродинамических сил. До сих пор мы принимали, что линия действия силы проходит через центр профиля паруса, а центр давления лежит в так называемом центре парусности, указываемом на теоретических чертежах яхты. В действительности линия действия равнодействующей P аэродинамических сил, возникающих на парусе, не проходит через центр парусности, а изменяет свое положение в зависимости от угла атаки (рис. 69 (стр. 84), 1). При острых углах атаки равнодействующая аэродинамическая сила P проходит ближе к мачте, и по мере увеличения угла атаки центр давлений передвигается по направлению к центру парусности, находящемуся на половине хорды профиля паруса в сечении AB .

Перемена положения центра давлений в зависимости от угла атаки графически показана на рис. 69 (стр. 84), 2.

Положение центра давлений определено в процентах от длины хорды профиля паруса l в сечении AB , считая от мачты. На оси $x-x$ расположены величины углов атаки α , на оси $y-y$ — положение центра давлений в процентах длины хорды l . Чертеж относится к парусу с размерами «пуза» $1/10$ и показывает, что линия действия аэродинамической силы проходит через центр парусности только в одном случае, когда яхта идет курсом фордевинд. На любом другом курсе линия действия силы проходит ближе к мачте. Это имеет большое значение в возникновении склонности яхты приводиться или уваливаться.

Итак, прежде всего сделаем вывод, что центр парусности, указываемый на теоретических чертежах, с точки зрения теории парусного плавания, имеет чисто условное значение. В связи с этим вспомним, как широко распространено среди яхтсменов ошибочное мнение, что равнодействующая аэродинамическая сила якобы постоянно проходит через центр парусности, указанный на теоретическом чертеже.

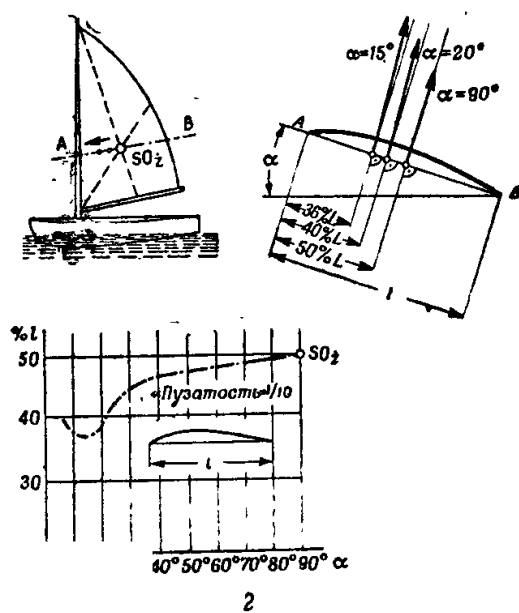


Рис. 69

Рис. 69: Центр давлений аэродинамических сил: 1 — положение центра давлений при различных углах атаки; 2 — перемещение центра давлений в зависимости от угла атаки α (в процентах длины хорды l)

3.7 Аэродинамическое сопротивление паруса

Выше было показано, как определяется равнодействующая аэродинамическая сила P модели паруса способом замера двух слагающих ее сил P_z и P_x в аэродинамической трубе. Линия действия силы P_z перпендикулярна направлению ветра, а линия действия силы P_x параллельна ветру (рис. 70 (стр. 86)).

Силу P_x назовем сопротивлением паруса, поскольку она направлена против движения яхты. На чертеже видно, что увеличение силы P_x на величину ΔP_x сопровождается увеличением наклона равнодействующей силы P в сторону кормы. Одновременно уменьшается на величину ΔP_c эффективная, полезная сила тяги паруса P_c , а вместе с тем и уменьшается скорость движения яхты. Сила сопротивления паруса P_x имеет большое влияние на гоночные качества яхты, в связи с чем возникает вопрос: от чего зависит величина силы P_x и каким способом можно уменьшить ее?

стр. 106

Индуктивное сопротивление

Согласно теории Прандтля, сопротивление паруса P_x можно считать составленным из двух слагаемых: так называемого индуктивного сопротивления P_{x_i} и сопротивления профиля P_{x_p} .

У паруса с постоянным соотношением высоты к ширине, т. е. с постоянным удлинением, индуктивное сопротивление P_{x_i} является той частью общего сопротивления, которая неразрывно связана с образованием равнодействующей аэродинамической силы P .

Нам известно, что равнодействующая аэродинамическая сила возникает в результате разности давлений на обеих сторонах паруса. Эта разность неизбежно вызывает некоторое вертикальное движение воздуха вдоль паруса, которое в какой-то степени выравнивает давления. Струи воздуха пытаются переходить с наветренной стороны паруса, где давление больше, на подветренную с меньшим давлением (рис. 71 (стр. 86)). Движение воздуха, пытающееся выравнивать давления на обеих сторонах паруса, может возникать только вокруг гика и оголовка паруса и сопровождается образованием завихрений, на что тратится энергия. Этот непроизводительный расход энергии ветра покрывается за счет уменьшения перепада давлений на обеих сторонах паруса.

Теперь сравним два паруса с одной и той же площадью, но с разной удлинённостью λ_1 и λ_2 . Потери вследствие подсосов по краям паруса будут тем больше, чем длиннее гик, т. е. у низкого и широкого паруса с меньшей удлинённостью. Теория и практика подтверждают, что величина индуктивного сопротивления P_{x_i} есть функция от величины силы P_z и коэффициента удлинённости паруса λ :

$$P_{x_i} = f\left(\frac{P_z^2}{\lambda}\right).$$

Из этой формулы следует, что индуктивное сопротивление растёт прямо пропорционально квадрату силы P_z и обратно пропорционально коэффициенту удлинённости паруса λ , т. е. чем больше удлинённость паруса λ , тем меньше индуктивное сопротивление. Так как формула выражает функцию второго порядка, на графике кривая индуктивного сопротивления будет параболой.

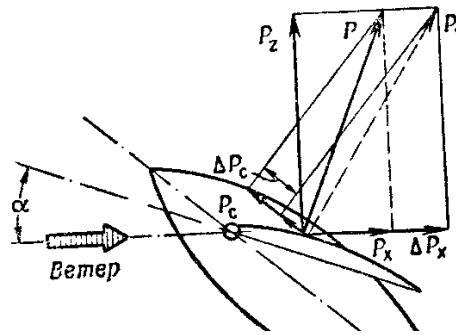


Рис. 70: Разложение аэродинамической силы паруса

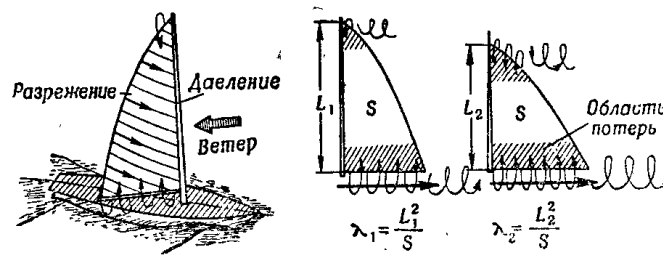


Рис. 71

Рис. 71: Зависимость индуктивного сопротивления от удлинения паруса: $\lambda_1 = L_1^2/S$; $\lambda_2 = L_2^2/S$

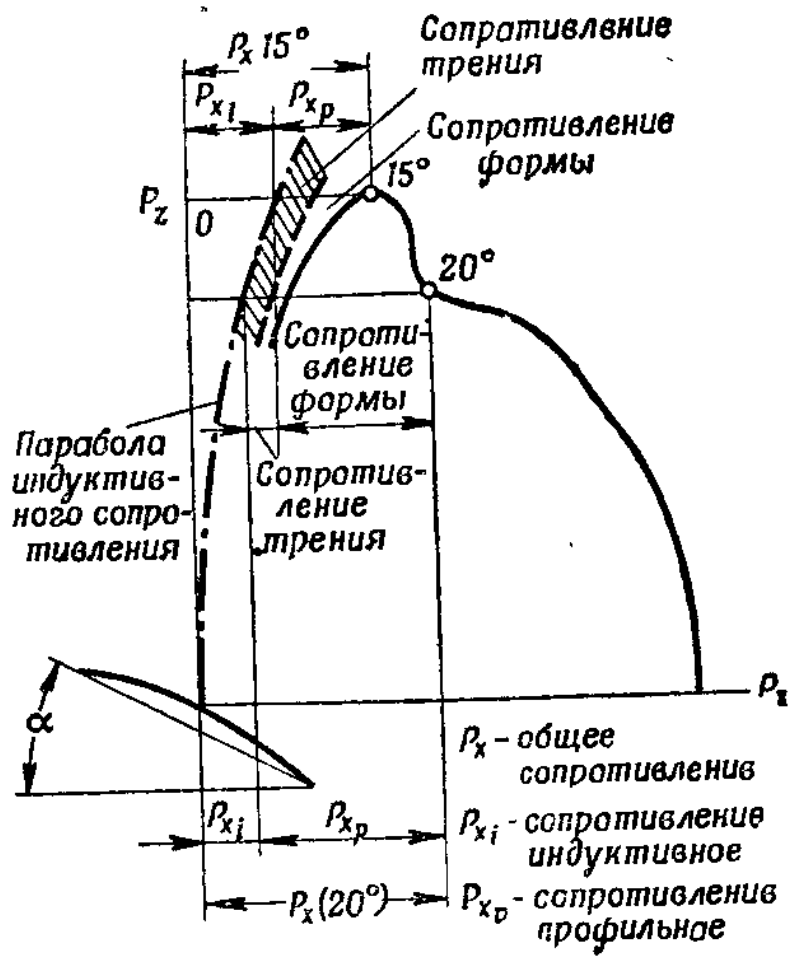


Рис. 72

Рис. 72: Полярная кривая аэродинамической силы паруса с нанесенной штрихопунктирной линией — параболой индуктивного сопротивления: P_x — общее сопротивление; P_{xi} — сопротивление индуктивное; P_{xp} — сопротивление профильное

На рис. 72 (стр. 87) изображена полярная кривая аэродинамической силы паруса с нанесенной штрихо-пунктирной линией — параболой индуктивного сопротивления. При угле атаки $\alpha = 15^\circ$ индуктивное сопротивление выражается отрезком P_{x_i} . Отрезок P_{x_p} представляет собой второй член общего сопротивления P_x , или так называемое сопротивление профиля P_{x_p} . Таким образом, общее сопротивление паруса будет $P_x = P_{x_i} + P_{x_p}$.

На величину сопротивления профиля P влияют два фактора: гладкость поверхности и форма профиля паруса. При острых углах атаки и ламинарном обтекании наибольшее значение в сопротивлении профиля приобретает трение частиц воздуха о поверхность паруса: сопротивление формы в этом случае не играет большой роли. При турбулентном потоке, когда на подветренной стороне паруса появляются завихрения, наибольшее значение в образовании сопротивления профиля имеет его форма.

На рис. 72 (стр. 87) можно видеть, какое соотношение получается между сопротивлением трения и сопротивлением формы при углах атаки $\alpha = 15$ и 20° .

Сопротивление трения

Рассматривая возникновение сил на парусе, мы установили их зависимость от распределения давлений и разрежений на обеих сторонах паруса. Если бы воздушный поток имел свойства идеальной жидкости, то мы имели бы дело только с аэродинамическими силами, возникающими в результате разности давлений на обеих сторонах паруса. В действительности воздушный поток обладает известной вязкостью, хотя и значительно меньшей, чем вода или масло, но тем не менее именно благодаря вязкости возникает сопротивление трения, которым нельзя пренебречь. Между соседними движущимися частицами возникают тангенциально направленные силы внутреннего трения, или вязкости.

В потоке воздуха, обтекающем парус, частицы, соприкасающиеся с поверхностью паруса, задерживаются на ней в результате сил сцепления. Они уже не двигаются вместе со всем потоком, а остаются в покое относительно самого паруса.

В результате вязкости, или внутреннего трения, что одно и то же, неподвижные воздушные частицы тормозят движение соседних частиц, не соприкасающихся непосредственно с поверхностью паруса; только на некотором расстоянии от парусины воздушный поток не будет тормозиться и скорость воздушных частиц восстановится (рис. 73 (стр. 89), 1).

Слой потока, в котором наблюдается понижение скорости движения частиц, называется *пограничным*, или *прилегающим*, *слоем*. Превосходным подтверждением теории пограничного слоя может служить следующий интересный факт: даже при большой скорости движения на кузове автомобиля осаждается пыль, которую ветер не сдувает, потому что на самой поверхности кузова (как и паруса) скорость ветра равна нулю.

Толщина пограничного слоя h увеличивается в направлении движения ветра и у заднего конца паруса достигает примерно до 2% длины профиля паруса. Силы вязкости проявляются только в пограничном слое, где соседние частицы движутся с неодинаковой скоростью, и пропадают, когда частицы имеют равные скорости. На трение между частицами расходуется некоторая часть кинетической энергии ветра, которую можно представить в виде заштрихованной площади (для наглядности

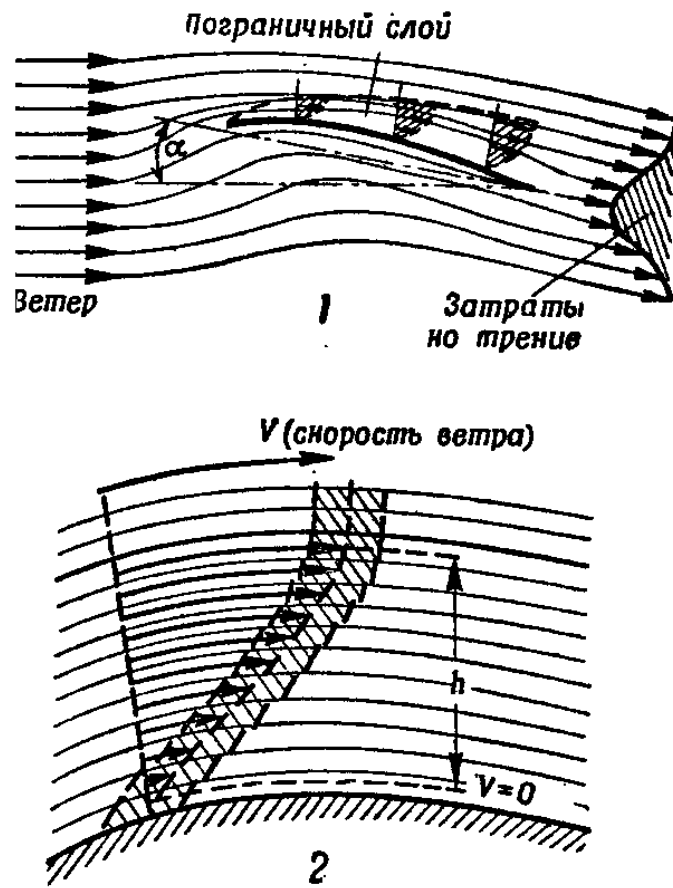


Рис. 73

Рис. 73: Пограничный слой: 1 — затраты на трение; 2 — распределение скоростей в пограничном слое; h — толщина пограничного слоя; V — скорость ветра

толщина пограничного слоя на рисунке сильно увеличена, см. рис. 73 (стр. 89), 1).

Исследованиями Рейнольдса было установлено, что до определенной скорости частицы в прилегающем слое движутся параллельно друг другу (рис. 73 (стр. 89), 2). Такое движение называется *слоистым*, или *ламинарным*. Подобный характер движения сохраняется до тех пор, пока скорость потока не достигнет некоторой определенной величины, называемой критической. Тогда правильное слоистое течение нарушается. Частицы воздуха начинают двигаться не только в долевом, но и в радиальном направлении, и в результате происходит перемешивание частиц в пограничном слое. Такое неупорядоченное, завихренное движение называется *турбулентным*.

стр. 110

Сопротивление трения в турбулентном потоке больше, чем в ламинарном, так как, кроме энергии, расходуемой на преодоление вязкости среды, затрачивается еще энергия на вихревое движение частиц. Опытами установлено, что при ламинарном потоке шершавость поверхности не играет большой роли.

Частицы воздуха, задерживаемые силами сцепления на поверхности паруса, образуют тончайший воздушный слой, в известной мере сглаживающий неровности парусины. Шершавость поверхности более вредна при турбулентном движении; чем больше скорость, тем больше энергии расходуется бесполезно. Однако имеет значение и характер неровности поверхности парусины. При определенных скоростях даже не очень гладкая поверхность может быть признана гладкой. Это объясняется тем, что и при турбулентном движении образуется адгезийный слой, сглаживающий некоторые неровности парусины, а следовательно, снижающий сопротивление трения. По мере возрастания скорости движения адгезийный слой становится все тоньше, и при соответственно больших скоростях воздушного потока даже незначительная шершавость парусины будет играть заметную роль.

На основании исследований, проведенных Никурадзе, можно вычислить величину допустимой шершавости парусины с помощью следующей формулы:

$$k = \frac{100 \cdot \nu}{v},$$

где: k — шершавость, см, ν — кинетический коэффициент вязкости воздуха, равный $0,15 \text{ см}^2/\text{сек}$, v — скорость движения потока, см/сек.

Так, допустимая шершавость парусины при скорости ветра 5 м/сек должна быть не более:

$$k = \frac{100 \cdot 0,15}{500} = \frac{0,15}{5} = 0,03 \text{ см, или } 0,3 \text{ мм.}$$

Промышленность выпускает хлопчатобумажную парусину с поверхностью, значительно более шершавой, чем $0,3 \text{ мм}$. Сопротивление трения, возникающее на парусе площадью 50 м^2 , сшитом из обыкновенной хлопчатобумажной парусины, при остром угле атаки равно сопротивлению площадки 1 м^2 , поставленной перпендикулярно ветру.

стр. 111

На основании исследований, проведенных в Геттингенском институте, определены коэффициенты сопротивления трения для тканей: хлопчатобумажная парусина обычной гладкости — 83 , та же ткань после обжига ворса — 50 , она же после трехкратного каландрования — 47 .

Сопротивление трения можно значительно уменьшить, устранив по возможности ворсистость ткани. Практически это делается проглаживанием паруса утюгом или протиркой щеткой вдоль утка материи. Такую обработку полезно делать перед каждой гонкой. Чем сильнее ожидается ветер и чем больше на дистанции лавировки, тем полезнее такая обработка паруса. На полных курсах сопротивление трения не имеет практического значения. Теперь становится понятным, почему старые, потерявшие ворс паруса, имеющие меньшее сопротивление трения, на острых курсах работают лучше новых.

Значительного уменьшения сопротивления трения можно ожидать, если заменить обычную парусину искусственными тканями, например дакроном.

Сопротивление формы

Источником сопротивления формы служат завихрения воздуха, всегда возникающие при обтекании воздушным потоком любых стоящих на его пути тел. Термин «сопротивление формы» взят потому, что решающее влияние на величину трения имеют прежде всего форма тела, обтекаемого воздушным потоком. С такими явлениями мы сталкиваемся ежедневно: движущийся автомобиль поднимает клубы пыли, и чем более обтекаема форма кузова, тем меньше он поднимает за собой пыли (т. е. сопротивление формы значительно меньше у машины с обтекаемым, аэродинамичным корпусом).

Косвенная причина возникновения сопротивления формы — вязкость воздуха. Объясним это на примере обтекания воздушным потоком мачты (рис. 74 (стр. 92), I). Если бы воздух не имел вязкости, то скорость его частиц, огибающих мачту от точки 1 до точки 2, увеличивалась, достигая в точке 2 наибольшей скорости и наибольшей кинетической энергии. Одновременно с изменением скорости менялось бы и давление: в точке 2 было бы минимальное статическое давление, т. е. все происходящее строго соответствовало теореме Бернулли, так как в точке 2 площадь сечения воздушного потока наименьшая. В своем дальнейшем движении частицы воздуха за счет приобретенной кинетической энергии перешли бы в положение 3 и 4. Но так как воздух обладает вязкостью, то из-за сопротивления трения скорость частиц между точками 1 и 2 будет расти медленнее, чем в теоретическом случае идеальной среды. Некоторое количество возникающей на этом участке кинетической энергии будет расходоваться на преодоление сопротивления трения. В положении 2 частицы воздуха уже не будут иметь достаточной энергии, чтобы при возрастающем статическом давлении передвинуться до точки 4. Кроме того, и на участке 2–3–4 часть энергии будет расходоваться на преодоление сил вязкости. Поэтому в каком-то определенном пункте, например в точке 3, частицы, движущиеся в пограничном слое, полностью израсходуют энергию движения, и наступит момент отрыва пограничного слоя.

Расположение поля скоростей в пограничном слое в точке 3 наглядно показано на рис. 74 (стр. 92), II. На рисунке показан момент отрыва пограничного слоя, т. е. момент возникновения турбулентного движения, охватывающего впоследствии почти всю подветренную сторону мачты. Завихрение потока вызывает потери энергии, величина которых и служит мерой сопротивления формы. Сопутствующей картиной потерь, связанных с сопротивлением формы, будет область завихренного потока, расположенная непосредственно за рассматриваемым сечением мач-

стр. 112

стр. 113

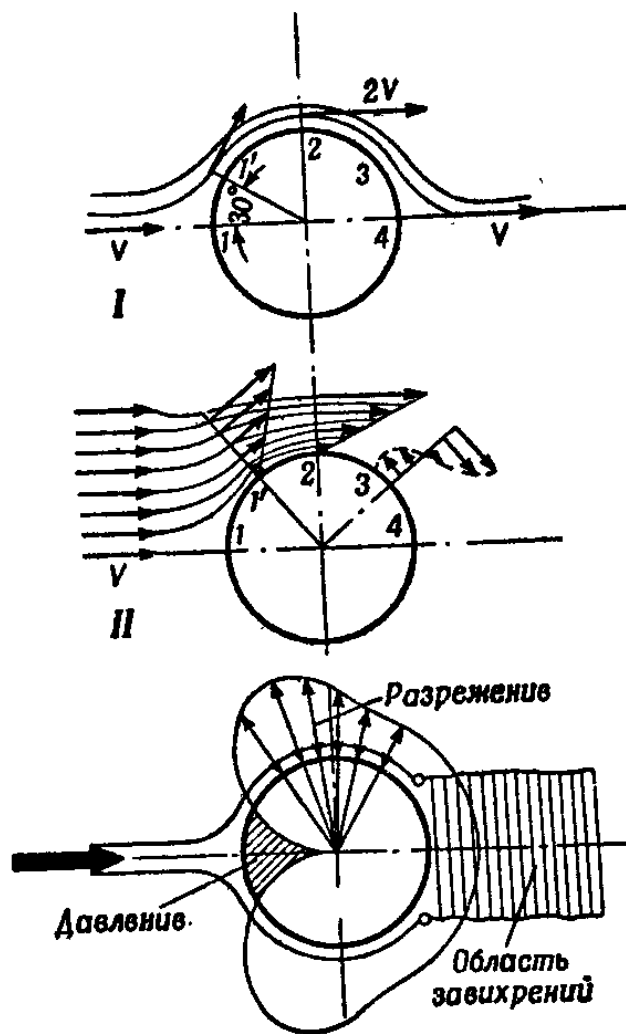


Рис. 74

Рис. 74: Обтекание воздушным потоком мачты: *I* — идеальный поток; *II* — реальный поток с отрывом пограничного слоя; внизу — распределение давлений и область завихрений

ты. Аэродинамические явления, о которых идет речь, нельзя наблюдать непосредственно простым глазом; только возникновение столбов пыли за движущимся автомобилем помогает понять механику появления сопротивления формы. Значительно легче эти явления наблюдать в водной среде; с помощью просвечивания подкрашенных струй можно наблюдать завихрения, отрыв струй и т. п.

На основании многочисленных опытов с телами разных профилей установлено, что решающее влияние на величину сопротивления формы имеют очертания тела.

Отрыв пограничного слоя, возникновение турбулентного движения наступает тем легче, чем более резко и неожиданно меняется кривизна профиля тела. Наоборот, сопротивление формы тем меньше, чем более плавны, обтекаемы очертания тела. На рис. 75 (стр. 94), 1 наглядно показано сравнение коэффициентов сопротивления мачт разного сечения. Сопротивление мачты каплевидного обтекаемого профиля много меньше сопротивления круглой мачты, однако не при любых условиях. Следует помнить, что, когда яхта плавает в лавировку при углах атаки $30-45^\circ$, с точки зрения сопротивления формы, выгоднее круглая мачта.

стр. 114

Практикой установлено, что профилированная мачта знаменитой яхты «Рейнбау» давала на 50% большее сопротивление, чем круглая мачта конкурирующей яхты «Индейвор». Недостаток мачты «Рейнбау» особенно заметен на курсах, близких к галфвинду (рис. 75 (стр. 94), 2), поскольку обширная область завихрений за мачтой распространилась на большую часть поверхности паруса, ухудшая благоприятное распределение давлений на подветренной стороне паруса.

Сопротивление стоячего и бегучего такелажа также влияет на гоночные результаты. Оно больше на курсе бейдевинд, а на курсе галфвинд вредно только в той степени, в какой отрицательно отражается на работе паруса. Насколько может быть велико сопротивление такелажа и рангоута, видно из случаев опрокидывания швертботов с убранными парусами. Известны случаи переворачивания швертботов без паруса, несмотря на откровенное командой.

Сопротивление формы паруса при острых углах атаки относительно невелико. В общем сопротивлении паруса основную роль играют индуктивное сопротивление и сопротивление трения. Рассматривая рис. 67 (стр. 81), замечаем, что в положении 1 частицы воздуха в пограничном слое, достигнув наивысшей точки 1, в состоянии еще преодолеть высоту h и спокойно стечь с поверхности паруса у задней шкаторины. Пограничный слой имеет ламинарный характер и всюду прилегает к поверхности паруса.

С увеличением угла атаки до α_2 и увеличением высоты h_2 пограничный слой уже становится завихренным, но еще прилегающим к поверхности паруса. В положении 3 кинетическая энергия частиц воздуха уже недостаточна для преодоления высоты h_3 и наступает отрыв пограничного слоя от поверхности паруса. Турбулентный поток охватывает всю площадь паруса от точки 3 до задней шкаторины, при этом сильно возрастает сопротивление формы и одновременно уменьшается равнодействующая сила P .

стр. 115

Для гонщика очень важно своевременно поймать момент возникновения турбулентного обтекания паруса, вредно действующего на работу паруса и снижающего, в конечном счете, скорость хода яхты. Контролировать характер обтекания паруса можно, наблюдая за нитками, прикрепленными к задней шкаторине паруса. Если нитки вытянуты и постоянно видны рулевому, значит на подветренной стороне па-

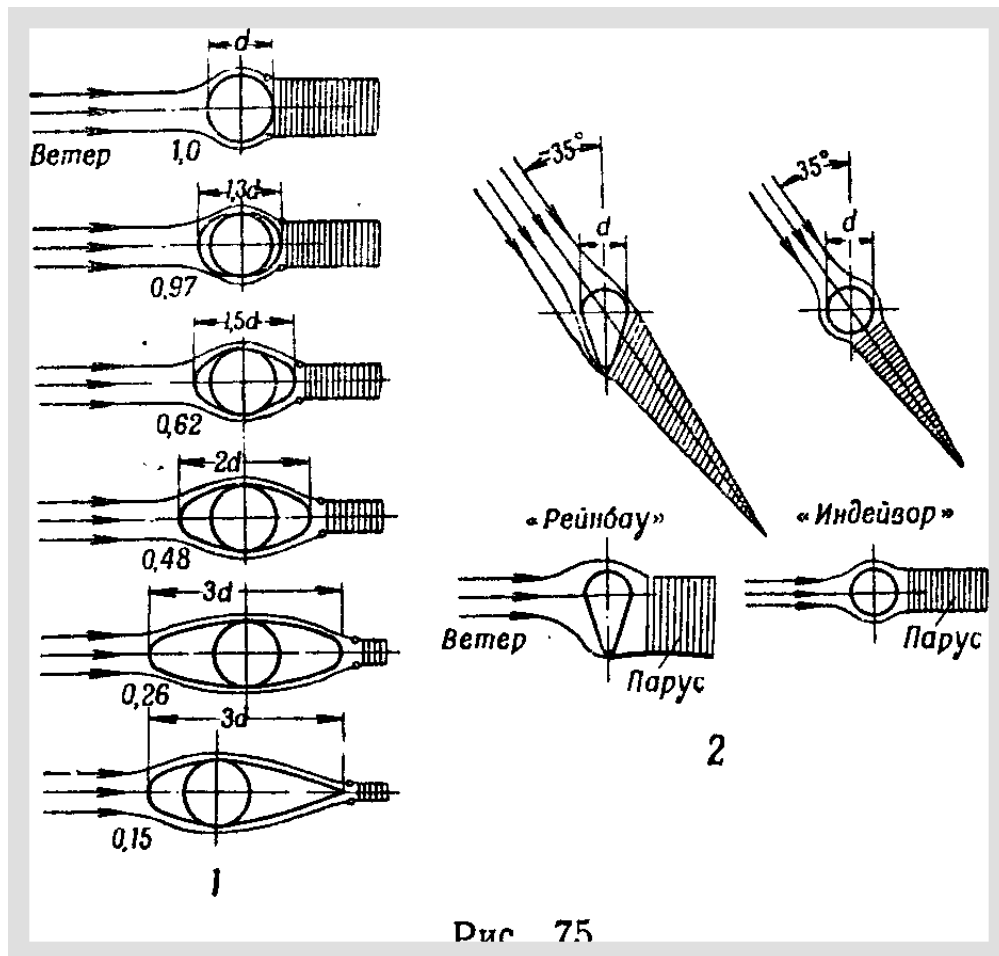


Рис. 75: 1 — сравнение коэффициентов сопротивления мачт разного сечения; 2 — область завихрений за профилированной мачтой яхты «Рейнбау» и круглой мачтой яхты «Индейвор»

руса существует слоистый, невозмущенный поток воздуха, и, следовательно, парус работает хорошо. Если нитки опадают и прячутся на подветренной стороне паруса, значит налицо появление завихренного обтекания.

Величина и направление равнодействующей аэродинамической силы P в большой степени зависит от того, уменьшается или увеличивается ее значение с увеличением угла атаки. Например, если вследствие сильно перебранных шкотов или захода ветра начался отрыв струй на подветренной стороне паруса — равнодействующая сила уменьшится с P_2 до P_1 (рис. 76 (стр. 96), 1). Это изменение происходит по полярной кривой, как показано стрелкой. Желая поставить парус в наиболее выгодное положение, уменьшаем угол атаки с 40° до 15° , но, оказывается, мы не получим сразу максимальную силу P_2 , отвечающую этому углу атаки (рис. 76 (стр. 96), 2), а заметно меньшую силу P . Воздушный поток проявляет некоторое «упрямство» и, приведенный в турбулентное состояние, «неохотно» возвращается в спокойное состояние (рис. 76 (стр. 96), 3). Для этого потребуется какое-то время после того, как парус поставлен правильно.

стр. 116

Чем выше кинетическая энергия частиц воздуха, чем с большей скоростью они движутся вдоль поверхности паруса, тем труднее возникает вихревое движение, которое мешает работе паруса. Следовательно, увеличив скорость обтекания воздушным потоком паруса, можно улучшить его работу. По отношению к гроту такую положительную роль играет стаксель (рис. 77 (стр. 96)). Благодаря стакселю значительно уменьшается площадь воздушного потока и увеличивается его скорость на подветренной стороне паруса. Из уравнения неразрывности следует, что скорость v_1 в сечении S_2 во столько раз больше скорости v , во сколько раз сечение S_2 меньше сечения S_1 :

$$v_1 = v \cdot \frac{S_1}{S_2}.$$

Увеличение скорости в сечении S_2 дает двойную выгоду: 1) увеличивается разрежение на подветренной стороне, и, следовательно, увеличивается аэродинамическая сила паруса; 2) уменьшается вероятность возникновения завихрений и вредного турбулентного потока на подветренной стороне паруса.

Максимальный эффект от стакселя можно получить тогда, когда его форма и постановка будут такие, чтобы между гротом и стакселем образовалось пространство, действующее как сопло. К сожалению, во многих случаях яхтсмены обращаются со стакселем настолько неправильно, что он приносит только вред.

3.8 Условия подобия потоков

стр. 117

Большинство сделанных до сих пор выводов и положений основывалось на результатах экспериментальных исследований моделей яхт и парусов в аэродинамических трубах. А можно ли результаты, полученные в лабораторных условиях, переносить на настоящие яхты и паруса, плавающие в естественных условиях? Такие вопросы задают и сами яхтсмены, и на них есть только один ответ: да, можно.

Воздушный поток, омывающий модель паруса в аэродинамической трубе, и воздушный поток, действующий на парус в естественных условиях, характеризуются одними и теми же физическими величинами, а именно: 1) размерами паруса;

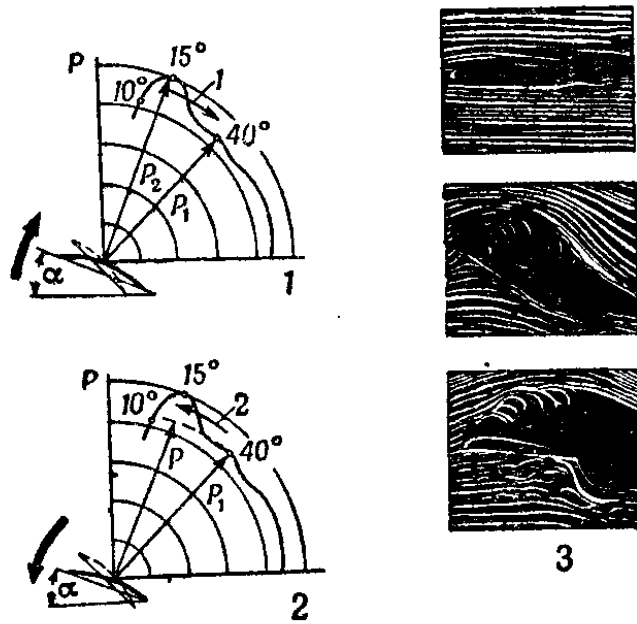


Рис. 76

Рис. 76: 1 — уменьшение аэродинамической силы при отрыве потока; 2 — восстановление силы при уменьшении угла атаки; 3 — турбулентное обтекание паруса

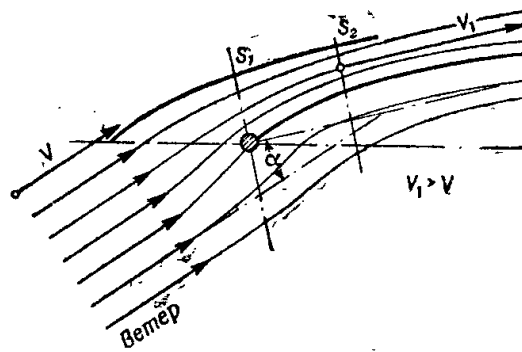


Рис. 77

Рис. 77: Влияние стакселя на обтекание грота: увеличение скорости потока в сечении S_2 между гротом и стакселем

2) скоростью движения воздушных масс (ветра); 3) физическими характеристиками воздуха, его плотностью и вязкостью.

Проблема заключается в создании подобных потоков, т. е. условий, при которых на парусах и их моделях сохранялось бы одно и то же соотношение между возникающими силами. Физик Рейнольдс на основании теоретических положений, подтвержденных экспериментальным путем, установил, что условия подобия будут соблюдены, если для модели и в натуре будут равны некоторые характерные числа, определяющие воздушный поток. Это условие выражается следующим равенством:

$$\frac{v_{1\omega} \cdot l_1}{\nu} = \frac{v_{2\omega} \cdot l_2}{\nu} = R,$$

где: R — число Рейнольдса, $v_{1\omega}$ — скорость обтекания в натуральных условиях, l_1 — длина профиля натурального паруса, ν — кинетический коэффициент вязкости воздуха, $v_{2\omega}$ — скорость обтекания модели, l_2 — длина профиля модели паруса.

Вязкость воздуха в обычных условиях можно считать величиной постоянной. Из равенства чисел Рейнольдса следует, что скорость обтекания модели должна быть во столько раз больше, во сколько раз сама модель меньше натурального паруса. Для модели, сделанной в масштабе 1 : 10, скорость потока надо было бы увеличить в десять раз, т. е. при скорости ветра, в натуре равной, например, 10 м/сек, в трубе нужно было бы создать скорость потока, равную 100 м/сек. Получение таких огромных скоростей очень сложно и дорого. В аэродинамических трубах работают со значительно меньшими скоростями, и все же результаты исследований вполне пригодны для практических выводов.

стр. 118

Оказалось, что даже при значительной разнице в числах Рейнольдса результаты испытаний паруса в натуральную величину и его модели очень близки. Этот вывод подтвержден многочисленными опытами. Например, было исследовано соотношение сил P_x и P_z на трех моделях одинаковой величины, отличающихся друг от друга только профилями паруса. Измерения были проведены при постоянном угле атаки α и с разными скоростями воздуха (рис. 78 (стр. 98)), которые на диаграмме выражены числами Рейнольдса. Оказалось, что профиль 417a сохранял свои аэродинамические качества независимо от числа Рейнольдса. Плоский профиль давал некоторую разницу на участке малых чисел Рейнольдса.

Профиль № 60, обычно применяемый в авиации, оказался совершенно непригодным по сравнению с профилем 417a и плоским. Зато профиль № 60 оказался наилучшим из всех после перехода так называемого критического числа Рейнольдса, равного для него

$$Re = 8 \cdot 10^4 = 80\,000.$$

С какими же числами Рейнольдса мы встречаемся в действительности в спортивной практике? Возьмем парус со средней шириной 2 м и вычислим числа Рейнольдса при скорости ветра 1 и 10 м/сек.

В первом случае при скорости ветра 1 м/сек:

$$Re = \frac{v_{\omega} \cdot l}{\nu} = \frac{1 \cdot 2}{\frac{0,15}{10^4}} = \frac{2 \cdot 1 \cdot 10^4}{0,15} = 13,4 \cdot 10^4 = 1,34 \cdot 10^5,$$

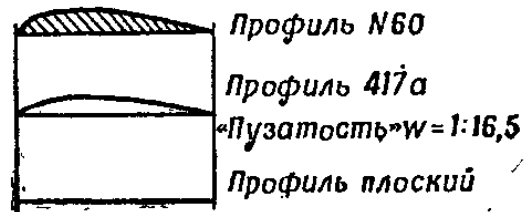
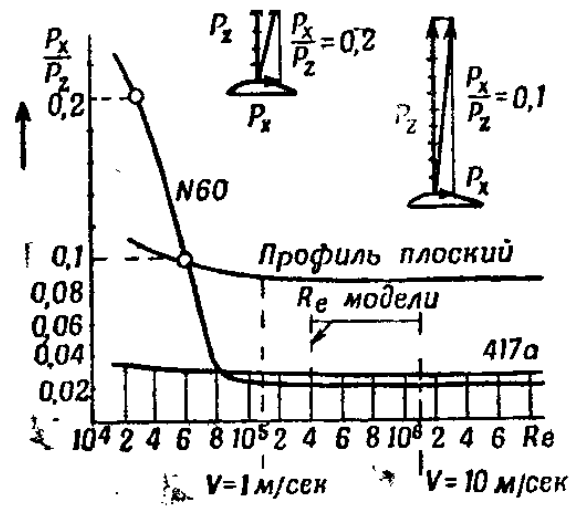


Рис. 78

Рис. 78: Зависимость отношения P_x/P_z от числа Рейнольдса для трех профилей паруса: № 60, 417а и плоского

где коэффициент $\nu = 0,15 \text{ см}^2/\text{сек} = \frac{0,15}{10^4} \text{ м}^2/\text{сек}$.

В другом случае при скорости ветра 10 м/сек:

$$Re = \frac{10 \cdot 2}{\frac{0,15}{10^4}} = \frac{10 \cdot 2 \cdot 10^4}{0,15} = 13,4 \cdot 10^5 = 1,3 \cdot 10^6.$$

Теперь, если мы желаем исследовать модель паруса, изготовленную в масштабе 1 : 10 ($l = 0,2 \text{ м}$), при скорости ветра в тоннеле $v = 30 \text{ м/сек}$, то соответствующее число Рейнольдса для модели должно быть:

$$Re = \frac{0,2 \cdot 30}{\frac{0,15}{10^4}} = \frac{30 \cdot 0,2 \cdot 10^4}{0,15} = 1,34 \cdot 30 \cdot 10^4 = 4 \cdot 10^5.$$

Принимая во внимание кривые чисел Рейнольдса, показанные на рис. 78 (стр. 98), мы видим, что при вычисленных значениях числа Рейнольдса аэродинамические характеристики паруса и модели не изменяются. Одинаково при сильном или слабом ветре, на модели и на натуре, отношение сил $\frac{P_x}{P_z}$ остается постоянным, а следовательно, и характер обтекания и характер расположения давлений на поверхности в обоих случаях одинаковы.

Правда, имеется разница между условиями лабораторных опытов, проводимых для авиационных исследований, и условиями работы паруса гоночной яхты. Она заключается в том, что скорость потока в тоннеле остается постоянной, независимо от высоты точки замера, в то время как скорость ветра в натуре сильно меняется с высотой замера. В верхней части паруса скорость ветра значительно больше, чем внизу. Этот фактор, однако, не трудно учесть путем довольно простых рассуждений, и поэтому он не слишком усложняет вышерассмотренные явления. Собственно парус без мачты не изменяет своих аэродинамических свойств. В широком диапазоне скоростей вымпельного ветра одинаково при слабых и сильных ветрах коэффициент C остается постоянным для паруса данного профиля. Но коэффициент сопротивления мачты C_x меняется по величине в зависимости от диаметра мачты и скорости вымпельного ветра, и прежде всего, он зависит от характерной величины — числа Рейнольдса. Это происходит потому, что, когда число Рейнольдса станет больше критического значения, область турбулентного потока за мачтой становится меньше, а следовательно, уменьшается расход энергии на завихрения. Однако коэффициент C_x начинает уменьшаться только при значительных скоростях вымпельного ветра. Поясним это примером.

Возьмем мачту диаметром 15 см яхты водоизмещением 5 тонн. При скорости вымпельного ветра $v_w = 20 \text{ м/сек}$ число Рейнольдса будет равно:

$$Re = \frac{v_w \cdot d}{\nu} = \frac{20 \cdot 0,15}{\frac{0,15}{10^4}} = \frac{20 \cdot 0,15 \cdot 10^4}{0,15} = 2 \cdot 10^5.$$

Соответствующий этому числу коэффициент C_x отыщем, пользуясь графиком (рис. 79 (стр. 131)). Числу Рейнольдса $2 \cdot 10^5$ соответствует коэффициент $C_x = 0,95$. При ветре такой же силы коэффициент C_x для мачты диаметром 25 см (у 15-тонной яхты) равен 0,65. Получается, что сопротивление мачты большего диамет-

ра при скорости вымпельного ветра 20 м/сек, соответственно меньше, чем у мачты меньшего диаметра. Подобно этому проявляется вредное влияние на работу паруса мачт разного диаметра. При скорости ветра меньше 20 м/сек и меньших диаметрах мачт, т. е. в наиболее часто встречающихся в практике случаях, величина коэффициента сопротивления круглых мачт остается постоянной. (В примерах мачты взяты довольно больших диаметров, для яхт значительно более крупных, чем яхты, включенные в программу олимпийских игр. — *Прим. перев.*).

3.9 Свойства паруса и его работа

Действие аэродинамической силы паруса

В парусных гонках рулевой должен решить, каким образом в данных определенных условиях дистанции и погоды финишировать как можно скорее. Надо уметь вести яхту не только с наибольшей возможной скоростью, но и как можно круче к ветру во время лавировки. Чтобы пройти с наибольшей скоростью любой участок дистанции, надо суметь получить на парусе наивыгоднейшую силу и добиться наименьшего гидродинамического сопротивления корпуса. Запомним, что наивыгоднейшая сила совсем не должна быть наибольшей. Время прохождения дистанции зависит также от умения яхтсмана учесть местные особенности, заходы ветра, течение и т. п.

Наши теоретические положения и выводы представляют какую-то ценность, только если позволяют паруснику правильно решать практические задачи. Рассмотрим в качестве примера несколько практических вопросов, касающихся аэродинамики паруса.

Действительный и вымпельный ветер

Аэродинамическая сила паруса определяется по формуле:

$$P = \frac{v^2}{16} \cdot S \cdot C.$$

Итак, равнодействующая аэродинамическая сила, возникающая на парусе, прямо пропорциональна квадрату скорости ветра. Если скорость ветра увеличится в два раза, сила P увеличивается в четыре раза. В современной парусной практике скорость ветра измеряется анемометром в м/сек. Для перевода полученных результатов в км/час их надо помножить на коэффициент 3,6. Другие способы определения скорости или силы ветра, как, например, ветромер Уайльда или шкала Бофорта, дают сравнительно неточные результаты и субъективные оценки.

Для работы паруса основное значение имеет не истинный ветер, а кажущийся, вымпельный, появляющийся в результате суммарного действия истинного ветра и скорости движения яхты. При одном и том же истинном ветре, дующем со скоростью v_r , скорость и направление вымпельного ветра зависят от скорости и направления движения яхты v_j . На рис. 80 (стр. 132) приведены различные случаи сочетания истинного ветра и движения яхты. Они показывают, что на курсах от острого бейдевинда до галфвинда скорость вымпельного ветра больше скорости истинного, и чем острее курс, тем больше разница. Начиная с острого бакштага

и до фордевинда, постепенно уменьшаясь, скорость вымпельного ветра становится меньше скорости истинного, и на курсе фордевинд она достигает минимума.

Рассмотренные случаи изменения скорости вымпельного ветра имеют большое практическое значение при оценке необходимости брать рифы, правильной работы со шкотами и т. д. Степень зарифления должна зависеть от направления данного участка дистанции; например, в гонках на длинные дистанции могут возникнуть обстоятельства, при которых рифление окажется ненужным, несмотря на сильный ветер, если можно будет идти курсом фордевинд или полным бакштагом. Но при том же ветре рифление может быть необходимо на лавировочных курсах.

стр. 123

Скорость истинного ветра увеличивается по мере его удаления от поверхности земли, что объясняется вязкостью воздуха и характером поверхности. На рис. 81 (стр. 133) дан график изменения средних скоростей ветра в зависимости от высоты над уровнем воды для летнего сезона. Так, на высоте 1 м над водой скорость ветра равна 2,9 м/сек, а на высоте 6 м она больше на $\Delta v = 0,9$ м/сек. Ясно, что такие изменения скорости истинного ветра влекут за собой соответствующие изменения в скорости и направлении вымпельного ветра, дующего на разных уровнях паруса.

Допустим, что швертбот «Финн» плывет со скоростью $v_j = 1,5$ м/сек, а направление истинного ветра перпендикулярно площади симметрии яхты. Согласно рис. 82 (стр. 133), в нижней части паруса скорость вымпельного ветра $v_1 \approx 3,25$ м/сек, а вымпельный ветер в верхней части паруса $v_6 \approx 4,1$ м/сек. Следовательно, ветер наверху не только сильнее, но и дует под более полным углом, внизу же слабее и дует под более острым углом к плоскости паруса. Разница между направлением этих двух ветров v_1 и v_6 — $\Delta\alpha = 6^\circ$. Значит, нижняя часть паруса, если его поверхность не перекручена, работает на слишком малых углах атаки при условии, что

стр. 124

верхняя работает с правильным нужным углом атаки. В действительности же из-за подъема гика и сильного отдувания верхней части паруса получается противоположное. Если же верхнюю часть паруса поставить под правильным углом к вымпельному ветру, то нижняя часть, как правило, окажется под слишком большим углом. В обратном случае, если низ паруса поставить правильно, то верх будет заполаскивать. Рассмотренные случаи показывают, что в натуре коэффициент полезного действия паруса меньше получаемого в аэродинамических трубах при испытании неперекрученных парусов из-за перекручивания поверхности паруса в натуре.

Во всех своих расчетах хороший парусник никогда не должен упускать из вида действие вымпельного ветра. Своевременный учет силы и направления вымпельного ветра будет иметь решающее значение для результатов в гонке. Для определения направления ветра широко применяются такие приемы, как ввязывание ниточек в ванты и штаги, установка вымпелков на вершинах мачт и т. п.

Возвращаясь к формуле, выражающей величину равнодействующей аэродинамической силы P , заметим, что скорость ветра отнюдь не зависит от спортсмена. При слишком большой скорости ветра рулевой стремится получить на парусе такую аэродинамическую силу, чтобы вооружение и корпус яхты не испытывали чрезмерных, вредных напряжений и плавание оставалось безопасным.

Для этого надо или уменьшить площадь паруса S , или уменьшить аэродинамический коэффициент C , зависящий от: 1) угла постановки паруса к ветру, 2) «пузатости» паруса и 3) его формы. Следовательно, у рулевого имеются средства влиять

на величину аэродинамической силы паруса, а значит, и на гоночные качества яхты.

Результаты действия на парус аэродинамической силы

стр. 125

Возникающая на парусе аэродинамическая сила служит причиной: 1) движения яхты вперед, 2) ее дрейфа, 3) крена, 4) приведения или уваливания, 5) дифферента на носовую часть корпуса.

Результаты действия аэродинамической силы P становятся понятнее, если ее разложить на две составляющие: силу тяги P_c , действующую вдоль плоскости симметрии яхты, и силу P_d , действующую перпендикулярно оси симметрии (рис. 83 (стр. 134), 1). Под действием этих двух сил яхта будет двигаться со скоростью AB , равнодействующей двух скоростей v_p и v_d .

Разберемся более подробно в результатах действия аэродинамической силы P на яхту.

1. **Скорость движения яхты** в направлении оси симметрии тем больше, чем больше проекция силы P на направление движения, т. е. чем больше сила P_c — сила тяги.

2. **Дрейф яхты**, определяемый углом δ , тем больше, чем больше проекция силы P , перпендикулярная плоскости симметрии яхты, т. е. чем больше сила P_d .

3. **Крен яхты**, определяемый углом φ (рис. 83 (стр. 134), 2), также зависит от величины силы P_d (действующей на плечо h). С увеличением угла крена как бы уменьшается работающая площадь паруса и эффективная площадь равна $S_1 = S \cdot \cos \varphi$. Значит, и величина аэродинамической силы P зависит от угла крена и уменьшается с возрастанием крена. Теперь формулу для силы P с учетом угла крена φ надо написать так:

стр. 126

$$P = \frac{v^2}{16} \cdot S \cdot C \cdot \cos \varphi.$$

4. **Яхта будет приводиться или уваливаться** в зависимости от того, где проходит линия действия силы P относительно центра бокового сопротивления (см. рис. 83 (стр. 134), 1). В зависимости от того, где проходит линия действия силы P , плечо r будет увеличиваться или уменьшаться, а яхта или приводиться или уваливаться.

5. **Сила тяги P_c вызывает дифферент** носовой части яхты, вследствие чего меняется ватерлиния. Чем больше сила P_c , тем больше и дифферент (рис. 83 (стр. 134), 3).

Для яхтсмена-гонщика самое главное — отыскать средства для получения максимального значения силы P_c ,двигающей яхту вперед. А наиболее эффективно эта сила проявляется тогда, когда удастся устранить или в максимальной степени снизить вредное влияние остальных четырех только что рассмотренных факторов.

Правильная установка паруса

Величина и направление действия силы P на парус определенной площади, формы и «пузатости» зависит прежде всего от угла его установки по отношению к направлению вымпельного ветра. А этот угол выбирает рулевой. График полярной кривой коэффициента C позволяет оценить силу P в зависимости от угла атаки α (см. рис. 65 (стр. 79)).

Представим себе, что мы проводим эксперименты с двумя яхтами, вооруженными одинаковыми парусами площадью $S = 10 \text{ м}^2$ и «пузатостью» $1 : 10$ (рис. 84 (стр. 134)). Примем скорость вымпельного ветра равной 5 м/сек (3° по шкале Бофорта). Обе яхты плывут курсом галфвинд. Рулевой первой яхты выбрал шкоты так, что угол атаки α равен 15° , а другой больше подобрал шкоты, и угол атаки на его яхте равен 30° .

Для углов $\alpha_1 = 15^\circ$ коэффициент $C_1 = 1,55$. Для углов $\alpha_2 = 30^\circ$ коэффициент $C_2 = 1,3$.

стр. 127

Теперь вычислим величину силы P , возникающей на парусах обеих яхт. На первой яхте равнодействующая аэродинамическая сила P_1 будет:

$$P_1 = \frac{v^2}{16} \cdot S \cdot C_1 = \frac{5^2}{16} \cdot 10 \cdot 1,55 = 24,2 \text{ кГ.}$$

На второй яхте:

$$P_2 = \frac{v^2}{16} \cdot S \cdot C_2 = \frac{5^2}{16} \cdot 10 \cdot 1,3 = 20,2 \text{ кГ.}$$

Приняв во внимание направление сил P_1 и P_2 относительно хорды парусов, а также продольной оси корпуса яхт, можем вычислить силу тяги для той и другой яхты:

$$P_{c_1} = P_1 \cdot \cos 10^\circ = 24,2 \cdot 0,985 = 23,8 \text{ кГ.}$$

$$P_{c_2} = P_2 \cdot \cos 28^\circ = 20,2 \cdot 0,88 = 17,8 \text{ кГ.}$$

Приведенный пример, между прочим нередко встречающийся в парусной практике, ясно показывает большое снижение силы тяги из-за неумеренного выбора шкотов. Потери могут достигать до 25% и даже больше при еще более перебранных шкотах. Скорость яхты и выигрыш гонки в значительной мере зависят от правильной постановки парусов относительно вымпельного ветра, который, кроме того, часто бывает очень изменчивым по направлению.

стр. 128

Нами уже было установлено, что величина коэффициента C уменьшается, как только начинается отрыв струй воздуха на подветренной стороне паруса. Задача правильного управления парусами на любых курсах — это прежде всего борьба с возникновением вихревых потоков на подветренной стороне паруса, которые неизбежно появляются при перебранных шкотах. Рассматривая рис. 65 (стр. 79), можно сделать вывод, что только на узком участке в пределах углов атаки $\alpha = 12\text{--}16^\circ$ можно получить на парусе максимальную силу тяги и, следовательно, наибольшую скорость.

Эти выводы верны для паруса с величиной «пуза» $1 : 10$, удлиненностью $\lambda = 5$ и с правильной, не скрученной, поверхностью; для парусов с другой характеристикой наивыгоднейшие углы атаки могут оказаться другими.

Практическим признаком, которым руководствуется большинство рулевых для нахождения наиболее выгодного угла атаки, служит прекращение полоскания верхнего угла паруса. Этот признак совершенно правилен для паруса, растянутого по свободному гикю, который не предотвращает вредного скручивания паруса. Скручивание паруса приводит к тому, что нижняя часть его работает с таким углом

атаки, при котором возникают завихрения, в то время как верх паруса, если не полощет, то работает под очень невыгодным углом. Аэродинамический коэффициент C скрученного паруса никогда не достигает своей максимальной возможной величины, а держится на некотором среднем уровне. Эта средняя величина намного меньше возможного максимума, который можно получить на парусе, работающем во всех своих сечениях (т. е. по всей своей высоте) с оптимальным углом атаки, одинаковым наверху и внизу.

Исследования на моделях показали, что уменьшение максимального значения коэффициента C может быть значительным. Кроме того, невыгодно изменяется и направление действия аэродинамической силы, что, как мы впоследствии выясним, имеет большое значение при лавировке.

Западание верхней части паруса под ветер особенно ярко проявляется на полных курсах, когда задиранию гика не препятствуют сравнительно свободные, не натянутые втугую, шкоты. Работу паруса в этих условиях можно улучшить, применив оттяжку гика, как показано на рис. 85 (стр. 135). Назначение оттяжки — обеспечить по возможности одинаковые условия работы низа и верха паруса. Очевидно, не удастся полностью избежать скручивания паруса, да этого и нельзя ожидать, поскольку наверху дует более полный вымпельный ветер, чем внизу.

стр. 129

Регулируя оттяжку гика, можно добиться такой степени скручивания, которая отвечала бы постепенному изменению вымпельного ветра на более полный с высотой паруса. Признак хорошего регулирования — одновременное запласкивание всего паруса при медленном приведении к ветру или потравливании шкотов. Если оттяжка выбрана неправильно, то при приведении к ветру начнет запласкивать сперва нижняя часть паруса, а потом верхняя или наоборот. Следовательно, условия работы паруса на разной высоте разные, и их надо выравнять, пробуя еще раз регулировать оттяжку гика. Но может случиться, что, сколько ни регулируй оттяжку гика, добиться одновременного запласкивания паруса не удастся. Это значит, что парус шит неудовлетворительно и его надо исправить. Яхта, снабженная хорошо отрегулированной оттяжкой, всегда будет иметь преимущество перед яхтами без этого приспособления, позволяющего использовать парус на 100%.

Оттяжка с успехом может применяться на яхтах классов «Снайп», «Н» и др. Рекордные скорости яхт класса «Финн» в значительной степени объясняются выгодными условиями работы паруса, благодаря неподвижному, жесткому креплению гика в гнезде мачты.

стр. 130

Курсы бейдевинд

Из рис. 65 (стр. 79) можно сделать вывод, что максимальную силу P можно получить только при постановке паруса под некоторым оптимальным углом атаки α , равным примерно 15° . Возникает законный вопрос: всегда ли, на любых ли курсах надо ставить парус под этим углом к ветру? Всегда ли он будет оптимальным? Приведенные ниже примеры показывают, что не всегда.

Чтобы предвидеть, какое действие окажет сила на яхту, надо учесть не только величину силы, но и направления ее действия.

На рис. 86 (стр. 135), 1 показана яхта, плывущая курсом острый бейдевинд. Парус работает с углом атаки $\alpha = 15^\circ$, при котором рулевой получает максимальную аэродинамическую силу P_1 . Проекция этой силы на направление движения, т. е.

сила тяги, выражена вектором P_{c_1} .

На рис. 86 (стр. 135), 2 показана яхта, парус которой работает с углом атаки несколько меньшим: $\alpha = 10^\circ$. Рулевой этой яхты получает действительно меньшую по величине силу P_2 , однако направлена она более выгодно, чем в первом случае. Раскладывая ее на силу тяги и силу дрейфа, увидим, что сила тяги P_{c_2} больше силы тяги P_{c_1} на первой яхте, а сила дрейфа P_{d_2} меньше силы дрейфа P_{d_1} . Следовательно, вторая яхта пойдет скорее и меньше будет дрейфовать, чем первая.

стр. 131

Добавим еще, что у первой яхты крен будет больше, чем у второй, значит, рулевому второй яхты легче с ним справиться. Если представить, что рулевой второй яхты в определенных условиях сумеет сохранить поперечное равновесие судна только откренивая всей тяжестью своего тела, то ясно, что рулевой первой яхты, обладающий такой же физической силой, будет не в состоянии этого сделать.

Приведенные примеры показывают, что, желая получить от яхты наивысшую скорость, надо учитывать не только величину, но и направление аэродинамической силы паруса, соотносясь с чем и выбирать оптимальный угол атаки.

На остром бейдевинде надо стараться держать парус на грани заполаскивания и по мере уваливания на более полный курс держать парус соответственно на несколько более полных углах атаки.

Во всех предыдущих рассуждениях мы считали, что полярная кривая коэффициента паруса C характеризует все аэродинамические силы, действующие на яхте. В действительности же она дает только величину и направление аэродинамической силы самого паруса, без учета сил сопротивления, вызываемых корпусом, командой, вооружением и т. п. Влияние этих добавочных сопротивлений достаточно велико, чтобы ими пренебрегать. Чем больше поверхность тела, подвергающаяся действию ветра, чем круче курс и сильнее ветер, тем вреднее добавочное сопротивление. Вредные сопротивления вообще невыгодно изменяют направление действия аэродинамической силы P и снижают способность яхты идти круто к ветру. Поясним это рис. 87 (стр. 135).

Известно, что равнодействующую силу P определяют две силы P_z и P_x . Имея в виду только сопротивление паруса P_{xz} , равнодействующую силу, действующую на яхту, можно представить вектором P_1 . Если бы гоночные качества яхты зависели только от достоинств самого паруса, то при определенном курсе β (по отношению к вымпельному ветру) и установке паруса под углом атаки α яхта двигалась бы вперед в результате действия силы тяги P_{c_1} . Принимая теперь во внимание дополнительные сопротивления — вредное сопротивление корпуса P_{x_k} , команды — P_{x_z} , вооружения (оснастки) — $P_{x_{oc}}$, убеждаемся, что они увеличивают общее сопротивление P_x , а в результате этого линия действия равнодействующей аэродинамической силы P будет отклоняться назад. В конечном результате эффект действия силы P_2 будет меньше, поскольку ее проекция на направление движения — сила тяги P_{c_2} меньше, чем P_{c_1} . Прежде (в случае с сопротивлением только самого паруса) сила P_1 проходила с левой стороны перпендикуляра к хорде паруса OA ; теперь (с учетом вредных сопротивлений) равнодействующая сила P_2 проходит с правой стороны перпендикуляра OA .

стр. 132

Полностью устранить вредные сопротивления невозможно. С ними надо бороться, принимая все меры к их уменьшению. Установлено, что вредное сопротивление на яхте класса монотип «Олимпик» распределяется в процентном отношении следующим образом: сопротивления паруса, рангоута и стоячего такелажа — 77%,

бегучего такелажа — 3, корпуса — 10, команды — 10.

Подсчитано, что яхта парусностью 15 м^2 , идущая острым курсом при скорости ветра 6 м/сек , должна давать силу тяги 8 кГ . Но в результате сопротивления такелажа, не считая сопротивления трения паруса, действительная сила тяги была 7 кГ . После изменения формы мачты на более обтекаемую и, главное, упорядочения такелажа удалось уменьшить вредное сопротивление на 56% : эффективная сила тяги при этом увеличилась до $7,56 \text{ кГ}$, т. е. почти на 8% .

стр. 133

3.10 Лавировка

В § 27, п. 1 «Правил парусных соревнований» дано следующее определение курса бейдевинд: «Яхта идет гоночным бейдевиндом, когда она выбирается на ветер наиболее выгодным для себя курсом». В практике бывают случаи, когда это определение ограничивает действия рулевого в тактической борьбе с конкурентом. Лавировка требует от рулевого отличной технической и тактической подготовленности; заслуженно считается наиболее трудной и, пожалуй, самой важной частью гоночной дистанции. Поэтому целесообразно рассмотреть более подробно особенности лавировки.

Допустим, что яхта идет курсом β (рис. 88 (стр. 136)). На основании простейших тригонометрических зависимостей можем определить силу тяги паруса, как: $P_c = P \cdot \sin(\beta - \alpha)$, а силу дрейфа — $P_d = P \cdot \cos(\beta - \alpha)$. Эти уравнения показывают, что скорость яхты на лавировке тем больше, чем больше угол между парусом и продольной осью яхты (угол $\beta - \alpha$) или чем меньше угол α , при котором парус еще работает, т. е. не запласкивает. В этих случаях сила тяги P_c будет наибольшей.

Существует некоторый определенный участок выгодных углов установки гика по отношению к продольной оси яхты. В пределах этого участка скорость яхты будет наибольшей, а дрейф — наименьшим. Наивыгоднейший угол находится на границе запласкивания паруса между точками C и A (рис. 89 (стр. 136)). В нашем примере наивыгоднейший угол находится в пределах $20\text{--}22^\circ$. В точке C сила тяги P_c равна 22 кГ , сила дрейфа P_d — 45 кГ . Такую же силу тяги можно получить, выбрав парус «в доску» (см. точку B), но при этом сильно возрастет сила дрейфа P_d . Такой слишком острый курс будет сопровождаться не только большим дрейфом, но и усилением крена, из-за чего яхта потеряет в скорости и в крутизне хода. График на рис. 89 (стр. 136) показывает невыгодность излишнего выбора гикашкотов: на практике будет меньше потерь при несколько недобранных шкотах, чем при перебранных.

стр. 134

Курс β во взятом нами примере не является, однако, лавировочным по смыслу правил. В соответствии с духом правил это надо понимать так: яхта может лавировать под более острым или полным курсом бейдевинд, но смыслу правил будет отвечать только один из них, при котором в данных условиях яхта быстрее выбирается на ветер, быстрее «набирает высоту». Именно о таком самом выгодном из всех лавировочных курсов и говорится в правилах. Поясним это наглядно рис. 90 (стр. 136).

Яхты A , B , C лавируют. Острее всех идет яхта A , но она медленно приближается к цели, находящейся на линии ветра. Яхта C идет наиболее полно и с большей скоростью, но проигрывает яхте B . Последняя идет курсом и не самым острым и не самым быстрым (скорость ее меньше скорости C), но самым выгодным, так

стр. 135

как быстрее всех выбирается на ветер. Вот этот-то курс и соответствует смыслу гоночных правил.

Проблема искусства управления яхтой заключается в выработке у рулевого чувствительности в определении двух выгодных углов: 1) надлежащего курса яхты β по отношению к ветру; 2) надлежащего угла атаки паруса α по отношению к ветру.

Многие рулевые после неудачной гонки говорят, что яхта сегодня «шла тупо» или «не шла». Ошибка этих рулевых заключалась либо в неудачном выборе курсов, либо в чрезмерном выборе шкотов.

В первом случае ошибки в раскладке галсов чаще всего бывают из-за неверного учета условий акватории, и прежде всего состояния моря. Швертботы острее ходят при ветре 3–4 м/сек, килевые яхты — при ветре 5–6 м/сек. При более сильном ветре приходится считаться с волной и вести яхту на более полном курсе, чем на спокойной воде.

Во втором случае ошибка может произойти от неправильной установки стакселя, задувающего на грот и создающего ложную картину его работы, т. е. от неправильного взаимодействия парусов на яхте.

Большое влияние на способность яхты идти круто к ветру оказывает место крепления шкотов. Безусловно, вредно крепить блоки шкот-талей на оси симметрии яхты в точке 1, как показано на рис. 91 (стр. 137), I. Из рисунка видно, что, разлагая силу натяжения шкотов N на две, получим силу N_{b1} , которая будет вызывать вредное перекручивание поверхности паруса. Значительно лучше располагать блоки в точке 2, что дает более выгодное разложение силы тяги N .

Невыгодная слагаемая — сила N_{b2} , перекручивающая парус, здесь меньше, а выгодная — сила N_{o2} , обтягивающая парус, — больше.

Наилучший результат в борьбе с перекручиванием поверхности паруса дает такая проводка шкотов, при которой сила натяжения их полностью используется для обтягивания паруса (рис. 91 (стр. 137), II).

Насколько выгодно уменьшить степень скручивания паруса при лавировке, показывает следующий пример. Идя в бейдевинд с полностью выбранными шкотами, можно время от времени немного уваливаться с одновременным потравливанием шкотов. При этом мы убедимся, что скорость не только не увеличилась, чего, казалось бы, следовало ожидать, но, наоборот, уменьшилась. Это получается потому, что потравливание шкотов позволяет гика больше задираться, что приводит к заметному перекручиванию поверхности паруса, которое сводит на нет рост силы тяги. Оттяжка гика должна выполнять такую же роль, какую выполняет погон во время уваливания на более полный курс.

Подводя итог, можно сделать следующие выводы. Существуют два разных оптимальных угла установки паруса, от которых зависит достижение наибольшей скорости хода: 1) **оптимальный курсовой угол**, характерный для острого бейдевинда, и 2) **оптимальный угол получения наибольшей аэродинамической силы паруса**, характерный для более полных курсов.

В первом случае задача усложняется необходимостью выбора надлежащего курса к ветру.

Рулевой, по желанию, может выбирать курс от острого бейдевинда до острого бакштага (см. рис. 60 (стр. 75), II). После достижения курса бакштага с углом $90^\circ + \alpha$, где α — оптимальный угол для получения наибольшей аэродинамической силы,

и до тех пор, пока гик не ляжет на ванты, рулевой не может влиять на работу грота посредством изменения угла α .

На полных курсах особое значение приобретает работа грота с передними парусами, главным образом со спинакером.

3.11 Курс фордевинд

стр. 137

По мере уваливания и перехода на курс фордевинд на подветренной стороне паруса образуются завихрения, постепенно охватывающие всю подветренную поверхность паруса. В связи с этим аэродинамический коэффициент паруса при больших углах атаки становится меньше, чем при углах $\alpha \approx 15^\circ$.

Скорость вымпельного ветра на курсе фордевинд минимальная, силы на парусе образуются тоже соответственно меньшие с направлением вдоль оси, по линии наибольшей остойчивости яхты. Казалось бы, курс фордевинд не ставит перед рулевыми никаких особых трудностей, однако он совсем не из приятных, главным образом для маленьких яхт (например, класса «Финн»). Неприятность заключается в сильном **раскачивании** яхты в поперечной плоскости, которое иногда даже служит причиной неожиданного опрокидывания яхты.

Отчего же происходит опасное раскачивание яхты на курсе фордевинд? Рассмотрим это на примере класса «Финн», поскольку в этом классе оно проявляется особенно ярко. Причины надо искать как в области аэродинамики паруса, так и в области гидродинамики корпуса яхты. Рассмотрим их поочередно.

Вихревое обтекание воздушных струй вокруг паруса, поставленного к ветру под углом 90° , происходит не хаотически, как казалось бы, а упорядоченно, с подчинением некоторым закономерностям. На подветренной стороне паруса периодически происходит отрывание так называемых **вихрей Кармана**. Эти вихри формируются поочередно то у задней шкаторины паруса, то около мачты. Экспериментальным путем установлено, что расстояние между центрами этих вихрей $d = 1,5l$, где l — ширина паруса. Расстояние между очередными вихрями одной и той же стороны $b = 3,5d$. Принцип возникновения и расположения вихрей наглядно показан на рис. 92 (стр. 137).

В результате периодического отрыва вихрей Кармана периодически меняется картина распределения давлений на подветренной стороне паруса, вследствие чего меняется и аэродинамическая сила. Равнодействующая аэродинамическая сила, возникающая на парусе, меняется и по величине и по направлению. На рис. 93 (стр. 137) показано, почему происходит раскачивание яхты: сила P , как обычно, раскладывается на две силы P_c и P_d , силы движения и дрейфа. В зависимости от того, где возникают вихри, сила P_d будет поочередно направлена то вправо, то влево, что и вызывает раскачивание корпуса. Дополнительно таким же образом действуют гидродинамические силы, и при полном совпадении между вихрями одной и той же стороны будет (см. рис. 93 (стр. 137)):

стр. 138

стр. 139

$$b = 3,5 \cdot 1,5l = 3,5 \cdot 1,5 \cdot 2 = 10,5 \text{ м.}$$

Если скорость кажущегося ветра на курсе фордевинд 5 м/сек, то полный период качания мачты T_1 будет около 2 сек. Отсюда следует, что и ритм образования аэродинамических явлений, вызывающих колебания мачты, также будет составлять около 2 сек.

Описанное явление можно назвать **самовозбужденным раскачиванием яхты**, а период времени T_1 , в котором оно происходит, **периодом таких раскачиваний**.

Допустим, что скорость вымпельного ветра постоянна и момент, кренящий яхту от действия сил $\pm P_d$, меньше момента, восстанавливающего поперечное равновесие яхты. Тогда явление раскачивания яхты можно представить графически (рис. 94 (стр. 138)). С таким положением часто приходится встречаться на практике, когда яхта, идущая фордевиндом, ритмично раскачивается и мачта поочередно наклоняется в пределах углов от $+\varphi$ до $-\varphi$. Плавание безопасно, пока угол раскачивания меньше критического угла остойчивости яхты.

Ритмичное изменение аэродинамической силы практически можно наблюдать и тогда, когда спинакер поставлен без реи с потравленными шкотами. Парус будет периодически переходить с правой стороны на левую и обратно, вызывая ритмичное раскачивание мачты. Подобно этому, при сильном ветре наблюдаются ритмичные колебания транспарантов, повешенных поперек улиц. Таким образом, одна из причин поперечных раскачиваний яхты — периодические изменения аэродинамических сил.

Рассмотрим вторую причину. Представим, что яхта, стоящая на спокойной воде, выведена из равновесия внешней силой так, что ее мачта отклонилась от вертикали на угол $-\varphi$, после чего действие силы прекратилось. Под действием пары сил W и G возникает восстанавливающий момент M_p , который стремится вернуть яхту в вертикальное положение (рис. 95 (стр. 138)). Однако, дойдя до положения равновесия, яхта не остановится, а начнет крениться на другой борт до некоторого угла φ_1 , меньшего, чем угол φ . Прежде чем яхта остановится в положении равновесия с мачтой, стоящей строго вертикально, она будет ритмично колебаться со все уменьшающимся углом отклонения мачты от вертикали. В положении B возникает восстанавливающий момент противоположного направления и т. д., а колебания будут затухать из-за тормозящего действия воды.

стр. 140

Теоретическими положениями и практическими опытами установлено, что каждое плавающее тело обладает собственным постоянным периодом времени T_2 , в котором происходят его колебания. В нашем примере периодом колебания будет время между двумя максимальными колебаниями в одну и ту же сторону. Эти качания могут быть меньше или больше, но время их всегда остается постоянным для данной яхты. Оно называется **периодом свободных колебаний яхты**.

На рис. 96 (стр. 138) графически показаны колебания яхты с постепенным затуханием: уменьшается угол наклона и амплитуда размаха мачты, но период колебаний не меняется. Меняется угловая скорость раскачивания мачты с борта на борт, постепенно затухая.

стр. 141

Период свободных бортовых колебаний швертбота определенного водоизмещения зависит в известной мере от так называемого **момента инерции**, который обусловлен, с одной стороны, конструкцией швертбота и, с другой, — размещением подвижного балласта (в том числе и команды) в корпусе.

Конструкция «Финна» такова, что рулевой не имеет непосредственного влияния в этой области. Но он может, меняя положение шверта, пера руля и собственного тела, оказать заметное воздействие на период колебания яхты. Не вдаваясь в подробное рассмотрение этого вопроса, скажем только, что период собственных

колебаний яхты тем больше, чем дальше от ее центра тяжести находится подвижной балласт, чем ниже опущены шверт и перо руля и чем ближе к борту и выше над центром тяжести находится рулевой. Наоборот, период колебаний тем меньше, чем ближе к центру тяжести сконцентрированы массы подвижного балласта. Кроме того, затухание боковых колебаний тем интенсивнее, чем шире действительная ватерлиния, ниже опущены шверт и перо руля. Одновременно будет увеличиваться и сопротивление воды. Форма ватерлинии зависит от размещения балласта, т. е. от дифферентовки яхты. Заглубляя нос, уменьшаем ширину ватерлинии и одновременно уменьшаем поперечную остойчивость яхты. При заглублении кормы, наоборот, ширина ватерлинии и остойчивость увеличиваются.

Рулевые «Финнов» хорошо знакомы практически с вышеприведенными соображениями; они знают, как уменьшается остойчивость «Финна» в зависимости от дифферента на нос и насколько легко тогда он опрокидывается.

Волнение моря тоже может быть причиной самовозбужденного раскачивания яхты. При проходе яхты через волну возникают силы реакции воды на корпус яхты. Их существо заключается в изменении линии действия сил гидростатического и гидродинамического давлений по отношению к центру тяжести яхты (рис. 97 (стр. 139)). В результате появляются переменные моменты, вызывающие новый род ритмичного бокового колебания яхты. Период этих колебаний зависит от длины волны и относительной скорости яхты по отношению к скорости волн.

стр. 142

В механике существует закон резонанса, согласно которому, если период колебаний тела, вызванных внешними силами, окажется равным периоду собственных колебаний, то колебания накладываются одно на другое и амплитуда суммарных колебаний возрастает. Возвращаясь к вопросу раскачивания «Финна», теперь можно сказать, что оно может вызываться **суммарным действием самовозбужденных колебаний как результата изменения аэродинамических сил и свободных колебаний яхты** вследствие резонанса. Наложение колебаний может сделать раскачивание яхты столь сильными, что будет перейдена граница остойчивости и яхта опрокинется. Это произойдет тогда, когда периоды тех и других колебаний будут равны или близки друг другу и фазы их совпадут. Когда фазы колебаний не совпадают или прямо противоположны, амплитуда колебаний уменьшается. Часто можно видеть яхту, плывущую фордевиндом с постепенно увеличивающимся раскачиванием, которое вдруг неожиданно успокаивается. Через некоторое время этот цикл снова повторяется; здесь мы имеем дело с периодическим проявлением совпадения и несовпадения фаз различных колебаний яхты.

Многие рулевые ошибочно полагают, что с опасным раскачиванием яхты можно бороться потравливанием шкотов: они думают, что, «выпуская ветер из паруса», можно намного уменьшить действующие на парус силы. Такой маневр скорее всего может закончиться вынужденным купанием. Рассмотрим, что же происходит при вытравливании шкотов на курсе фордевинд? Равнодействующая сила P , возникающая на парусе «Финна», не только не уменьшается, а, наоборот, может возрасти. Это выясняется на рис. 98 (стр. 139). Раскладывая равнодействующую силу P на две P_d и P_c , убедимся, что сила P_d усиливает крен яхты на наветренный борт, где обычно находится и откренивает рулевой. Яхтсмены редко имеют дело с опрокидыванием на ветер, — это непривычно, и потому тем больше будет удивление рулевого, когда яхта совершенно неожиданно опрокинется. Швертбот, на котором расположение вант не позволяет гикю отойти от диаметральной плоскости яхты

стр. 143

больше чем на угол 90° , опрокидываться на ветер не будет.

Какие же существуют предохранительные средства против опрокидывания? Вспомним, что раскачивание яхты может стать опасным, когда период колебаний, возбужденных аэродинамическими силами или волнением моря, станет равным или близким периоду свободных колебаний яхты, если при этом совпадают фазы разного рода колебаний (рис. 99 (стр. 139)). Действия рулевого должны быть такими, чтобы препятствовать сложению колебаний с подобными периодами. Этого можно достичь: а) изменением ритма аэродинамических реакций на парусе; б) изменением периода свободных колебаний самой яхты; в) противодействием резонансным колебаниям соответствующим размещением балласта.

Первый способ основан на выборе шкотов, соответствующем примерно переходу от курса фордевинд к курсу полный бакштаг. Таким образом, изменяя угол установки паруса по отношению к ветру, мы влияем на ритм отрыва вихрей на подветренной стороне паруса. При этом угол между гиком и диаметральной плоскостью яхты должен быть не меньше 70° . По мере приближения к курсу фордевинд раскачивание яхты, вызванное аэродинамическими силами, увеличивается, так как увеличивается расстояние между противоположащими вихрями, что, в свою очередь, вызывает увеличение разницы в величине аэродинамических сил и их реакций, т. е. увеличивается разница между силами P_d . Раскачивание яхты на бакштаге заметно меньше, так как отрыв вихрей Кармана происходит не столь резко, а обтекание паруса ветром становится более беспорядочным, чем на курсе фордевинд.

стр. 144

Для увеличения периода свободных колебаний собственно яхты у рулевого имеются следующие средства: вытравить шверт и перо руля, рулевому встать как можно ближе к корме. Рулевой должен стоять над румпелем, широко расставив ноги и опираясь ими на корпус яхты в районе ватервейса. Дифферент на корму увеличивает ширину ватерлинии, отчего усиливается тормозящее действие воды на корпус. Вытравленный шверт и перо руля способствуют этому. Все эти приемы увеличивают ширину ватерлинии, что положительно влияет на уменьшение раскачивания яхты.

Огромное значение для борьбы с раскачиванием «Финна» имеет техника откренивания. Она основана на правильном перемещении рулевого от борта к борту для противодействия крену на тот или другой борт. Рулевой должен перемещаться таким образом, чтобы вызывать раскачивание яхты, сдвинутой по фазе на половину периода раскачивания мачты. Необходимо только учитывать некоторую инерцию во всех движениях яхты и, в связи с этим, возможное опоздание реакции рулевого.

стр. 145

На эту сторону следует обратить особое внимание еще и потому, что рулевой почти всегда в такое время находится в большом нервном напряжении, а ошибки, которые он может допустить в откренивании, принесут вред, так как увеличат и без того сильное раскачивание яхты.

Боковое раскачивание яхты на курсе фордевинд знакомо каждому яхтсмену. Для яхт многих классов боковое раскачивание не столь опасно, как для «Финнов», однако оно всегда нежелательно, поскольку снижает гоночные качества яхты, а главное — скорость хода. Поэтому каждый гонщик должен стремиться в совершенстве овладеть управлением яхтой на курсе фордевинд.

3.12 Полнота формы («пузатость») паруса

В предыдущих главах мы установили зависимость между углом атаки, аэродинамическим коэффициентом полезного действия и гоночными достоинствами паруса. Вспомним, как с переменной угла атаки меняется характер аэродинамической силы, что хорошо определяется графиком кривой аэродинамического коэффициента C (полярой). Вспомним еще, что аэродинамический коэффициент C зависит не только от угла атаки α , но и от формы и «пузатости» паруса.

Рассмотрим теперь следующий вопрос: в какой степени рулевой может повысить свои шансы в гонках за счет парусов с разной полнотой, или «пузатостью»? В общем, можно сказать, что большой дифференциации парусов по этому признаку почти нет или она очень мала. В большинстве случаев рулевые довольствуются одним комплектом парусов, под которыми ходят в любой ветер, в крайнем случае берут рифы. В частности, на килевых яхтах «пузатость» применяемых главных парусов слишком мала. Это показывает, что широкие массы яхтсменов и парусных мастеров еще не понимают влияния «пузатости» паруса на скорость хода и способность яхты идти круче к ветру.

стр. 146

Взгляды на величину «пуза» паруса менялись вместе с развитием парусного спорта. До половины прошлого века повсеместно применялись паруса с очень большой «пузатостью». В то время яхты не могли плыть острее, чем под углом 55–60°. Привычная уверенность в достоинствах «пузатых» парусов была поколеблена неожиданными победами яхты «Америка» в 1851 г. Эта яхта имела паруса с небольшим «пузом» и в лавировку легко обходила все остальные яхты, имевшие более «пузатые» паруса. «Америка» ходила примерно на 6° острее, чем ее соперники. Замечательные результаты яхты «Америка» в гонках, подтвержденные потом ее последователями, также применявшими «малопузатые» паруса, укрепили веру в преимущества плоских парусов.

Прогресс аэродинамики и опыт, приобретенный спортсменами, привели к тому, что в наши дни вновь возвращаются к парусам с большим «пузом». В связи с этим возродились старые споры: какие паруса лучше — плоские или «пузатые»? Остается признать факт, что и те и другие имеют свои достоинства и недостатки. Выбирать паруса с соответствующим «пузом» надо в зависимости от условий гонки, акватории, дистанции и скорости ветра. Нет универсальных парусов. Наоборот, прекрасно скроенный и сшитый парус может оказаться совсем негодным, если его «пузатость» не будет соответствовать условиям гонок.

«Пузатость» паруса и скорость яхты

На рис. 100 (стр. 140) даны кривые аэродинамических коэффициентов для трех жестких, не перекрученных парусов «пузатостью» $1/7$, $1/10$, $1/20$. Оказывается, между ними есть большая разница. Так, максимальный коэффициент C для паруса с «пузом» $1/7$ равен 1,7, для паруса с «пузом» $1/10$ — уже 1,55 и для паруса с «пузом» $1/20$ — только 1,1. Что же это означает практически?

Представим себе три одинаковые яхты типа кэт (например, «Финн»), идущие курсом, близким к галфвинду. Паруса на всех трех яхтах — одинаковые по площади ($S = 10 \text{ м}^2$) и отличаются только «пузатостью» с коэффициентами, указанными выше. Допустим теперь, что вымпельный ветер дует со скоростью 8 м/сек, или 4,5°

стр. 147

по шкале Бофорта; тогда на парусе первой яхты возникнет аэродинамическая сила, равная:

$$P_1 = \frac{v^2}{16} \cdot S \cdot C = \frac{8^2}{16} \cdot 10 \cdot 1,7 \cong 68 \text{ кГ.}$$

На парусе второй яхты аэродинамическая сила будет:

$$P_2 = \frac{8^2}{16} \cdot 10 \cdot 1,55 \cong 62 \text{ кГ.}$$

На парусе третьей яхты соответственно:

$$P_3 = \frac{8^2}{16} \cdot 10 \cdot 1,1 \cong 44 \text{ кГ.}$$

При производстве этих подсчетов предполагалось, что рулевые не допускают ошибок в управлении яхтами, получая на парусе всегда наибольшую аэродинамическую силу. Нет сомнения, что под действием столь разных сил яхты пойдут с разными скоростями. Для наглядности можно представить себе, что если бы на первой яхте стоял мотор 10 л. с., то на второй его мощность была бы 9,1 л. с., а на третьей — только 6,5 л. с. Практически это значит, что самый хороший рулевой, идя курсом галфвинд на плоском парусе, не в состоянии вести никакой тактической борьбы с рулевым, у которого «мотор» на 35% сильнее.

Отсюда как будто следует один вывод: применяй паруса с большой «пузатостью». Но, однако, «пузатые» паруса снижают способность яхты идти круто к ветру! Вот этот-то момент и будет решающим при анализе дистанции гонок для выбора того или другого паруса. Паруса с большой «пузатостью» особенно хороши на полных курсах, начиная с полного бейдевинда. Кроме того, необходимость сохранения поперечной остойчивости яхты несколько ограничивает применение «пузатых» парусов при сильных ветрах.

Чтобы ответить на вопрос, какими же соображениями должен руководствоваться рулевой, выбирая паруса, рассмотрим, какой должна быть «пузатость» паруса в зависимости от дистанции гонок и дующего ветра.

Выбор паруса

На рис. 101 (стр. 140) показаны две яхты, идущие курсом бейдевинд. На первой — плоский парус с полнотой $\frac{1}{20}$, на второй — «пузатый» с полнотой $\frac{1}{7}$. Предположим, что рулевой первой яхты держит парус под оптимальным углом к ветру α . Тогда рулевому второй яхты надо держать парус под углом к ветру, равным $\alpha + \Delta\alpha$ (большим, чем угол α). Эта необходимость вытекает и из рассмотрения кривых аэродинамических коэффициентов на рис. 100 (стр. 140). Ясно, что «пузатый» парус не может работать под таким малым углом, как плоский. Желая устранить заполаскивание паруса, рулевой второй яхты должен увалиться на угол $\Delta\alpha$ до курса K_2 , так как вторая яхта не может идти таким же острым курсом, как первая. Однако на второй яхте, с более глубоким парусом, сила тяги больше, чем на первой, и хотя она идет не так круто, но зато с большей скоростью. При слабых ветрах выгодно применять «пузатый» парус, однако с увеличением скорости ветра все яснее становятся преимущества плоских парусов. В чем тут дело?

Чтобы ответить на этот вопрос, рассмотрим изображенные на рис. 102 (стр. 141) кривые (поляры) аэродинамических коэффициентов C для парусов первой и второй яхт. Предположим, что обе яхты идут курсом 25° по отношению к вымпельному ветру и имеют равные по площади паруса. Соответствующие этим условиям аэродинамические коэффициенты C в некотором масштабе представляют возникающие на парусах аэродинамические силы. Отрезок OA соответствует аэродинамической силе паруса первой яхты, а отрезок OB — второй.

Сила тяги на первой яхте показана отрезком OC , а второй — отрезком OD . На «пузатом» парусе с полнотой $1/7$ на остром курсе сила тяги увеличится на $\Delta P_c = 40\%$, а сила дрейфа на $\Delta P_d = 60\%$ по сравнению с яхтой, имеющей плоские паруса. Поэтому при сильном ветре у яхты с «пузатыми» парусами дрейф больше. Кроме того, этой яхтой труднее управлять, ее труднее уравновесить, что также имеет значение.

Известно, что крен отрицательно отражается на ходе яхты из-за увеличения сопротивлений. Исследования показали, что при крене 35° сопротивление только самого корпуса килевой яхты возрастает примерно на 30% . Учитывая уже отмеченное ранее ухудшение аэродинамики «пузатого» паруса на остром курсе, следует оценить увеличение всех видов сопротивлений движению на $60\text{--}80\%$, что при ветре средней силы даст уменьшение скорости яхты примерно на 20% .

Если первая яхта, идя круто к ветру, сможет выйти на поворотный знак одним галсом, то вторая в этих же условиях одним галсом на знак не выйдет. Преимущество первой яхты тем больше, чем длиннее участок лавировки и сильнее ветер. По мере перехода на более полный курс первая яхта все больше теряет свои преимущества по сравнению со второй. При ветрах средней силы, начиная от полного бейдевинда, преимущества второй яхты заметно возрастают и доходят до максимума на курсе около полветра $\approx 105^\circ$. При переходе к еще более полным курсам, вплоть до фордевинда, преимущества «пузатого» паруса уменьшаются, что вытекает из сравнения соответствующих данных, приведенных на рис. 100 (стр. 140).

На курсе полный бакштаг аэродинамические коэффициенты плоских и «пузатых» парусов отличаются друг от друга незначительно. Гоночная практика полностью подтверждает эти теоретические предсказания: яхтсмены хорошо знают, что на курсах, близких к фордевинду, скорость яхт почти одинакова. Поэтому на курсе фордевинд выгоднее держаться на течении, чем на ветре. Еще один вывод: на курсе фордевинд важнее площадь паруса, а не его форма. Совсем другое дело на острых курсах: здесь величина площади паруса значит меньше, чем правильный профиль и полнота паруса во всех его сечениях.

Выше упоминалось о том, что правильный выбор паруса зависит не только от дистанции гонок и преимущественных курсов по отношению к ветру, но также от ожидаемой силы ветра и возможных его изменений.

Возникающая на парусе аэродинамическая сила зависит от квадрата скорости вымпельного ветра $\left(P = \frac{v^2}{16} \cdot S \cdot C\right)$, т. е. если скорость ветра увеличится вдвое, аэродинамическая сила увеличится в четыре раза. Максимально допустимая аэродинамическая сила, которую может получить на своем парусе рулевой швертбота, ограничена возможностью откренивания яхты на курсе бейдевинд. Граница этих возможностей определяется конструкцией швертбота и физическими данными команды. Когда аэродинамическая сила паруса станет больше допустимой, яхта

стр. 150

стр. 151

получит опасный крен, угрожающий потерей равновесия и опрокидыванием. На килевых яхтах опасности опрокидывания нет, но крен, особенно чрезмерный, так же ухудшает гоночные качества яхты, как и швертбота. Отсюда основное правило: **парус надо выбирать такой, чтобы можно было при существующих условиях не допускать чрезмерного крена и вести яхту по возможности на ровном киле.**

Поскольку на скорость ветра мы влиять не можем, то в нашем распоряжении остаются следующие два способа изменения величины аэродинамической силы паруса: 1) изменение площади паруса и 2) изменение аэродинамического коэффициента C , т. е. степени полноты паруса.

стр. 152

Большинство яхтсменов в условиях сильных ветров применяют только первый способ: травят шкоты до заполаскивания паруса или берут рифы. Плавание с полощущимися парусами приводит к быстрой порче парусины (растрепывание материала и особенно задней шкаторины) и деформации формы паруса. Кроме того, дрожание паруса передается вантам, штагам, и все это вместе взятое увеличивает сопротивление надводной части яхты и в результате снижает скорость.

Наиболее выгодно для сильного ветра брать плоские паруса, имеющие малый коэффициент максимальной аэродинамической силы. На рис. 103 (стр. 141) дан график изменения максимальной аэродинамической силы в зависимости от скорости ветра на курсе бейдевинд для трех парусов с величиной «пуза» $1/7$, $1/10$ и $1/20$.

Допустим, что $P_{\text{макс.}}$, действующая на парус, и есть та максимальная сила, которая допускается условиями откренивания на курсе бейдевинд. Тогда при скорости ветра v_2 наибольшая допустимая «пузатость» паруса должна быть не более $1/10$. Поставив парус (пузатостью $1/7$), рулевой получит увеличение аэродинамической силы на величину $+\Delta P$, и ему придется или брать рифы, или травить шкоты, или идти с невыгодным, чрезмерным, креном. Все эти последствия неправильно выбранного паруса в той или иной мере вредно отразятся на ходовых качествах яхты.

Применяя чрезмерно плоские паруса для данных условий ветра (речь идет о парусах «пузатостью» $1/20$), рулевой также не сумеет использовать все возможности ветра. По сравнению с противником, плывущим на правильно выбранном парусе, он будет иметь недобор силы на величину $-\Delta P$, а вследствие этого и меньшую скорость хода. Итак, исходя прежде всего из условий гонок, следует выбирать паруса такой формы, чтобы не надо было брать рифов; на взятие рифов следует идти в случае крайней необходимости, когда самые плоские паруса (например, с полнотой $1/20-1/25$) дают нежелательно большие силы. Применение плоских парусов при сильном ветре не только уменьшает опасность потери равновесия (остойчивости), но и сохраняет высокие ходовые качества яхты на полных курсах. Плоская форма позволяет использовать паруса большей площади на тех курсах, на которых сохранение поперечного равновесия яхты не представляет трудностей для рулевого.

стр. 153

На графике (рис. 104 (стр. 142)) даны относительные значения сил, вызывающих движение яхты при разной величине «пузатости» паруса. Цифры на оси ординат обозначают величину силы тяги P_c в зависимости от курса (относительно вымпельного ветра), выраженного в румбах.

График показывает, что применение парусов «пузатостью» более $1/7-1/8$ не оправдывается. Нецелесообразно также применять паруса «пузатостью» меньше $1/30$. В тех классах, где правилами разрешается иметь несколько комплектов парусов,

следовало бы предусмотреть такие паруса: а) «пузатостью» $1/30-1/20$ для сильного ветра; б) $1/15-1/10$ для среднего ветра; в) $1/10-1/7$ для слабого ветра. Более полные паруса можно с успехом применять на яхтах, где мачта может заметно изгибаться, например в классах «Финн» и «Звездный».

Взятие рифов и уменьшение «пуза» паруса

Если ветер настолько усилится, что даже при самом плоском парусе крен становится опасным, надо брать рифы. Поверхность паруса уменьшают настолько, чтобы на шквалах средней силы можно было держать яхту без крена, а паруса — без запласкивания, т. е. не травить шкотов. Более сильные шквалы встречаются небольшим уваливанием от курса и потравливанием шкотов: при этом нужно стараться вести яхту прямо и не терять скорости. Уваливание значительно выгоднее приведения или пережидания шквала на более остром курсе с потравленными шкотами и хлопающими парусами.

стр. 154

Многие рулевые, горя желанием выйти на знак одним галсом, стараются идти как можно круче и постепенно доходят до чрезмерно острого курса. При этом скорость падает, а иногда яхта просто теряет ход и попадает в положение «заднего хода». Необходимо подчеркнуть, что потеря скорости является следствием прямой ошибки рулевого. Потери, вызванные чрезмерно острым курсом, не возместить набранной «высотой». Яхта же, потерявшая скорость, — это уже не яхта, а дрейфующий плот, и, чтобы из него снова сделать маневренную яхту, надо затратить драгоценное время.

Склонность вести яхту на границе маневренных скоростей можно наблюдать у рулевых, яхты которых перегружены парусами, т. е. несут парусность без учета местных ветровых условий. То же можно сказать о малозарифленной яхте. В этих случаях на лавировке при нормальной скорости крен яхты больше, чем когда рулевой ведет судно слишком острым курсом на границе маневренности яхты. Вымпельный ветер в первом случае больше, а следовательно, и силы на парусе увеличиваются. Во втором случае яхта кренится меньше и, кроме того, создается впечатление, что яхта идет острее. Такая иллюзия в большой степени затрудняет оценку правильности выбранного курса. Приведенный пример, часто наблюдаемый в гоночной практике, проиллюстрируем рис. 105 (стр. 143).

стр. 155

Решая вопрос, сколько взять рифов, надо учитывать способность экипажа откренить яхту. Именно поэтому в длительных гонках приходится брать больше рифов, чем в коротких. При длительном и тяжелом откренении можно так измотать команду, что она потеряет работоспособность к концу гонки.

Вспомним, что брать рифы можно только тогда, когда даже самые плоские паруса не спасают от чрезмерного крена. Кроме того, даже самое умелое взятие рифов деформирует парус, и в выгодном положении будет рулевой, имеющий несколько комплектов парусов. Однако такие «богатые» рулевые часто терзаются сомнениями уже во время гонки: тот ли комплект они поставили? И действительно, нередко бывает, что они выбирают комплект парусов, не соответствующий внезапно изменившимся условиям гонок.

Правила, которыми надо руководствоваться при выборе плоских или полных парусов, неодинаковы для разных типов яхт и экипажей. Так, тяжелый и остойчивый «Олимпик» может еще идти под полным и «пузатым» парусом, когда «Финн»

потребуется уже самого плоского паруса или взятия рифов. Принимается во внимание и вес экипажа. Более тяжелый экипаж может идти под «пузатым» парусом и без рифов, а более легкий должен брать плоский парус или «рифиться». К взятию рифов надо всегда подходить осторожно, учитывая все факторы: характеристику имеющихся в распоряжении гонщиков парусов и собственные возможности откренивания.

Многие рулевые решают проблему рифления очень просто: они берут всегда на один риф меньше, чем конкурент, полагая таким образом перехитрить его. Понятно, что такими «правилами» нельзя руководствоваться хотя бы потому, что сами паруса совсем не одинаковы с точки зрения аэродинамических свойств. Учитывая изменения в «пузатости» паруса, можно сказать, что слишком «пузатый» зарифленный парус может дать гораздо больший крен, чем в таких же условиях незарифленный плоский.

Многие рулевые, зарифившись перед стартом, в процессе гонки неохотно решаются на корректирование площади паруса, несмотря на изменение метеорологических условий или неправильную их оценку перед гонкой. Вообще у берущих рифы существует опасение, как бы не пришлось их отдавать во время гонки на воде. Для швертботов-одиночек такие маневры с парусом небезопасны и к тому же чреваты значительной потерей времени. На других классах яхт вопрос безопасности не возникает, но рулевые часто не заставляют команду менять рифление из соображений, что всех капризов ветра не предугадаешь. Кроме того, затрата времени на изменение степени зарифления может свести на нет выгоду, которая от этого маневра ожидается. Но верно и то, что хорошо вытреннированная команда берет и отдает рифы очень быстро. Именно такая команда в состоянии наилучшим образом использовать все условия и обстоятельства, возникающие в процессе гонки, которые менее опытную команду только нервируют.

стр. 156

«Пузатость» паруса можно в определенных границах изменить даже во время гонки посредством регулирования натяжения передней и нижней шкаторин грота. Сильным натяжением шкаторин можно сделать парус более плоским. Эффект от такого маневра весьма существен. Степень натяжения шкаторин имеет большое значение для придания парусу нужной формы и получения наибольшего коэффициента полезного действия. Однако неправильным натяжением шкаторин легко испортить и хорошо сшитый и выхоженный парус.

Если нет достаточно плоского паруса, можно слишком «пузатый» парус сделать более плоским и тем избежать рифления. Для этого надо выгнуть мачту путем регулирования стоячего такелажа (рис. 106 (стр. 144)). Чем сильнее ветер, тем больше надо выгнуть мачту.

Яхты международного класса «Звездный» имеют особое приспособление, позволяющее менять положение мачты на ходу во время гонки в довольно широких границах. В некоторых пределах можно регулировать и положение мачты на «Олимпиадах». На яхтах других классов, например «Н», регулировать мачту можно только до начала гонок и то в незначительной мере.

Введенные в последнее время, даже на морских яхтах, свободностоящие мачты, подобно мачтам «Финна», допускают автоматическое уменьшение «пузатости» паруса на острых курсах. Мачта выгибается благодаря сильному натяжению шкотов. Чтобы парус хорошо стоял и на прямой и на изогнутой мачте, он должен быть специально скроен, сшит и выхожен.

стр. 158

Понятно, что такой парус не будет постоянно и одинаково хорошо стоять на всех курсах: на некоторых он будет стоять отлично, а на других у него обнаружится разная «пузатость» по высоте паруса. К этому вопросу мы еще вернемся в последующем изложении.

Влияние положения стрелки профиля паруса

Среди яхтсменов утвердилось мнение, что наибольшая полнота паруса должна быть на расстоянии $\frac{1}{3}$ ширины профиля, считая от мачты. Почему-то полагают, что именно такой профиль дает наилучшие результаты в аэродинамическом отношении. Причем ссылаются в подтверждение своей правоты на форму крыльев птиц, форму крыла самолета и т. п. Исследования не подтверждают правильности этого традиционного взгляда на форму паруса.

На рис. 107 (стр. 144) приведены результаты измерений, произведенных на трех моделях парусов, которые имеют одинаковое по глубине «пузо», но с различным расположением максимальной глубины — стрелки профиля паруса от мачты. У первого паруса стрелка — наибольшая глубина «пуза» — расположена на расстоянии $\frac{1}{3}$ длины профиля, у второго — на $\frac{1}{2}$ и у третьего — на расстоянии $\frac{2}{3}$ длины профиля от мачты. Разница между аэродинамическими коэффициентами у всех трех парусов очень незначительная. Она составляет всего 4%. Тем не менее в гонках эти паруса совсем не равноценны, их достоинства зависят от курса яхты. На лавировке самый выгодный второй парус, позволяющий держать курс примерно на 2° острее. Наоборот, на более полных курсах, например остром бакштаге, лучше остальных третий парус, дающий наибольшую силу тяги P_c . Первый парус по своим достоинствам находится где-то посередине между вторым и третьим, но уступает им обоим. Практически наиболее выгоден парус с расположением максимальной полноты посередине длины профиля.

На полных курсах можно несколько изменять положение стрелки профиля, подбирая булинь на задней шкаторине. При этом максимальная полнота паруса перемещается назад, т. е. парус приближается по форме и качеству к парусу третьего типа. Во всяком случае, можно сказать, что в гоночном отношении гораздо важнее величина «пуза», чем место его расположения. Паруса с разной степенью полноты сильно отличаются друг от друга, так как разница аэродинамических сил у них доходит до нескольких десятков процентов, тогда как изменение положения «пуза» дает разницу аэродинамических сил, равную нескольким процентам. Однако, как ни мал этот фактор, пренебрегать им нельзя, если дело идет о высоком уровне технической подготовки яхты и вооружения к предстоящим гонкам.

Большое влияние на работу паруса оказывает эластичность гика. Известно, что гик несколько деформирует профиль паруса. При прямом жестком гике нижняя шкаторина постепенно теряет кривизну, приданную ей при раскрое паруса, и становится прямой. Нижняя часть грота становится более плоской, что изменяет характер обтекания паруса ветром.

Исследования показали, что эластичный гик, соответствующий кривизне профиля паруса, предпочтительнее жесткого. Жесткий гик уменьшал силу тяги ΔP на 8% по сравнению с эластичным, причем наибольшая разница была на курсах, близких к галфвинду, а на более острых и полных разница уменьшалась.

Эластичность гика должна соответствовать по величине и форме «пузатости»

паруса. К сожалению, нельзя сделать гик, который бы удовлетворял этому условию при любой силе ветра. Кроме того, изгибание гика зависит от мест крепления к нему шкотов. Лучше всего раксбугель гикашкота закладывать ближе к ноку гика. При таком положении изгиб гика лучше всего согласуется с профилем грота. Если бугель заложен между ноком гика и галсовым углом грота, гик будет выгибаться против «пуза», деформируя профиль нижней части паруса тем больше, чем сильнее ветер.

Желая избавиться от недостатков и сохранить преимущества эластичного гика, конструкторы гоночных яхт проектируют жесткие гики, позволяющие, однако, сохранить форму края нижней шкаторины. Примером может служить гик знаменитой в свое время яхты «Энтерпрайс», нижняя шкаторина грота которой могла передвигаться по широкому плоскому гикю, корректируя «пузатость» паруса в зависимости от условий плавания. Другое решение этой проблемы — крепление нижней шкаторины грота только в двух местах: в галсовом и шкотовом углах. Вытягивая или ослабляя шкаторину на ноке гика, можно регулировать ее кривизну и в некоторой степени «пузатость» паруса.

Точка приложения аэродинамических сил паруса (центр давления)

Нам уже известно, что линия действия аэродинамической силы паруса не проходит постоянно через так называемый центр парусности, а ее положение зависит от угла установки паруса по отношению к направлению вымпельного ветра. Поэтому не следует отождествлять центр парусности с центром аэродинамических сил, т. е. с точкой приложения равнодействующей аэродинамической силы. Вычисляемый центр парусности является ориентировочной, вспомогательной точкой для конструктора, как и центр бокового сопротивления.

Положение центра давления аэродинамических сил зависит от степени «пузатости» паруса. Этот факт имеет определенное практическое значение: так, если вместо плоского паруса поставить на той же яхте «пузатый», то она сразу же обнаружит склонность приводиться.

На рис. 108 (стр. 145) показано перемещение центра давления аэродинамических сил в зависимости от курса судна для трех парусов с полной профилей $\frac{1}{7}$, $\frac{1}{13,5}$ и $\frac{1}{27}$. Кривые показывают, что линия действия аэродинамических сил у плоского паруса проходит ближе к мачте, а у наиболее «пузатого» — ближе к геометрическому центру парусности. Разница в положении центров аэродинамических сил для всех трех парусов сравнительно невелика и на курсе бакштаг не превышает 4%. На курсе фордевинд точка приложения аэродинамической силы совпадает с геометрическим центром парусности. На курсе бакштаг линия действия аэродинамической силы проходит несколько в стороне от центра бокового сопротивления, из-за чего возникает момент, приводящий яхту к ветру. Величина этого момента зависит от положения точки приложения аэродинамической силы. Чем шире и ниже парусность, тем больше расстояние между центром бокового сопротивления и аэродинамическим центром и, следовательно, тем больше приводится яхта. Таким образом, яхты с гафельным вооружением всегда проявляют большую склонность к уваливанию или приведению, чем яхты с бермудским вооружением.

стр. 161

стр. 162

3.13 Форма паруса

В начальный период развития парусного спорта повсеместно господствовало правило: «чем больше на яхте площадь парусов, тем быстрее ход». Это правило возникло в период расцвета парусного флота. Усилия конструкторов были направлены к одной цели — снабдить корабль наибольшей площадью парусов. Учитывая остойчивость судна, приходилось проектировать низкую и широкую парусность. Старались увеличить поэтому длину яхты, появились бушприты. Затем в результате научных изысканий (например, опубликование результатов исследований Эйфеля в 1910 г.) взгляды изменились: стали обращать большее внимание на форму и взаимное расположение парусов. Суть дальнейшего технического прогресса заключалась в отыскании путей получения наибольшей силы тяги без увеличения площади парусов или, наоборот, той же силы тяги на уменьшенной площади парусов. Эту задачу удалось решить следующими путями: а) увеличением удлиненности паруса; б) уменьшением вредного влияния мачты; в) улучшением взаимодействия парусов; д) применением специальных парусов на определенных курсах.

Удлиненность паруса

Среди парусников часто возникают споры о преимуществах гафельного или бермудского вооружения. Рассмотрим достоинства того и другого типа вооружения с точки зрения их гоночной ценности.

Исследования, проведенные с моделями парусов и пластинками, имеющими различное отношение длины к ширине, т. е. различную удлиненность, показали, какое большое влияние оказывает форма паруса на характер аэродинамических сил. На рис. 109 (стр. 146), 1 дан график аэродинамических коэффициентов C , полученных при исследовании двух пластинок с одинаковым «пузом», равным $1/13,5$, но с разной удлиненностью. График показывает, что при меньших углах атаки α большая аэродинамическая сила будет на пластинке более высокой и узкой ($\lambda_1 = 6$), чем на второй пластинке ($\lambda_2 = 1/3$).

стр. 163

Результаты исследований пластинок были затем подтверждены исследованием модели гафельного паруса шхуны «Букау» с «пузом» около $1/15$. Модель была сделана в масштабе 1 : 25 (рис. 109 (стр. 146), 2). Измерения проводились при двух положениях гафеля: при свободном гафеле, уходящем под ветер вместе с верхней частью паруса, и при закрепленном, предотвращающем перекручивание поверхности паруса. Максимальная аэродинамическая сила на парусе с закрепленным гафелем была при угле атаки α около 30° , а при свободном — около 35° .

Сравнивая графики, можно заметить, что чем выше и уже парус, тем лучше он в аэродинамическом отношении при меньших углах атаки. Вместе с изменением удлиненности паруса изменяются величина и направление действия возникающих на парусе сил. Какие же практические выводы можно сделать из этого явления?

Рассмотрим величину сил,двигающих яхты, вооруженные парусами: гафельными, бермудскими и прямыми с одной и той же поверхностью и полнотой «пуза», но с различным отношением длины к ширине. Возьмем три курса: бейдевинд, бакштаг и фордевинд. Поляры аэродинамических коэффициентов этих парусов показаны на рис. 110 (стр. 147), где кривая M относится к бермудскому, кривая G — к гафельному и кривая R — к прямому парусам.

стр. 164

Максимальные значения аэродинамических коэффициентов, показанные стрелками для бермудского паруса, будут получены при угле атаки $\alpha_1 = 15^\circ$, для гафельного при $\alpha_2 = 35^\circ$ и для прямого паруса при угле атаки $\alpha_3 = 45^\circ$.

Желая плыть курсом бейдевинд на яхте с бермудскими парусами (высокими и узкими — $\lambda = 6$), рулевой должен ставить парус относительно вымпельного ветра под углом около 15° . Яхта будет идти курсом K_1 . В этих же условиях рулевой яхты с гафельным вооружением ($\lambda = 1$) не сможет держать так круто к ветру, поскольку угол установки его паруса к ветру примерно на 20° больше. Еще хуже обстоит дело на яхте с прямыми парусами.

Таким образом, удлиненность паруса имеет большое влияние на величину и направление аэродинамических сил, действующих на яхту. Чем выше и узче парус, тем лучше яхта идет в бейдевинд. Это объясняется уменьшением у таких парусов индуктивного сопротивления, возникающего в результате выравнивания давлений на обеих сторонах паруса. Решающее значение в образовании индуктивного сопротивления имеет отношение длины гика к общей поверхности паруса. Чем больше это отношение, тем больше и индуктивное сопротивление. Желая снизить индуктивное сопротивление, некоторые конструкторы делали очень широкий гик, вроде пластины, полагая, что такая форма затруднит перетекание воздуха с одной стороны на другую сторону паруса вокруг гика.

Опыты подтвердили, что парус, оборудованный пластиной, затрудняющей перепływ воздуха вокруг гика, действительно наиболее выгоден на курсе бейдевинд.

Результаты замеров даны на рис. 111 (стр. 147). Прирост силы тяги на парусе A по сравнению с парусом B составляет примерно 15–20%. Это получается за счет более выгодного направления действия аэродинамической силы P_A по сравнению с силой P_B .

Широкое распространение бермудское вооружение получило примерно с 1912 г. К этому времени накопились основные знания о работе паруса, а также появились новые сорта клея, позволившие изготавливать пустотелые клееные мачты, достаточно высокие и легкие. Эти мачты, напоминающие по форме антенны (отсюда и другое название этого вооружения — «Маркони»), заменили прежние массивные мачты, наращиваемые толстыми стенками.

Практической границей отношения длины к ширине паруса оказалось удлинение $\lambda = 6,5$. При большем соотношении высоты и ширины сильно снижается поперечная остойчивость яхты и возрастают трудности с выделкой рангоута и такелажа. На рис. 112 (стр. 148) показана яхта с двумя вариантами парусов. С изменением удлиненности паруса с $\lambda = 3,8$ на $\lambda = 6,4$ высота мачты увеличивается на 225 см при одновременном повышении центра парусности на 1 м. Параллельно с ростом веса вооружения и повышением его центра тяжести надо увеличивать вес балласта для сохранения остойчивости; все это в сумме невыгодно отражается на скорости яхты. Высокие паруса не сохраняют своих преимуществ при полных курсах.

Принимая во внимание аэродинамические коэффициенты трех парусов (бермудского, гафельного и прямого), показанные на рис. 110 (стр. 147), рассмотрим аэродинамические силы, возникающие на этих парусах на курсе бакштаг. Представим себе две яхты, гафельную и бермудскую, плывущие курсом 125° относительно вымпельного ветра. Паруса потравлены почти до вант и с ветром дают угол 35° (рис. 113 (стр. 148)). Если паруса обеих яхт

равны по площади и ветровые условия одинаковы, то силы тяги P_1 и P_2 будут пропорциональны соответствующим аэродинамическим коэффициентам C_1 и C_2 .

Коэффициент C_1 бермудского паруса при угле 35° равен примерно 1,1, а коэффициент C_2 гафельного $\cong 1,4$. Значит на курсе бакштаг сила тяги гафельного паруса примерно на 25% больше, чем бермудского, а гафельная яхта идет быстрее. Однако на полных курсах лучше прямое вооружение. Это вытекает из анализа приведенных графиков. В этом кроется ответ на вопрос: почему фрегаты были отличными ходоками на полных курсах и уступали шхунам на бейдевинде? Причина заключалась в форме паруса, которую интуитивно начали применять на практике раньше, чем сумели найти теоретическое объяснение.

При оценке преимуществ того или другого вооружения надо прежде всего уяснить, в каких условиях будет плавать яхта. Универсального вооружения нет: на гонках, проводимых по треугольной дистанции, преимущественно с острым курсом, лучше бермудское вооружение; на дистанционных морских гонках, часто проходящих на более полных курсах, преимущество за гафельным вооружением или даже за прямым.

При этом следует помнить, что для образования на парусе наиболее эффективных аэродинамических сил для получения наибольшей скорости яхты надо ставить парус к ветру под оптимальным углом атаки. Оптимальный же угол атаки для гафельного паруса значительно больше, чем для бермудского.

Опыты на модели паруса гафельной шхуны «Букау» показали, что парус начинает запласкивать при угле атаки 20° , а наибольшую аэродинамическую силу парус дает при угле атаки около $30\text{--}35^\circ$.

Следовательно, можно считать явной ошибкой широко распространенное среди рулевых мнение, что наиболее выгодный угол установки паруса будет тогда, когда он начинает запласкивать. Очевидно, нельзя пытаться давать общий рецепт установки парусов относительно ветра, так как это зависит от конструкции и формы самого паруса. Угол установки зависит, кроме того, от полноты формы паруса, от курса относительно ветра и от соотношения высоты паруса к его ширине.

Очертания паруса

Коэффициент полезного действия паруса на курсе бейдевинд зависит не только от его высоты, но и от формы внешних очертаний. Исследования показали, что из двух парусов одной и той же удлиненности $\lambda = \frac{L^2}{S}$ (рис. 114 (стр. 149)) более «продуктивным» будет парус типа «гуари» или же парус, поднимаемый на изогнутой мачте.

Опыты показали, что индуктивное сопротивление становится минимальным тогда, когда график, построенный на векторах давлений и разрежений на одной и другой стороне паруса, дает кривые, близкие к эллипсу, у которого большая полуось равна высоте паруса L , а малая полуось — p .

Такое наивыгоднейшее разложение сил на парусе получается, если его внешние очертания приближаются по форме к эллипсу. Именно этим объясняется превосходство яхт с изогнутыми мачтами и с вооружением «гуари» над обычным бермудским вооружением, индуктивное сопротивление которого примерно на 10% больше. Преимущество вооружения «гуари» особенно проявляется на бейдевинде.

Между прочим в природе мы видим массу примеров использования наилучших аэродинамических форм, приближающихся к эллипсу, — это крылья большинства птиц.

Изогнутые мачты, несмотря на их преимущество с точки зрения аэродинамики, не нашли широкого распространения, за исключением узкого круга специальных гоночных яхт. При рифлении паруса на изогнутой мачте верхняя его часть начинает заполаскивать, парус уже не работает одинаково хорошо вверху и внизу, и его аэродинамические «выгоды» пропадают. Вооружение «гуари» свободно от этих недостатков, но более сложные рангоут и такелаж дают большее сопротивление по сравнению с бермудским вооружением.

стр. 169

Влияние мачты

Аэродинамический коэффициент полезного действия паруса можно было бы заметно улучшить, если бы удалось устранить или уменьшить вредное действие мачты. Вспомним, какое влияние оказывает мачта на образование потоков воздуха по обеим сторонам паруса. Особенно вредно проявляется это влияние на образовании разрежения на подветренной стороне паруса. В результате яхта не развивает той скорости и не идет так круто к ветру, как могла бы она идти при отсутствии вредного влияния мачты.

Нам известно, что максимальная скорость яхты и ее способность идти круто к ветру зависят от величины и направления аэродинамических сил паруса, определяемых коэффициентом C . На рис. 115 (стр. 150) изображен график величин коэффициента C , полученных путем исследований модели паруса с различным положением и величиной мачты. В графике даны максимальные значения коэффициента C в границах острых углов атаки, что в определенной мере представляет величины аэродинамических сил, возникающих на парусе при спокойном, ламинарном, обтекании. Обращает на себя внимание большая разница значений коэффициента C . С увеличением угла атаки, за границей максимальных величин C , разница между паруса

ми все уменьшается и на фордевинде совсем пропадает. Полнота формы всех испытанных парусов была равна $1/10$, а отношение высоты к ширине (удлиненность) — $\lambda = 5$. Взяв за основу модель паруса a (без мачты), мы увидим, что наличие мачты с диаметром, равным 7,5% ширины паруса (модель b), вызывает уменьшение аэродинамической силы паруса примерно на 17%.

стр. 170

Увеличение диаметра мачты до 12,5% ширины паруса (модель d) приводит к дальнейшему уменьшению аэродинамической силы. При угле атаки $\alpha = 11,7^\circ$ аэродинамические потери доходят до 38%. Кроме того, невыгодно изменяется направление сил, ухудшается способность яхты идти круто к ветру.

Вредное влияние мачт, как источника причины снижения «продуктивности» парусов, усиливается на многомачтовых судах. Поэтому на двух- и трехмачтовых шхунах паруса работают хуже, чем на одномачтовом шлюпе с такой же площадью парусности.

Кроме того, очень важно расположение мачты относительно паруса. Мачта, имеющая такой же диаметр, как модели d , но размещенная по наветренной стороне, заметно повышает аэродинамические свойства паруса. Коэффициент C для этой модели при угле атаки $\alpha = 11,7^\circ$ доходит до 0,90–0,95, а для модели c , по-

ставленной под таким же углом атаки (11°), — почти 1,2. Это дает увеличение аэродинамической силы примерно на 28%. Одновременно следует заметить, что направление действия сил на парус s значительно выгоднее. Все это получается потому, что расположение заподлицо с подветренной стороной паруса создает условия для незавихренного обтекания паруса, при котором сильно увеличивается разрежение на подветренной стороне.

Очень невыгоден парус, прикрепляемый к мачте сегарсами, или сезнями (модель e , особенно на больших углах атаки, чем угол α). Щель между парусом и мачтой ведет к выравниванию давления по обеим сторонам паруса, что сильно снижает аэродинамическую эффективность паруса. Благоприятные условия работы паруса создаются применением профилированных мачт при условии, что мачта может поворачиваться по направлению ветра (рис. 116 (стр. 151)). Особенно выгодно используется профилированная мачта на буере, так как парус устанавливается всегда под острыми углами и, кроме того, там нет необходимости изгибать мачту, чтобы сделать парус более плоским.

стр. 171

Профилированная мачта на яхте сводит почти до нуля возможности уменьшения «пуза» за счет изгиба мачты, так как жесткость последней в плоскости $x-x$ исключительно велика. Наоборот, жесткость мачты в плоскости $y-y$ значительно меньше, чем желательна иметь у хорошей мачты. Наилучшим практическим положением мачты будет показанное на модели c по наветренной стороне паруса (см. рис. 115 (стр. 150)). Целесообразно также применять более тонкие мачты.

Интересное парусное вооружение предложил Люнгстром и усовершенствовал Фоспер-Хаслер (рис. 117 (стр. 151) и 118 (стр. 152)). На свободной гибкой мачте поднимаются два совершенно одинаковых паруса, которые можно навить на мачту. В бейдевинд оба паруса накладываются друг на друга и работают, как обычный бермудский парус. На полных курсах и на фордевинде паруса работают отдельно и дают двойную поверхность парусности.

Рифление производится навиванием паруса на мачту, для чего мачта может вращаться. При всех курсах, от бейдевинда и до острого бакштага, мачта находится на наветренной стороне, как на модели c (см. рис. 115 (стр. 150)). «Пузатость» паруса можно регулировать натяжением нижней шкаторины.

Парусное вооружение Люнгстрема и Фоспера-Хаслера по сравнению с обычным бермудским обладает следующими достоинствами:

стр. 172

1. Значительно проще можно уменьшить поверхность паруса. Рифление не требует от команды больших усилий и высокой квалификации и совершенно безопасно даже в штормовую погоду. Во время рифления сохраняется полная маневренность, чего нет на яхтах с бермудским вооружением. Ход яхты не теряется из-за взятия рифов.

2. На полных курсах площадь паруса посредством несложного маневра можно увеличить в два раза. На яхтах с бермудским вооружением для этого надо ставить дополнительные паруса.

стр. 173

3. Яхта легче управляется на курсе фордевинд, меньше «рыскает», и разложение сил на парусе получается более выгодным, чем у яхты с бермудским вооружением.

Жесткие паруса

В поисках средств увеличить скорость яхты и ее способность идти круче к ветру были проведены опыты с жесткими парусами. Посмотрим, какие новые возможности могли появиться у яхты, вооруженной парусом-крылом. Для оценки аэродинамического коэффициента полезного действия паруса надо знать величину и направление действия результирующей силы. Последнее легко определить с помощью угла между линией действия силы и перпендикуляром к хорде профиля паруса.

График на рис. 119 (стр. 153) показывает поляры трех парусов в границах углов атаки, при которых получается максимальное значение коэффициента C . Кривая I относится к жесткому парусу с симметричным профилем и толщиной профиля, равной 10% ширины, кривая II — к парусу с обычным расположением мачты, кривая III — к такому же парусу, но с расположением мачты с его наветренной стороны. У парусов II и III «пузо» равно $1/10$, а удлиненность всех парусов $\lambda = 5$. При одинаковых условиях ветра и равной поверхности парусов коэффициенты C будут определять в соответствующем масштабе аэродинамическую силу парусов P_1 , P_2 , P_3 , обозначенных на графике. Паруса устанавливаются под углом $\cong 11^\circ$. Заметим, что линия действия силы P_1 жесткого профилированного паруса проходит по левой стороне перпендикуляра к хорде с углом $\cong 3^\circ$, тогда как линия действия силы P_2 — по правой стороне перпендикуляра с углом между ними 7° . Разница между линиями действия сил P_1 и P_2 достигает, таким образом, почти 10° .

стр. 174

На курсе бейдевинд на яхте с парусом-крылом (рис. 120 (стр. 153), I) расположение сил более выгодное, несмотря на то, что сила P_2 больше силы P_1 . В бейдевинд яхта пойдет быстрее, так как сила тяги P_{c_1} больше силы тяги P_{c_2} .

Допустим, что сила P_d (перпендикулярная оси яхты) при скорости ветра 10 м/сек будет той максимальной силой, крен от которой может еще быть сбалансирован командой на яхте с обычным вооружением. В этих же условиях команда яхты с парусом-крылом легко справится с креном, так как сила P_d меньше силы P_d . Если скорость ветра увеличится вдвое и дойдет до 20 м/сек, силы на парусах возрастут в четыре раза. Рулевой яхты с обычным вооружением должен будет брать рифы, так как полотняный парус не может работать с уменьшением угла атаки и будет заполаскивать. Профилированный парус можно ставить под любым произвольным углом атаки и получить нужное разложение сил на парусе. Желая уменьшить крен, уменьшают угол атаки с 11° примерно до 6° . Сохраняя допустимую величину силы P_d , одновременно увеличиваем слагаемую силы P_c , вызывающую движение яхты (рис. 120 (стр. 153), 2). Таким образом, скорость яхты с профилированным жестким парусом тем больше, чем сильнее ветер; при этом не надо брать рифов, как на яхте с обычным парусом.

стр. 175

Жесткий парус, выпуклый с обеих сторон, теряет свои преимущества на полных курсах. В галфвинд решающее значение приобретает величина коэффициента C . Наибольшая скорость будет у яхты с парусом III (см. рис. 119 (стр. 153)). Расположение сил, действующих на яхту, показано на рис. 121 (стр. 153), 1, где векторы P_{c_1} , P_{c_2} и P_{c_3} представляют собой силы тяги соответственно для парусов I , II и III .

Можно было бы значительно повысить достоинства жесткого паруса на полных курсах, заменяя симметричный профиль выпуклым (рис. 121 (стр. 153), 2). Применение профилей 2 или 3, по-видимому, позволило бы повысить аэродинамический

коэффициент паруса примерно на 50%.

Практическое применение паруса-крыла сопряжено с большими техническими трудностями. Можно ожидать, что с развитием производства легких и эластичных пластмасс эти трудности будут преодолены, как было бы существенным шагом на пути преодоления некоторого кризиса, существующего сегодня в конструкции вооружения парусных судов. Классическое, традиционное вооружение, состоящее из мачты и полотняного паруса, уже ограничивает возможности дальнейшего прогресса и должно уступить новому вооружению. Между прочим, то же можно сказать и о классической конструкции корпуса яхт (особенно килевых), ограничивающей возможности увеличения ее скорости.

стр. 176

Интересные опыты с полужесткими и жесткими парусами проводятся в настоящее время в Англии и Америке. Испытания проводятся на яхтах натуральной величины, например шестиметровой яхте «Кентерград», а также на больших моделях, управляемых по радио.

Разбирая достоинства жесткого паруса, стоит обратить внимание на паруса китайских джонок, изобретенные много тысяч лет назад. Несмотря на техническую отсталость того времени, гений строителей джонок привел их интуитивно к совершенной аэродинамической конструкции. Жесткий парус джонки позволяет не только менять «пузатость» паруса, но и посредством жалюзной системы легко изменять его поверхность. Острые края и мачта, размещенные на наветренной стороне, способствуют свободному обтеканию ветра на подветренной стороне паруса.

3.14 Взаимодействие парусов

До сих пор мы рассматривали аэродинамику одиночного паруса. На большинстве яхт одновременно работают несколько парусов различной формы и назначения. Разделение общей площади парусности между парусами различных подразделений нескольких отдельных парусов вызвано необходимостью. В самом деле, с несколькими парусами меньшей площади командой легче работать, яхта лучше маневрирует, улучшается поперечная остойчивость и т. п. Вместе с тем потому, что стоящие рядом паруса взаимодействуют между собой, и это взаимодействие может оказаться выгодным. В некоторых случаях эффективная сила, возникающая на взаимодействующих парусах, оказывается значительно больше силы, возникающей на этих же парусах при раздельной работе их.

В интерпретации яхтсмена-гонщика найти такое разделение общей парусности между отдельными парусами, чтобы можно было наивыгоднейшим образом использовать площади парусов при любых курсах. Заранее скажем, что это не всегда удается.

стр. 177

Рассмотрим в качестве примера обтекание ветром одновременно двух парусов — стакселя и грота. Между поверхностями обоих парусов сечение воздушного потока становится более узким (рис. 122 (стр. 154)). Сечение A больше сечения B . Из предшествующего изложения известно, что в более узком сечении скорость потока возрастает и растет разрежение. Это вытекает из уравнения Бернулли. Явления «подсоса» возникают на гроте и без стакселя, но присутствие стакселя сильно увеличивает этот аэродинамический эффект, благодаря чему равнодействующая сила на парусе заметно возрастает. В результате увеличения скорости воздушных частиц проявляется и другой аэродинамический эффект. Прирост

кинетической энергии частиц воздуха, движущихся по поверхности паруса, возмещает затраты энергии, происходящие от трения воздуха о парус. Поэтому снижается возможность вихревого движения частиц воздуха, особенно при значительных углах атаки.

Рис. 123 (стр. 155) поясняет характер обтекания модели паруса с небольшой удлиненностью. На гроте, поставленном без стакселя под углом атаки $\alpha = 35^\circ$, уже возникает вихревое обтекание, вызывающее уменьшение аэродинамической силы P (рис. 123 (стр. 155), 1). Грот, поставленный на тот же угол 35° , вместе со стакселем, имеет спокойное обтекание без вихрей и, следовательно, лучшую аэродинамику. Отсюда можно сделать вывод, что на яхте с вооружением кэт управлять гротом труднее, чем на шлюпе, особенно при больших углах атаки. Ясно, что получить желательное увеличение аэродинамической силы в комбинации грот–стаксель можно только, когда проход между этими парусами (так сказать, «соплом») будет иметь соответствующую форму.

стр. 178

При каких же условиях можно добиться наиболее выгодной работы комбинации грота со стакселем? Во-первых, надо придать стакселю такое положение, чтобы между ним и гротом частицы воздуха приобретали наибольшую скорость, но ни в коем случае не ударялись в своем движении о поверхность грота (рис. 123 (стр. 155), 3). Другое основное условие продуктивной совместной работы грота со стакселем — сохранение правильных пропорций свободного сечения прохода между гротом и стакселем по всей высоте стакселя, т. е. сохранение формы «сопла» по всей высоте. Часто бывает, что форма «сопла» правильна в нижней части стакселя (рис. 123 (стр. 155), 2), а в верхней из-за слишком большого «пуза» воздух начинает вредно задувать на грот (см. рис. 123 (стр. 155), 3), что и является основной причиной малой эффективности стакселя.

Эффект взаимодействия грота со стакселем тем выше, чем больше стаксель перекрывает грот, например при генуэзском стакселе. Полученный благодаря этому прирост аэродинамической силы объясняется тем, что на большей части подветренной стороны грота наблюдается увеличение «подсоса». В случае на рис. 123 (стр. 155), хотя и наблюдается сужение воздушного потока между гротом и стакселем, но эффект «сопла» не достигается. Воздушный поток, направленный на грот, деформирует ткань паруса, вызывая частичное запласкивание, что ведет к уменьшению аэродинамических сил.

стр. 179

Возвращаясь к рис. 122 (стр. 154), можно сказать, что угол атаки стакселя α_c меньше угла атаки грота α_r . Предполагая, что грот поставлен правильно и работает наиболее продуктивно, приходим к выводу, что «пузо» у стакселя должно быть меньше, чем у грота, иначе стаксель будет запласкивать. Уваливать для того, чтобы стаксель хорошо работал, нельзя, следовательно, единственный выход — стаксель должен быть более плоским, чем грот. Чем острее курс, тем сильнее проявляется эта зависимость формы грота и стакселя.

Многие рулевые недооценивают значения формы стакселя, и это часто служит причиной того, что он не выполняет своего назначения в совместной работе с гротом и даже приносит вред. Правильно работающий стаксель нужен не только для хорошей работы грота, но и сам по себе, как самостоятельный парус. Стаксель работает без вредного влияния мачты, отчего его отдача может быть выше, чем отдача соответственной поверхности грота.

От формы «сопла» между гротом и стакселем зависит не только величина аэро-

динамической силы, но и способность яхты идти круто к ветру. На форму «сопла» большое или меньшее влияние имеют следующие факторы: 1) расположение кип на палубе, 2) изгиб штага, 3) форма стакселя, 4) натяжение шкотов стакселя, 5) закладка галсового угла стакселя, 6) величина «пуза» стакселя.

Рулевой обладает достаточным количеством средств, чтобы получить между гротом и стакселем «сопло» нужной формы. Во многих руководствах по парусному спорту приводятся рецепты правильной установки стакселя (рис. 124 (стр. 156)). Основное внимание в них обращается на расположение кип на палубе и крепление галсового угла. Мнение различных авторов относительно направления тяги шкотов расходятся: одни рекомендуют ставить кипы так, чтобы направление тяги шкотов делило шкотовый угол паруса пополам, другие советуют иметь направление тяги чуть выше биссектрисы, а третий — чуть ниже биссектрисы шкотового угла. Все эти довольно противоречивые советы целиком полезны тем, что подчеркивают большое значение расположения на палубе проводки шкотов кип, но ни один из них нельзя принимать на веру.

стр. 180

Задача правильного расположения кип заключается в достижении равномерного растяжения ткани стакселя благодаря правильному натяжению шкотов. В случае *a* на рис. 124 (стр. 156) сила натяжения N раскладывается на две составляющие N_1 и N_2 , натягивающие заднюю и нижнюю шкаторины паруса. Натяжение нижней шкаторины чрезмерно большое, по сравнению с натяжением задней шкаторины, из-за чего растяжение ткани в верхней части паруса недостаточное. Начинается выдувание и запласкивание верхней части стакселя. В случае *b* сильное натяжение задней шкаторины и слабее нижняя. Стаксель получит чересчур большое «пузо» по всему парусу, и яхта много потеряет в способности идти круто к ветру. Стаксель начнет запласкивать значительно раньше грота.

Контролировать правильность расположения на палубе кип стаксель-шкотов можно способом, которым проверяется правильность профиля грота. Идя определенным курсом, слегка приводимся, не трогая парусов. Если запласкивать начинает заднюю шкаторину, то кипа поставлена слишком далеко, как в случае *a*. Если сперва начинает запласкивать нижняя шкаторина, то кипа поставлена слишком близко к шкотовому углу, как в случае *b*. Основная трудность хорошего расположения кип состоит прежде всего в отыскании «золотой середины» между крайними положениями.

стр. 181

То или иное расположение кип на палубе зависит от особенностей яхты, определяемых ее классом, и от курса яхты относительно ветра. Хорошая проводка шкотов для острого бейдевинда может оказаться совсем не подходящей для полных курсов. В первом случае кипы должны быть ближе к диаметральной плоскости яхты, а во втором — ближе к борту. Если правилами класса не запрещено применять специальные устройства, целесообразно использовать конструкцию кип для яхт «Звездного» класса (рис. 125 (стр. 156)).

Даже наилучшая расстановка кип не обеспечивает эффективной работы грота со стакселем, если штаг сильно прогибается и от этого портится форма стакселя (рис. 126 (стр. 157)). Получается слишком большое «пузо», особенно в верхней части паруса, которое на полных курсах и не сильном ветре допустимо и, может быть, даже не вредно, но при лавировке на сильном ветре совершенно недопустимо. Прогиб штага, в сущности, устранить невозможно, и это надо учитывать уже при раскрое стакселя.

Подготавливая яхту к гонкам, надо учесть влияние всех перечисленных факторов для достижения наиболее эффективной работы парусов. Предположим, что перед гонками яхта была приведена в отличное техническое состояние. Но все усилия могут не дать ожидаемых результатов, если во время гонки работа на шкотах будет не менее важной, чем со шкотами грота. Основным показателем, которым надо руководствоваться, выбирая шкоты, может быть только правильное расположение парусов относительно друг друга. Заполаскивание паруса на задней шкаторине и на гроте являются заведомыми показателями плохого взаимодействия парусов. Время от времени следует проверять правильность установки грота. Все усилия шкотового на стакселе должны быть направлены на сохранение желательной формы «сопла»

стр. 182

между поверхностью грота и стакселя, независимо от изменения курса и перемены положения грота.

стр. 183

Однако не на всех курсах удается достичь одинаково эффективной работы грота со стакселем. Наибольшего эффекта достигают, начиная от не слишком острого бейдевинда и почти до галфвинда. Учитывая наличие стакселя, следует сделать вывод, что шлюп не может идти так остро к ветру, как кэт, поскольку стаксель начинает заполаскивать раньше, чем грот (см. рис. 122 (стр. 154)).

График на рис. 127 (стр. 158) дает наглядное сравнение коэффициентов C для вооружения шлюпа и кэта при одной и той же удлинённости грота. В некоторых границах углов установки паруса коэффициент C у шлюпа больше, чем у кэта, хотя направление действия аэродинамических сил и менее выгодно на курсе бейдевинд. Наибольший эффект стаксель дает при несколько более полных курсах с углом атаки α_c . Поэтому некоторые рулевые на яхтах «Звездного» класса при сильном ветре на лавировке предпочитают время рифление убирать стаксель и ходить только под одним гротом. Яхта под одним гротом идет острее, чем под зарифленными парусами (гротом со стакселем). Возникающее при этом бегание яхты на ветер регулируется передвижением мачты.

Способность шлюпа идти круто к ветру заметно возрастает с применением на парусе сквозных лат по всей ширине грота. Сквозные латы придают жесткость поверхности паруса, и она лучше сопротивляется деформации от действия стекающего со стакселя потока воздуха. Поэтому грот со сквозными латами начнет заполаскивать при более острых курсах, когда свободный проход между гротом и стакселем заметно меньше, чем у мягкого грота без сквозных лат. Все это имеет особенно большое значение при лавировке, поскольку грот без лат будет заполаскивать тогда, когда грот, укрепленный латами, будет еще хорошо работать.

стр. 184

Сквозные латы дают и другие преимущества. Регулировкой напряжения лат в карманах можно в известной степени изменять величину «пуза» паруса. Неудобство при этом заключается в подгонке большого количества очень длинных лат и в работе с ними. Прежде, когда латы делали исключительно из дерева, затруднения и неудобства были столь ощутительны, что многие рулевые отказывались от использования сквозных лат. В настоящее время латы можно изготовить из пластмассы, что устранит неудобства, вызываемые деревянными латами.

Чем ближе к курсу галфвинд, тем труднее добиться такого положения стакселя, которое обеспечило бы работу «сопла» между ним и гротом. Нижняя шкаторина стакселя изгибается дугой, а верх паруса начинает заполаскивать. На бакштаге чем ближе к фордевинду, тем большая часть стакселя попадает в ветровую тень грота

стр. 185

и тем большей процент общей площади парусности перестает работать с полной отдачей.

Работу стакселя на полных курсах можно было бы значительно улучшить проводкой шкотов не на палубу, а на гик грота, однако правилами парусных соревнований (§ 26, п. 2) такая проводка запрещена. Запрещено также применение всяких рейков для наноса шкотов передних парусов за борт яхты. В противовес предписаниям Международных правил американские правила разрешают делать проводку шкотов передних парусов, не исключая и спинакера, через нок грота-гика⁹.

На полных курсах, как только стаксель начинает прятаться в ветровую тень грота, следует его перенести на наветренный борт, используя спинакер-гик. Интересно, что в классе «Снайп» пользование спинакер-гиком для вынесения стаксель-шкотов разрешено, несмотря на запрещение пользоваться спинакером (рис. 128 (стр. 159)).

⁹В Международных правилах парусных соревнований, введенных с 1 января 1961 г., разрешена проводка шкотов передних парусов через нок грота-гика. Новые правила, принятые с 1961 г. в США и, следовательно, все разногласия, возникавшие из-за существования двух правил, с этого времени полностью устранены (*Прим. перев.*).

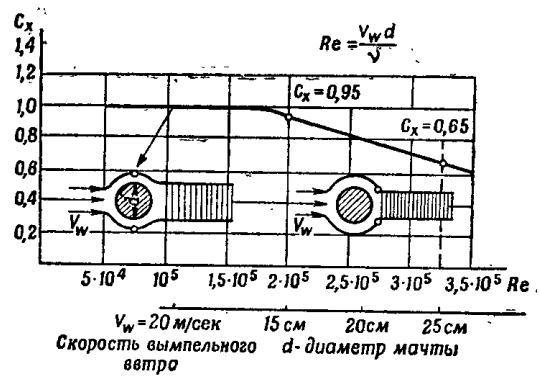


Рис. 79: Зависимость коэффициента сопротивления C_x круглой мачты от числа Рейнольдса; v_w — скорость вымпельного ветра; d — диаметр мачты

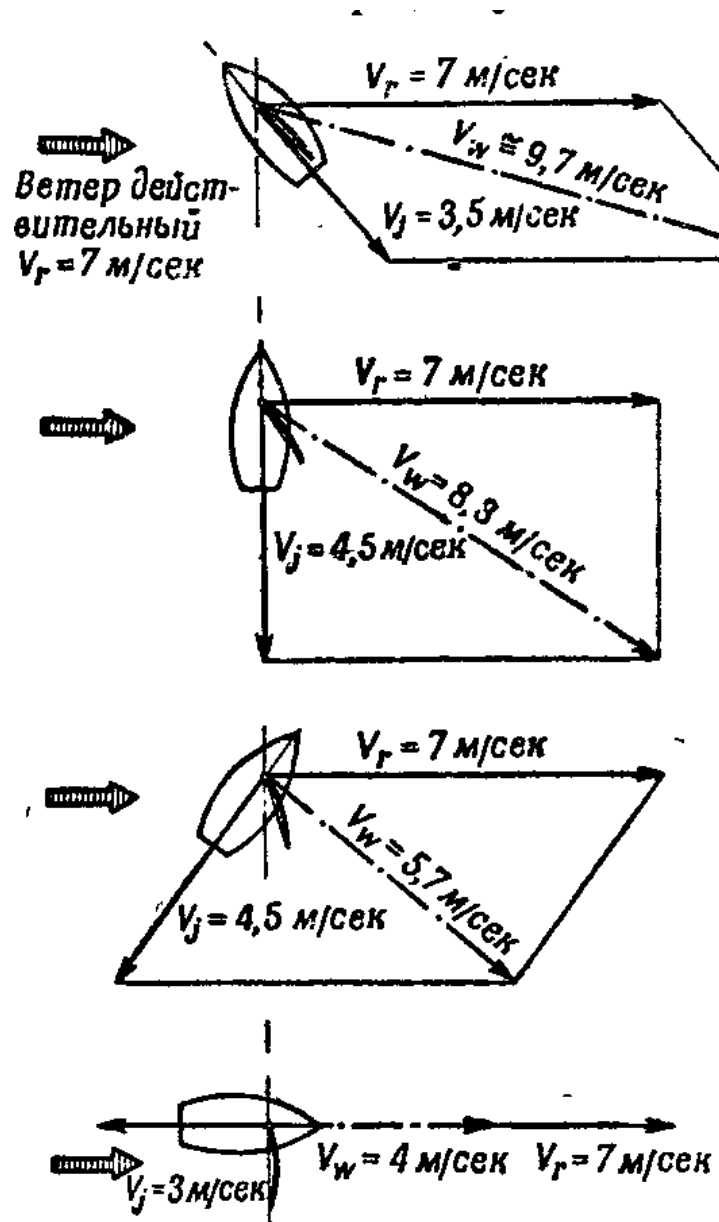


Рис. 80

Рис. 80: Скорость и направление вымпельного ветра при различных курсах яхты; v_r — скорость истинного ветра; v_j — скорость яхты; v_w — скорость вымпельного ветра

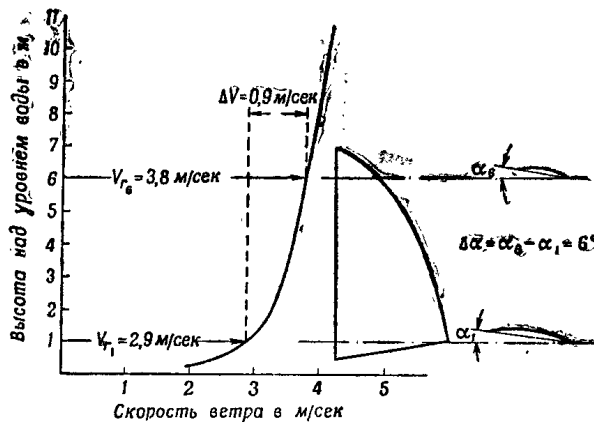


Рис. 81

Рис. 81: Изменение средних скоростей ветра в зависимости от высоты над уровнем воды для летнего сезона

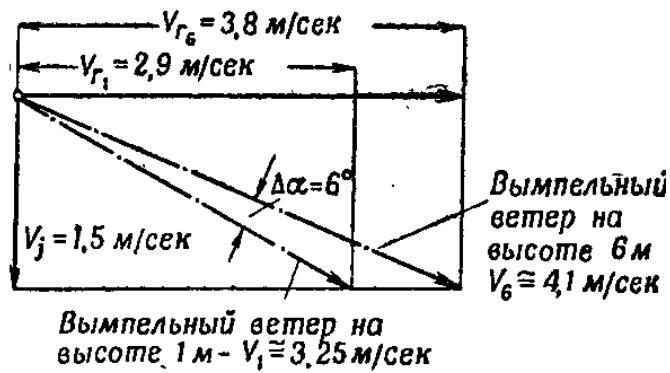


Рис. 82

Рис. 82: Различие в скорости и направлении вымпельного ветра на разных высотах паруса швертбота «Финн»; $\Delta\alpha = 6^\circ$

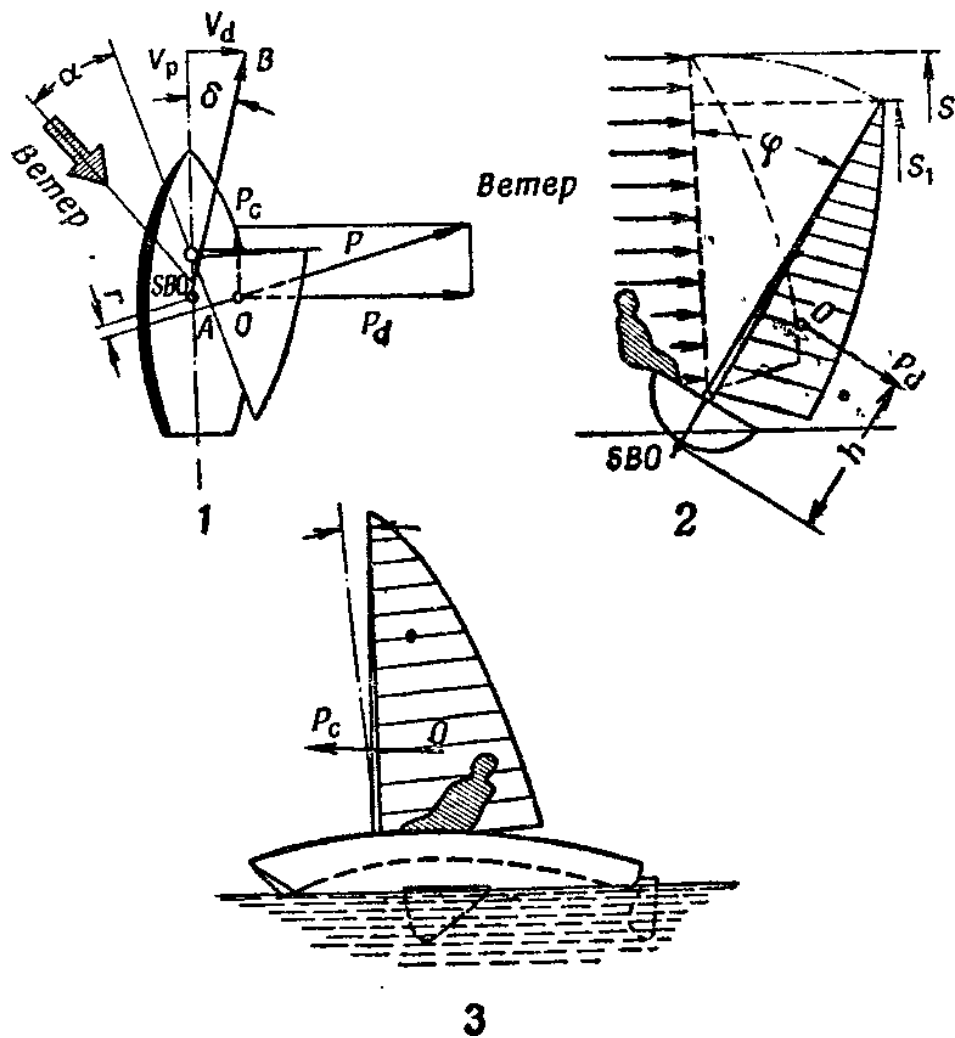


Рис. 83: Результаты действия аэродинамической силы: 1 — сила тяги P_c и боковая сила P_d , дрейф δ ; 2 — крен φ , уменьшение эффективной площади паруса; 3 — дифферент на нос

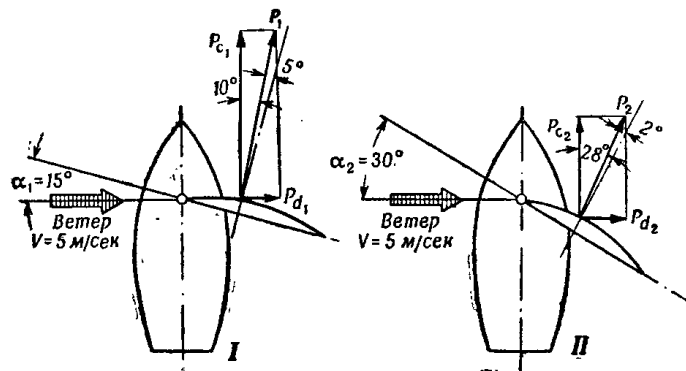


Рис. 84

Рис. 84: Сравнение сил тяги при разных углах атаки: I — $\alpha_1 = 15^\circ$; II — $\alpha_2 = 30^\circ$

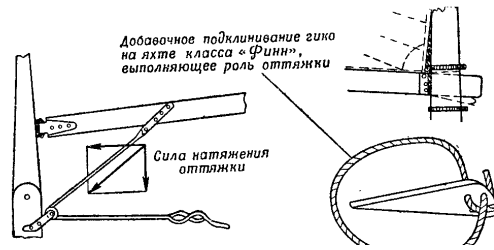


Рис. 85: Оттяжка гика и дополнительное подклинивание гика на яхте класса «Финн»

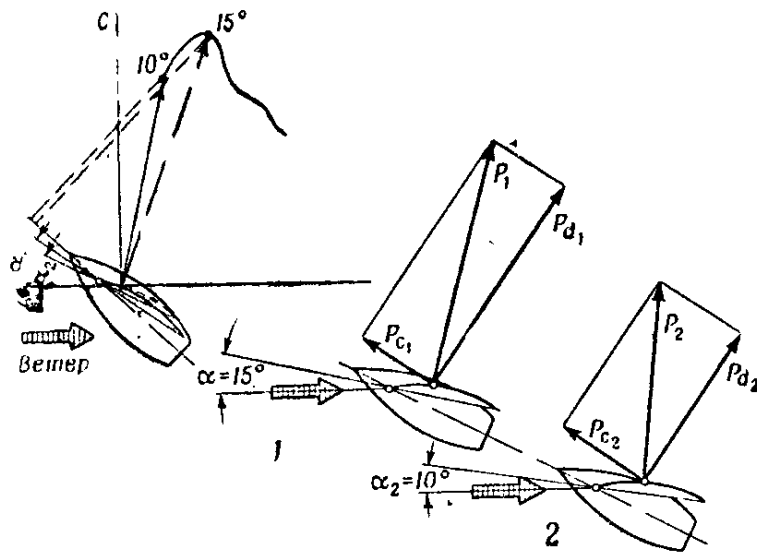


Рис. 86: Курс бейдевинд: 1 — парус при $\alpha = 15^\circ$; 2 — парус при $\alpha = 10^\circ$

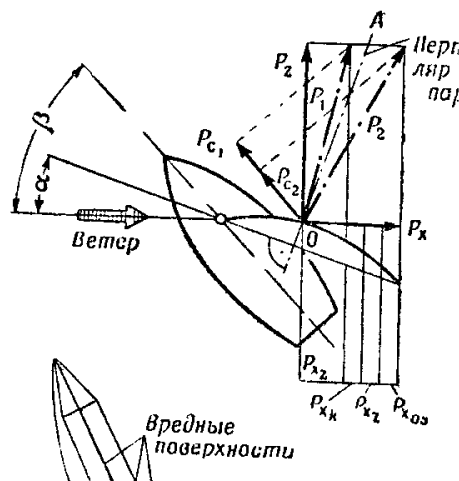


Рис. 87: Влияние вредных сопротивлений на направление аэродинамической силы

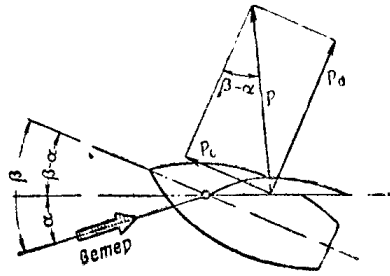


Рис. 88: Силы, действующие на парус при лавировке

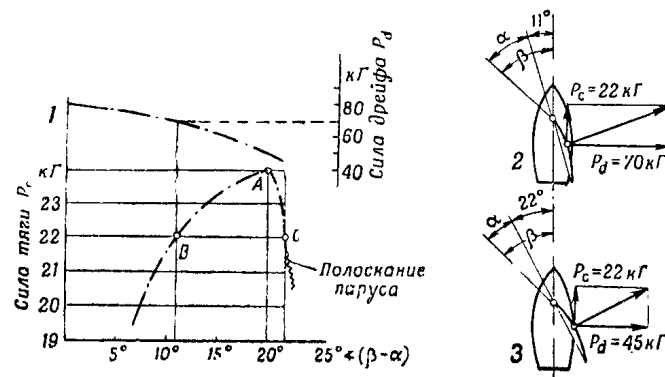


Рис. 89: Зависимость силы тяги и силы дрейфа от угла установки паруса

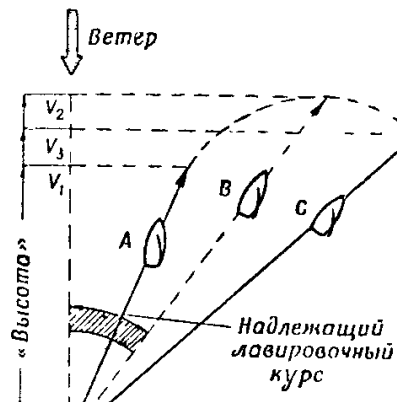


Рис. 90: Надлежащий лавировочный курс

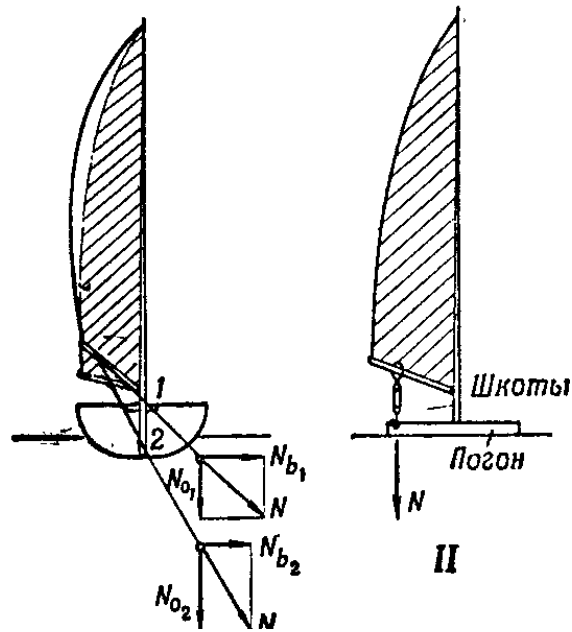


Рис. 91: Влияние места крепления шкотов на перекручивание паруса

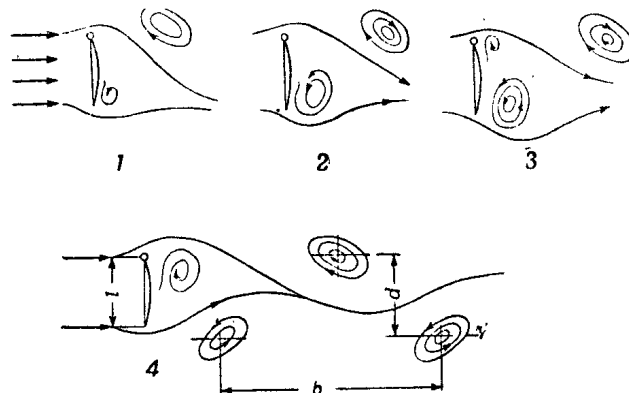


Рис. 92: Вихри Кармана на подветренной стороне паруса

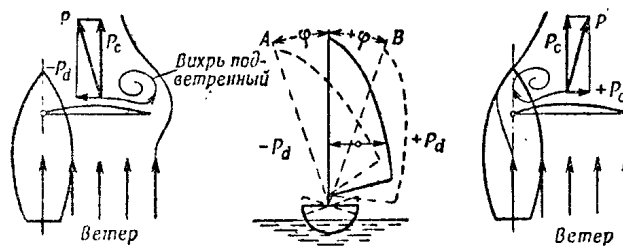


Рис. 93: Причина раскачивания яхты на курсе фордевинд

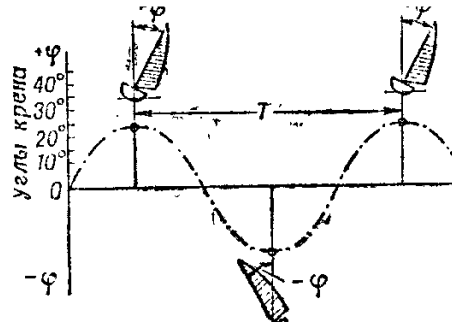


Рис. 94: Раскачивание яхты под действием аэродинамических сил

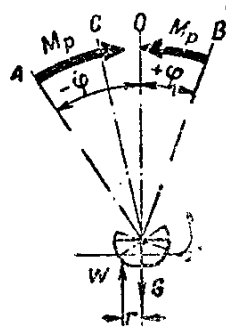


Рис. 95: Восстанавливающий момент M_p

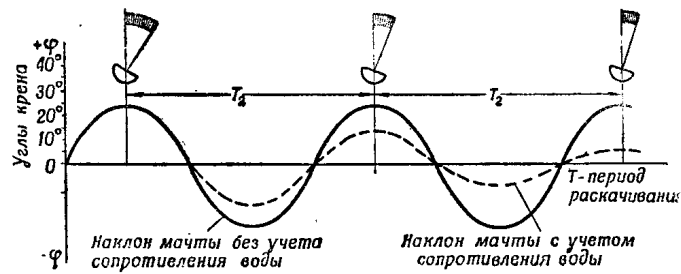


Рис. 96: Свободные колебания яхты: без учета и с учетом сопротивления воды

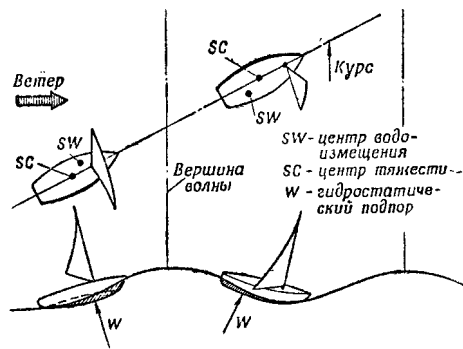


Рис. 97

Рис. 97: Силы, действующие на яхту при проходе через волну

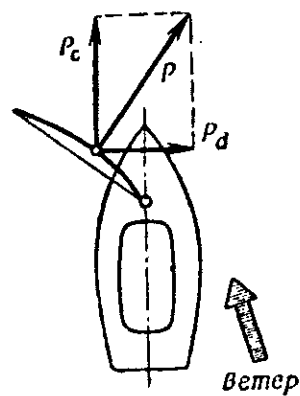


Рис. 98

Рис. 98: Силы на парусе при вытравленных шкотах на курсе фордевинд

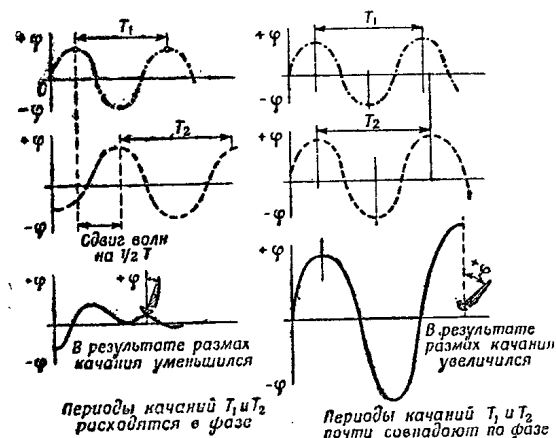


Рис. 99: Совпадение и расхождение фаз колебаний яхты

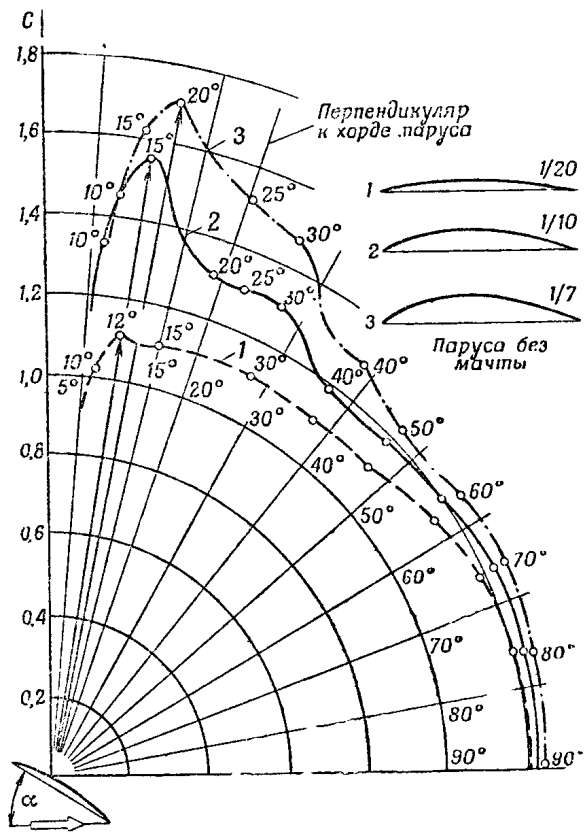


Рис. 100: Полярные кривые аэродинамических коэффициентов для парусов различной «пузатости»

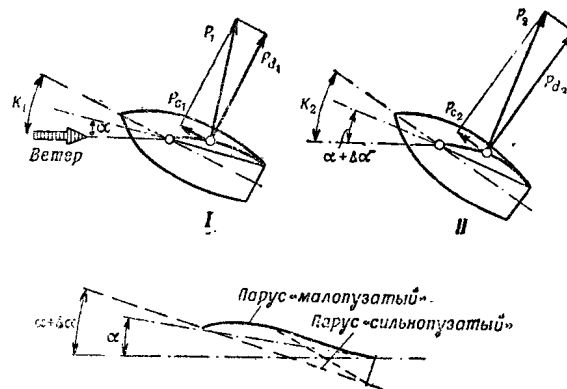


Рис. 101

Рис. 101: Сравнение яхт с плоским ($1/20$) и «пузатым» ($1/7$) парусами на курсе бейдевинд

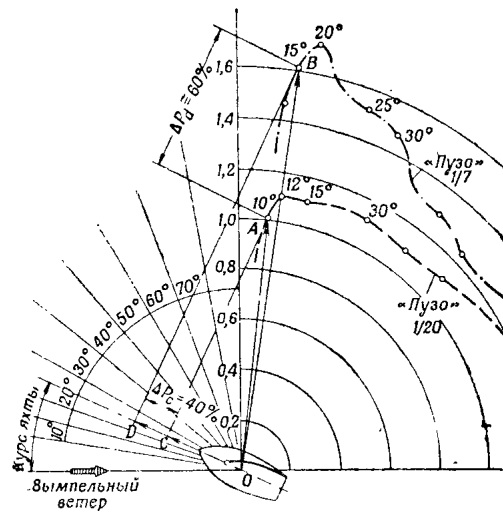


Рис. 102

Рис. 102: Сравнение аэродинамических коэффициентов «пузатого» и плоского парусов

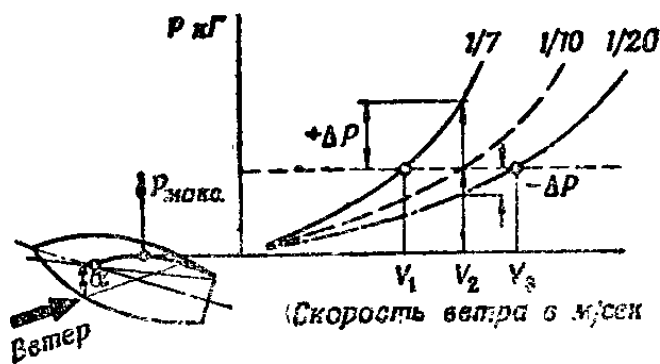


Рис. 103

Рис. 103: Изменение максимальной аэродинамической силы в зависимости от скорости ветра для парусов различной «пузатости»

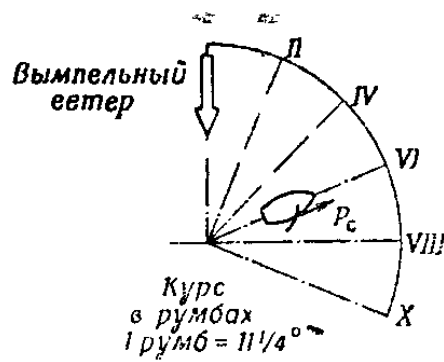
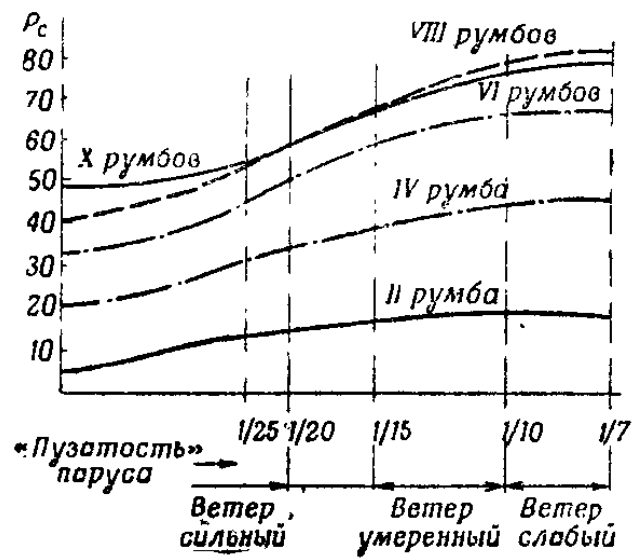
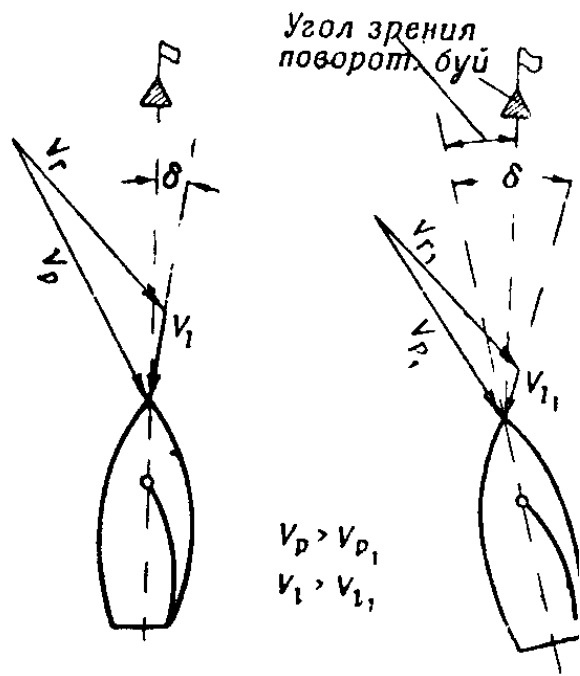


Рис. 104

Рис. 104: Зависимость силы тяги от «пузатости» паруса и курса яхты



Дис 105

Рис. 105: Потеря хода при чрезмерно остром курсе

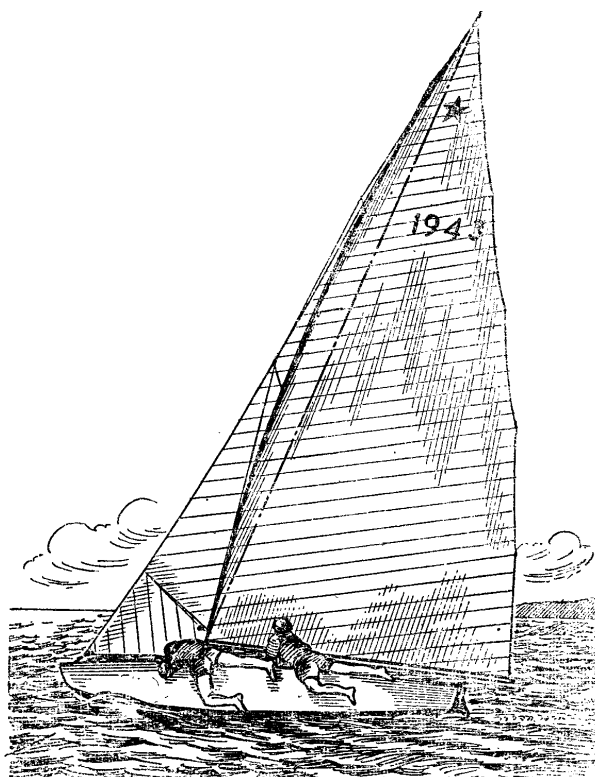


Рис. 106. Изгибание мачты на яхте класса «Звездный» с целью устранения слишком большого «пуза» паруса

Рис. 106: Изгибание мачты на яхте класса «Звездный» с целью устранения слишком большого «пуза» паруса

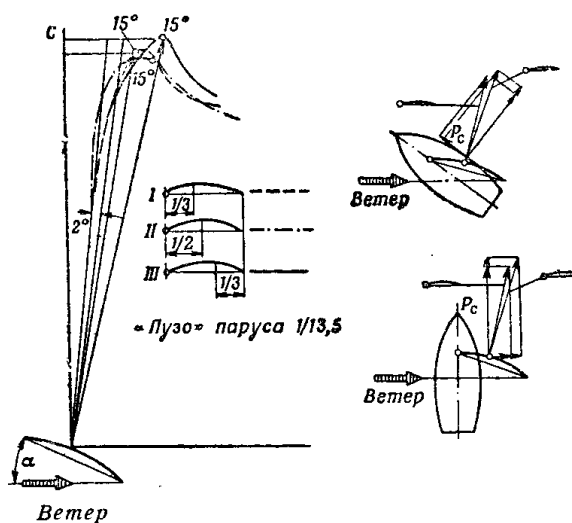


Рис. 107

Рис. 107: Влияние расположения максимальной полноты («пузо») на работу паруса

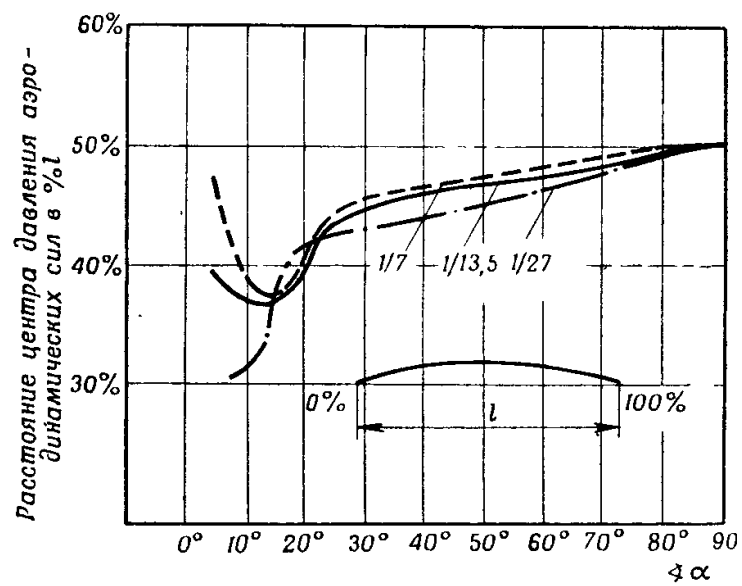


Рис. 108

Рис. 108: Расстояние центра давления аэродинамических сил в зависимости от угла атаки для парусов различной полноты

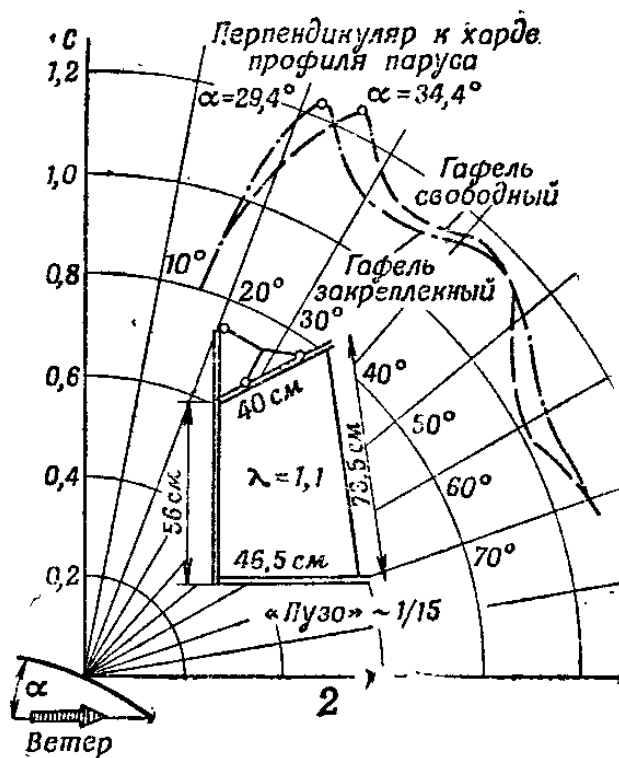
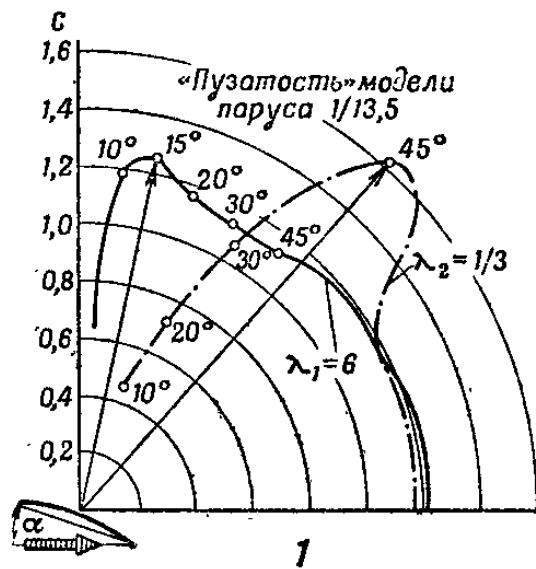


Рис. 109

Рис. 109: Полярные кривые аэродинамических коэффициентов для парусов различной удлиненности и гафельного паруса шхуны «Букау»

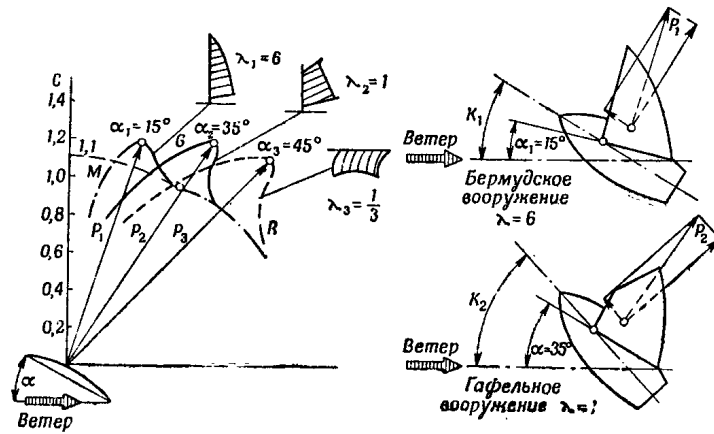


Рис. 110

Рис. 110: Полярные кривые аэродинамических коэффициентов бермудского, гафельного и прямого парусов. Сравнение курсов бейдевинд

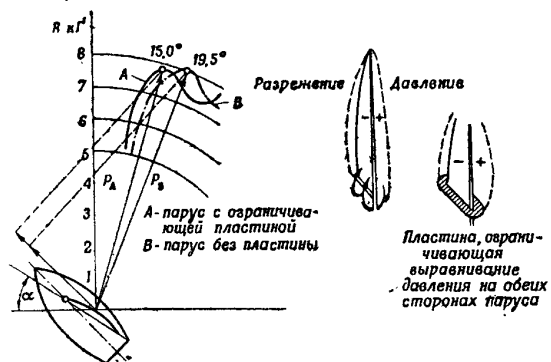


Рис. 111: Влияние ограничивающей пластины на аэродинамическую силу паруса

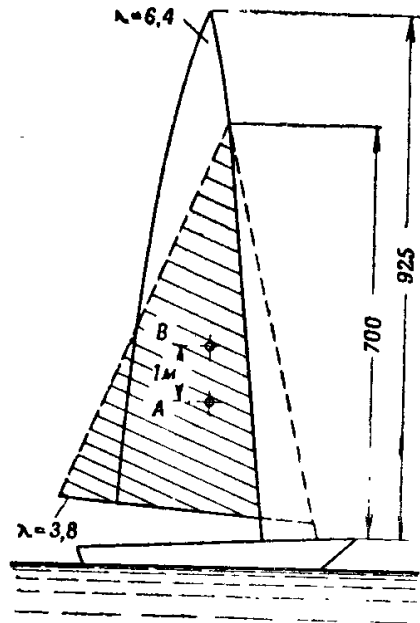


Рис. 110

Рис. 112: Яхта с двумя вариантами парусов различной удлинённости

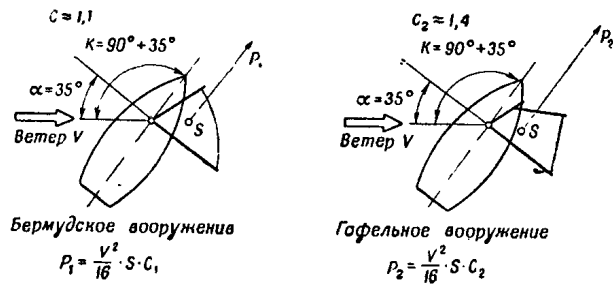


Рис. 113

Рис. 113: Сравнение аэродинамических сил бермудского и гафельного парусов на курсе бакштаг

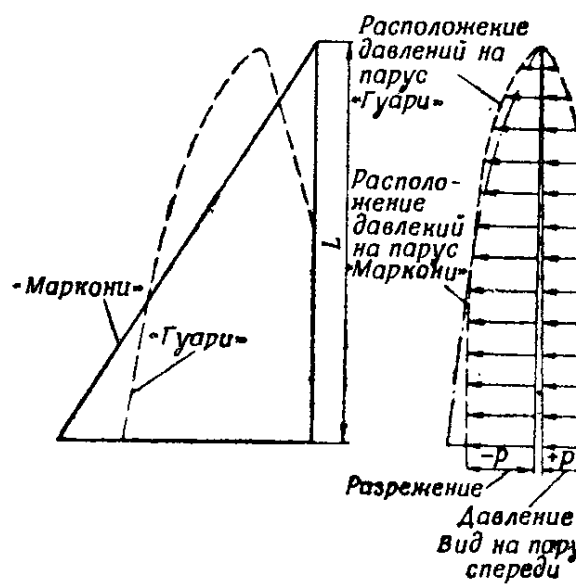


Рис. 114

Рис. 114: Очертания парусов «Маркони» и «Гуари». Распределение давлений на парусе

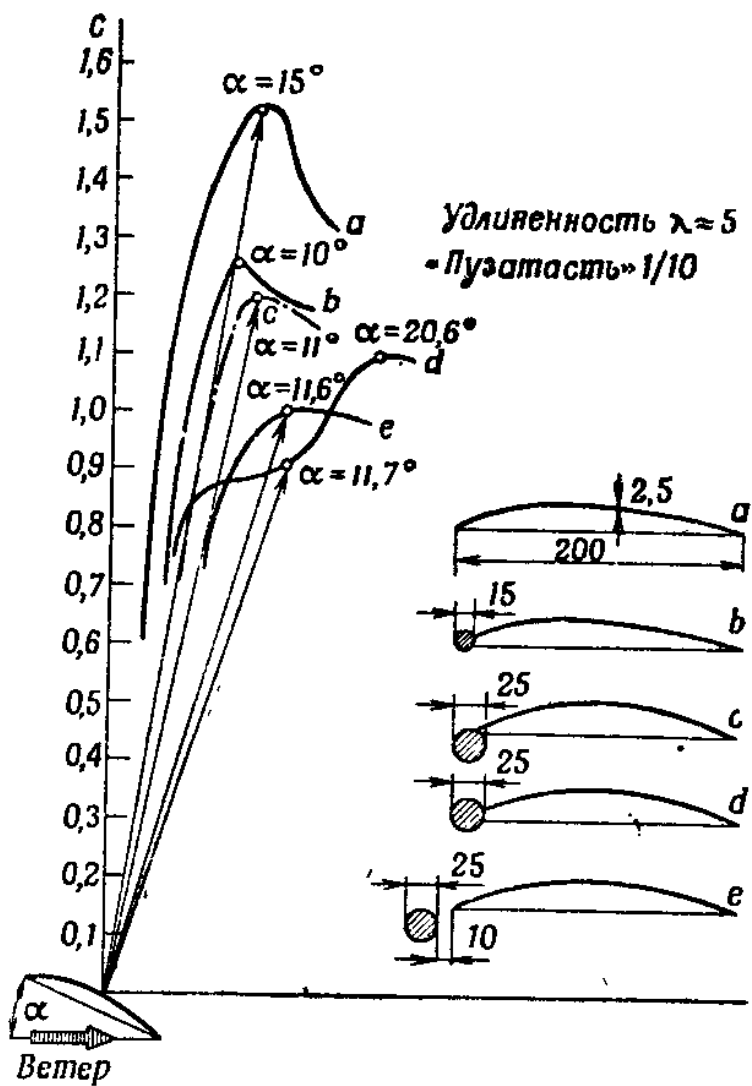


Рис. 115

Рис. 115: Зависимость коэффициента C от угла атаки при различном расположении и величине мачты

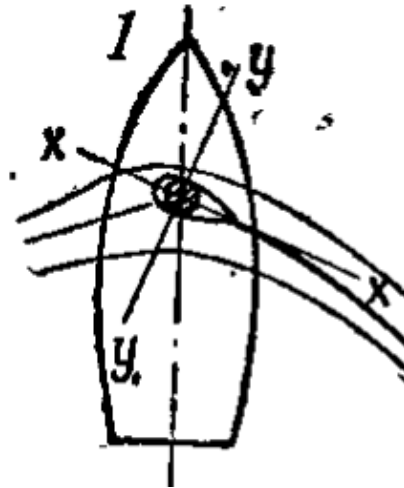


Рис. 116: Профилированная мачта

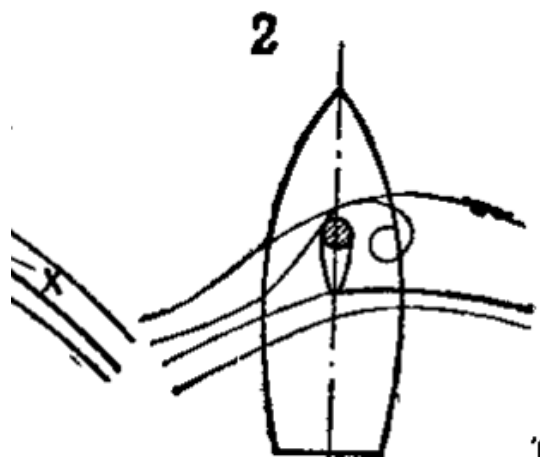


Рис. 117: Парусное вооружение типа Люнгстрема

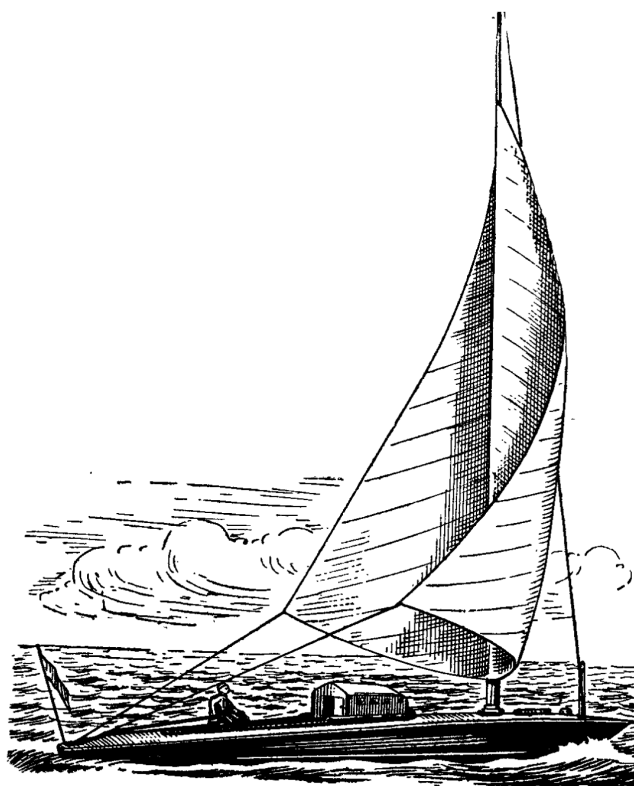


Рис. 118: Парусное вооружение типа «Люнгстрома»

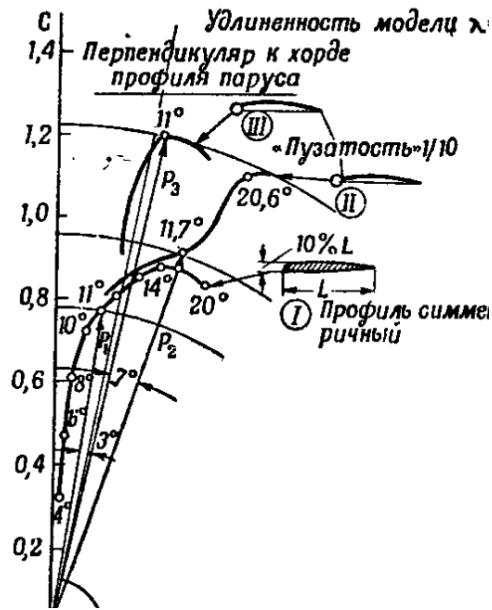


Рис. 119: Полярные кривые аэродинамических коэффициентов для жестких парусов-крыльев

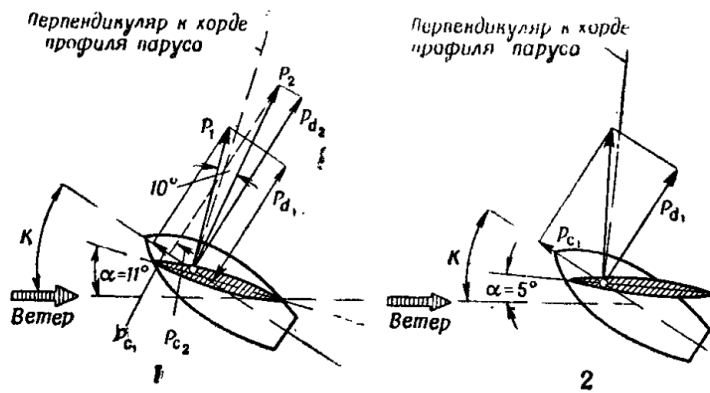


Рис. 120: Разложение аэродинамических сил на яхте с парусом-крылом

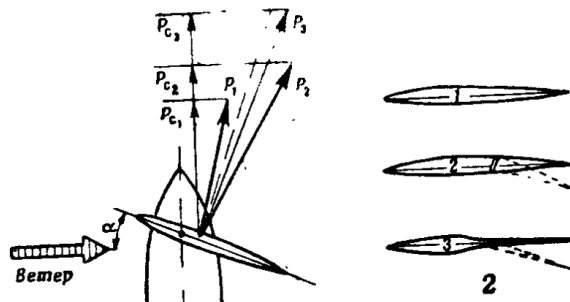


Рис. 121: Сравнение сил тяги трех парусов различного типа

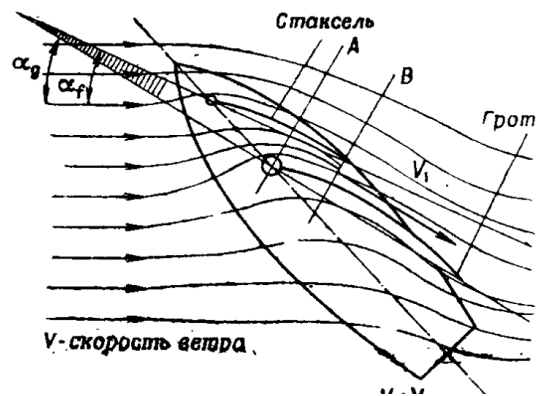


Рис. 122: Эффект щели между стакселем и гротом

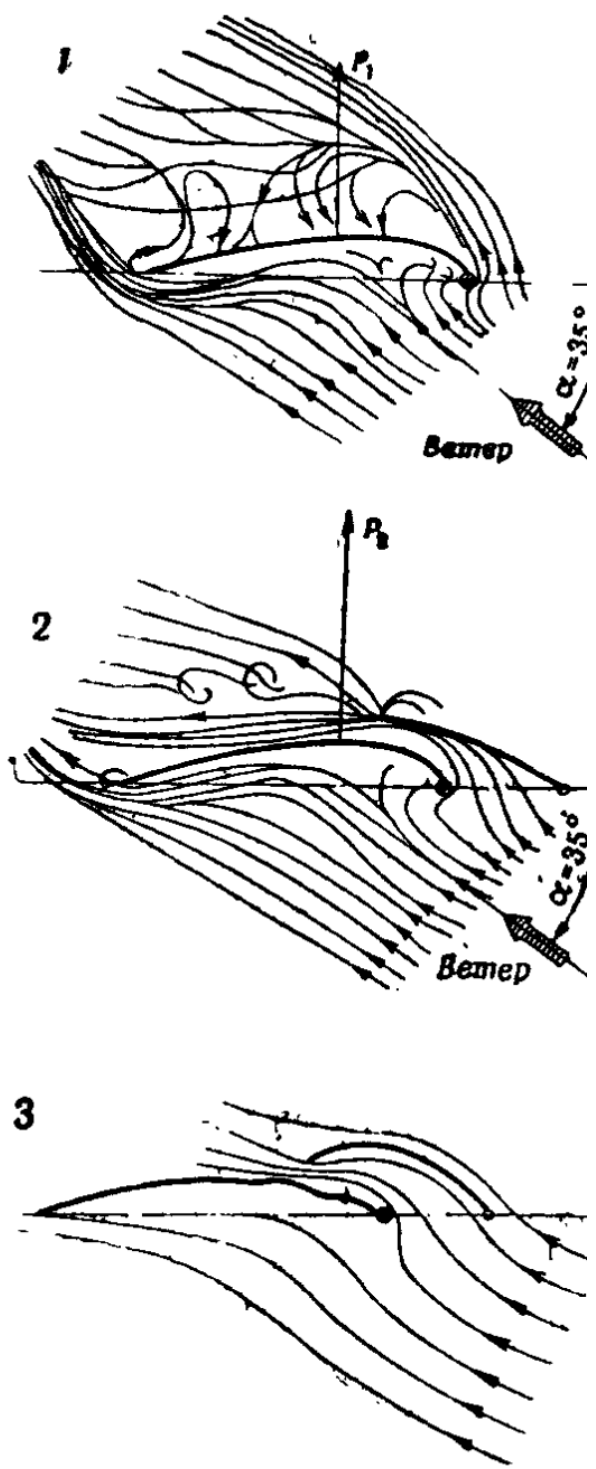


Рис. 123

Рис. 123: Влияние стакселя на обтекание гота

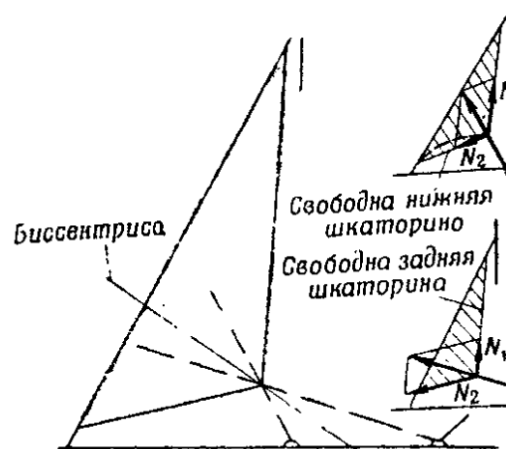


Рис. 124: Расположение кип стакселя и направление тяги шкотов

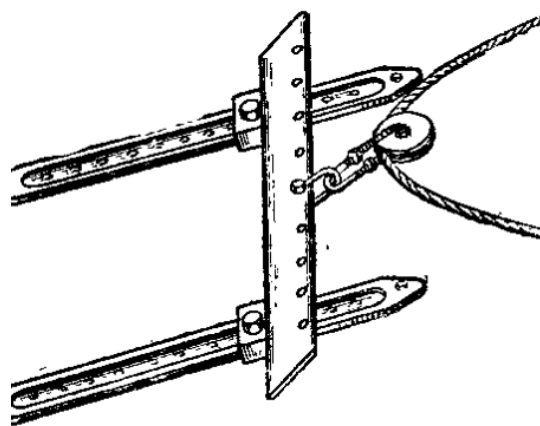


Рис. 125: Конструкция кип стакселя на яхте «Звездного» класса

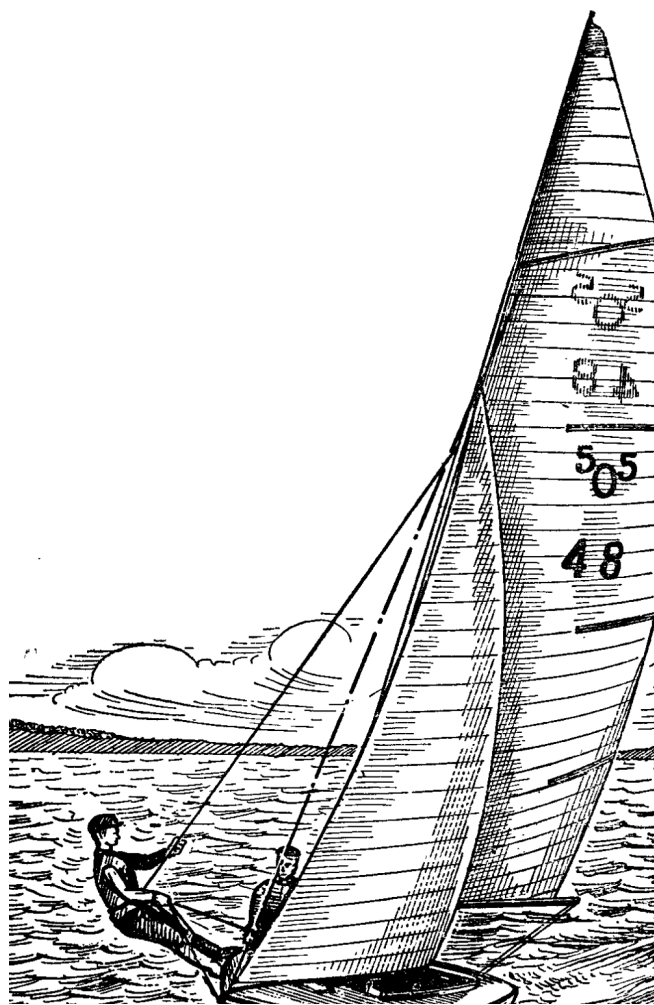


Рис. 126: Изгиб штага на яхте класса «5-0-5»

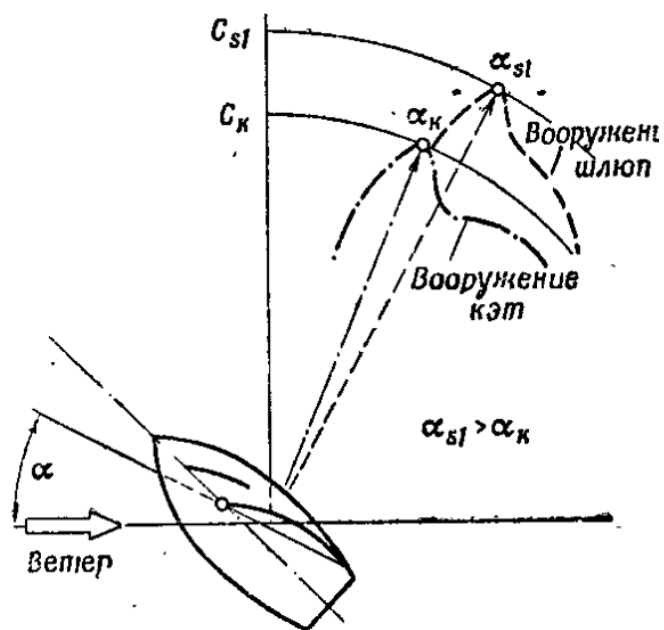


Рис. 127

Рис. 127: Сравнение аэродинамических коэффициентов для вооружения шлюпа и кэта

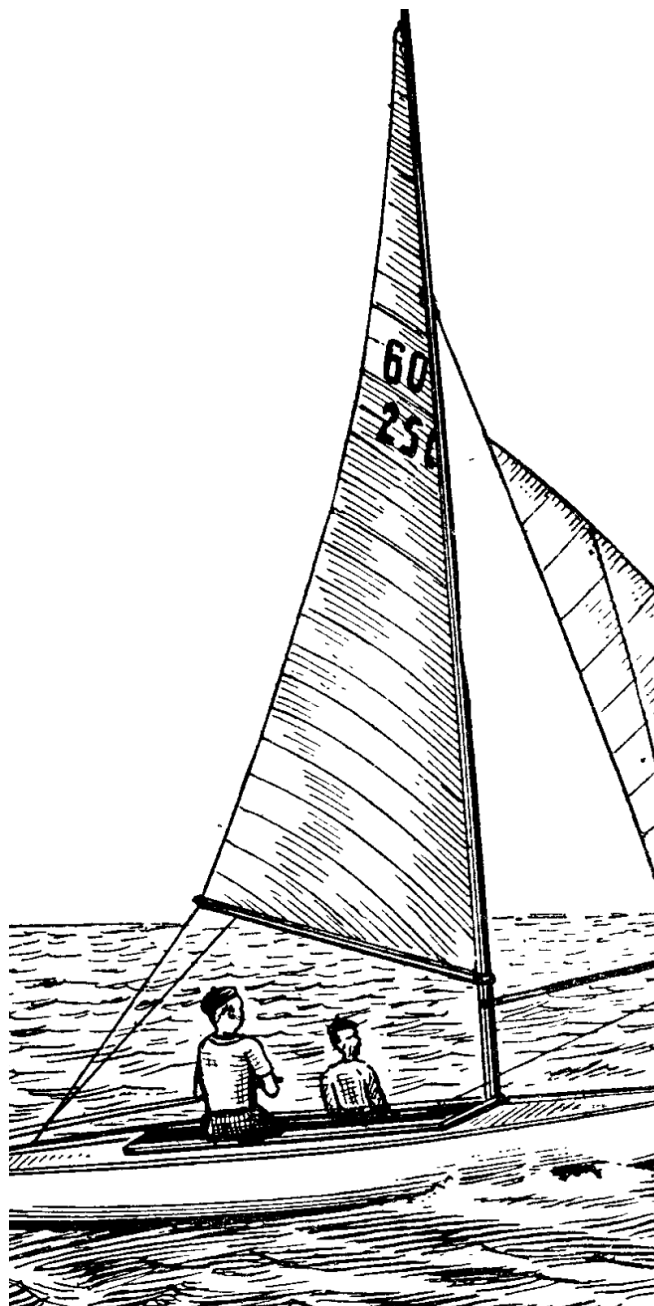


Рис. 128: Вынос стакселя на спинакер-гике на яхте класса «Снайп»

Спинакер

стр. 186

На современных гоночных яхтах стаксель и его разновидности — балун и генуя — на полных курсах заменяются обычно спинакером. Начиная от галфвинда и кончая фордевиндом, спинакер успешно конкурирует со стакселем, давая большую силу тяги. По гоночным правилам, спинакер должен крепиться к мачте посредством спинакер-гика; кроме того, спинакер-гик нельзя нести на подветренной стороне. На рис. 129 (стр. 161) показаны три случая несения спинакера, из которых только первый (1) правилен, а два остальные (2 и 3) недопустимы.

Спинакер-гик надо устанавливать так, чтобы угол между ним и направлением вымпельного ветра сохранялся в пределах 90° . Особенно целесообразно делать проводку спинакер-шкотов ближе к корме на курсах, близких к галфвинду (рис. 130 (стр. 161)). Самый выгодный способ крепления шкотов (поскольку он разрешен гоночными правилами) показан на рис. 130 (стр. 161), 3 (посредством гика-грота). Чем ближе к мачте крепятся шкоты спинакера, тем хуже работают оба паруса, и яхта сильнее «лежит» на руле, стремясь уйти под ветер. К этим выводам не трудно прийти, внимательно рассмотрев разложение сил на рис. 130 (стр. 161).

стр. 187

Усилия команды должны быть направлены на то, чтобы спинакер всегда был наполнен ветром, находился в положении, наиболее выгодном для движения яхты, при котором не ухудшалась бы работа грота. Иногда для улучшения работы нижней части грота одновременно со спинакером несут не генуэзский стаксель, который в этом случае поднимается в более низкое положение, чем обычно.

На яхтах небольших размеров управляют спинакером посредством шкотов и спинакер-гика. На больших яхтах, участвующих в гонках в открытом море, применяется добавочный такелаж, препятствующий свободному движению спинакер-гика. На волне яхта сильно раскачивается и тяжелый спинакер-гик, то поднимаясь, то опускаясь, портит форму спинакера и вредно отражается на его работе. Борются с этим нежелательным явлением, закрепляя свободный конец спинакер-гика брасом и контрбрасом. Как надо работать со спинакером при перемене галса, показано на рис. 131 (стр. 161). Роль браса здесь выполняет один из свободных шкотов спинакера. Чтобы вес спинакер-гика не портил форму спинакера, гик поддерживается на топенанте. Чрезмерное задирание спинакера на очень сильном ветру предупреждается оттяжкой.

Наряду с обычными употребляются спинакеры, у которых по оси симметрии сделано одно или несколько отверстий различной величины (рис. 132 (стр. 162)). Мнения о целесообразности отверстий у спинакеров расходятся, а результаты, показанные в гонках яхтами с такими парусами, тоже не позволяют сделать какой-либо определенный вывод. Полную ясность в этот вопрос внесли экспериментальные исследования моделей парусов. Оказалось, что спинакер с отверстиями дает меньшую силу тяги, чем обычный. При размерах модели (высота паруса — 600 мм, ширина на высоте отверстия — 260 мм) измерения сил дали следующие результаты: спинакер без отверстия — 10,27 кГ, с отверстием диаметром 20 мм — 10,05 кГ, с отверстием диаметром 55 мм — 9,64 кГ.

стр. 188

Итак, независимо от размера отверстия такие спинакеры дают меньшую силу тяги, чем обычные, без отверстий. Почему же они все-таки применяются? Дело в том, что эти спинакеры более устойчивы, меньше раскачиваются из стороны в сторону и, следовательно, лучше держат ветер, легче управляются. Поэтому

стр. 189

конца фордевиндом, спинакер успешно конкурирует со стакселем, давая большую силу тяги. По гоночным пра-

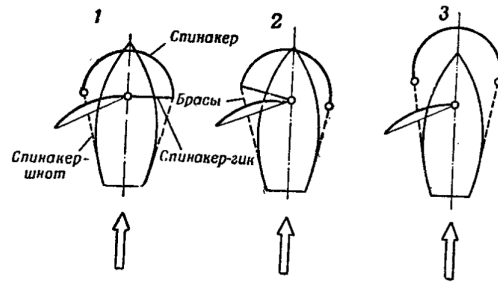


Рис. 129

Рис. 129: Правильное и неправильное несение спинакера

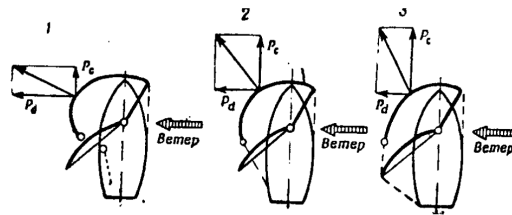


Рис. 130

Рис. 130: Установка спинакер-гика относительно направления вымпельного ветра

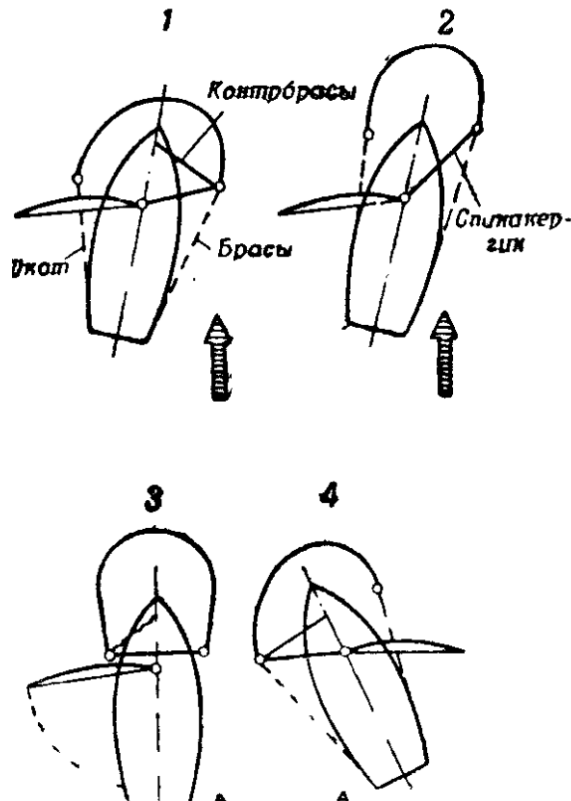


Рис. 131: Работа со спинакером при перемене галса

лусами, тоже не позволяют сделать какой-либо опреде-

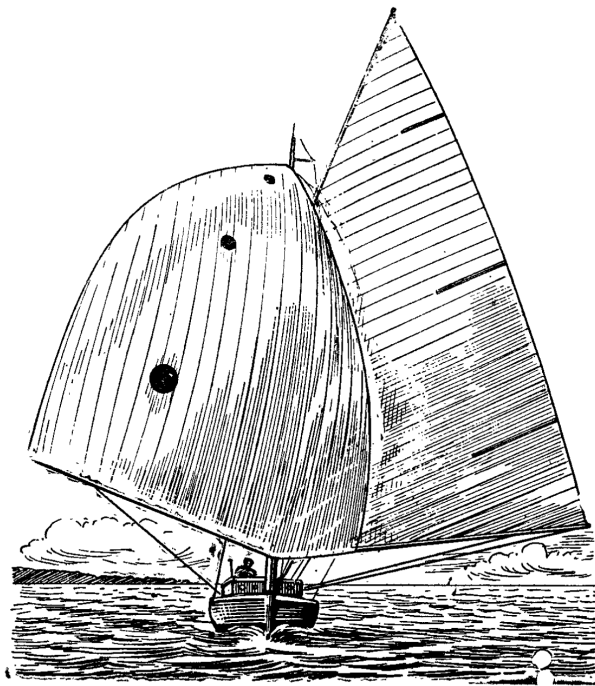


Рис. 132. Спинакер с отверстиями

Рис. 132: Спинакер с отверстиями

некоторая потеря в силе тяги компенсируется более устойчивой работой.

Интересные результаты были получены при измерении возникающих на спинакере аэродинамических сил, когда на некотором расстоянии за отверстием помещали дополнительную поверхность паруса (рис. 133 (стр. 164)). Между основной и дополнительной поверхностями образовался воздушный поток, увеличивающий разрежение по подветренной стороне паруса. Результирующая аэродинамическая сила была больше, чем у обыкновенного спинакера и спинакера с отверстием, но без дополнительной «крышки». Улучшение аэродинамики достигается расширением района вихревых потоков на подветренной стороне такого спинакера с «соплом», так как острые края «крышки» вызывают появление новых вихревых потоков (см. рис. 133 (стр. 164)).

стр. 190

Предварительные исследования показали, что спинакер с «соплом» аэродинамически совершеннее обычного сплошного паруса. С отверстием диаметром 12 см он показал прирост аэродинамической силы на 6,5% против обычного спинакера с той же поверхностью. Сохраняя диаметр «крышки» равным 160 мм, стали увеличивать диаметр отверстия и получили следующие результаты (табл. 7):

Таблица 7:

Диаметр отверстия в спинакере, мм	Величина аэродинамической силы, кГ
55	9,9
120	10,22
160	10,87

На подветренной стороне обычного спинакера по оси симметрии существует «мертвое» пространство, не захваченное вихревым движением. Поэтому коэффициент сопротивления его меньше, чем спинакера с «соплом». На курсе фордевинд эффективность каждого паруса тем больше, чем большая часть его подветренной поверхности охвачена завихренным потоком воздуха.

Площадь спинакера обычно ограничивается правилами класса. По формуле KR величина спинакера определяется следующим способом (рис. ?? (стр. ??)): длина нижней шкаторины равна 180% величины I , длина задней — $0,95\sqrt{I^2 + J^2}$. Если какой-либо размер у спинакера больше допускаемого правилами, формулой KR предусмотрен штраф, увеличивающий гоночный балл яхты.

стр. 191

Применяют спинакер не только на слабых ветрах, но и на сильных; в последнем случае он должен быть шит из более прочного материала и иметь меньшие размеры.

Интересная конструкция «сдвоенного спинакера» была показана на яхте «Сента» во время одной из атлантических гонок. На рис. 134 (стр. 164) схематически дан сдвоенный спинакер, составленный из двух одинаковых передних треугольных парусов, например стакселя и кливера. Такой спинакер значительно удобнее в работе и выгоднее в аэродинамическом отношении. Точка приложения аэродинамических сил находится впереди точки бокового сопротивления корпуса, и яхта с таким вооружением приобретает способность к автоуправлению. Для этого оба паруса устанавливаются под углом 20–25° относительно плоскости, перпендикулярной к продольной оси яхты. Если по каким-либо внешним причинам яхта отклонится от курса фордевинд, один из парусов попадает в аэродинамическую тень другого

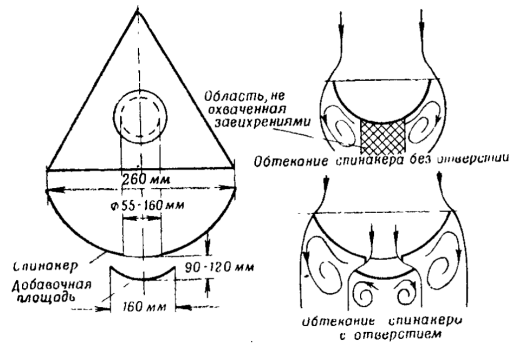


Рис. 133

Рис. 133: Обтекание спинакера с дополнительной поверхностью («крышкой»)

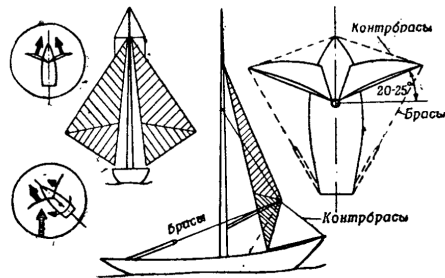


Рис. 135

Рис. 134: Сдвоенный спинакер

и сила тяги у него уменьшается. Очевидно, что при этом возникает момент, стремящийся повернуть яхту в первоначальное положение, когда оба паруса работают в одинаковых условиях и дают одинаковую силу тяги.

Сдвоенный спинакер особенно пригоден для дальних морских гонок и походов, так как значительно облегчает работу команды.

Изготовление парусов

Умением скроить и сшить хорошие гоночные паруса могут похвастаться не очень многие парусные мастера и рулевые. А ведь именно парус делает яхту, и гоночные успехи зависят в основном от его качества. Практикой твердо установлено, что яхта с плохими парусами, даже при отличном управлении, проиграет яхте с хорошими парусами. Поэтому каждый яхтсмен-гонщик не должен жалеть времени и труда для изучения вопросов, связанных с изготовлением парусов. Прежде всего надо научиться правильно оценивать качество своего парусного вооружения. Особенно важно при подготовке к соревнованиям знать условия, в которых они будут проходить, и требования, которым должен отвечать хороший парус.

Большинство спортсменов испытывают некоторую боязнь, удерживающую их от перешивания парусов или шитья новых. Неохотно решаются они и на исправление даже очевидных недостатков паруса, полагаясь больше на совет и помощь квалифицированного парусного мастера. Но даже хорошему мастеру не под силу довести парус до такого идеального состояния, как это может сделать сам рулевой, знающий недостатки своего паруса.

Превосходный пример плодотворной деятельности рулевого в области производства парусов показал неоднократно олимпийский чемпион в классе «Финн» П. Эльвстрем.

Интуицию, опыт и в какой-то мере счастье в деле кроя и шитья парусов можно в значительной степени заменить знаниями, доступными каждому спортсмену, желающему достичь некоторого совершенства в искусстве парусного спорта. Можно не сомневаться, что затраченный труд принесет успех, если парусник будет знать свойства тканей, идущих на изготовление парусов, основы кроя паруса, причины, вызывающие дефекты паруса, и сумеет оценить его аэродинамические достоинства.

стр. 193

Парусные ткани

Хлопчатобумажные ткани До недавнего времени единственным сырьем для выработки парусной ткани (не считая льняной, шедшей иногда на штормовые паруса) был хлопок. Не удивительно, что за многие годы накопился огромный опыт производства и эксплуатации хлопчатых парусов. Вся трудность заключалась в правильном выборе сорта и толщины ткани для того или другого паруса. Теперь с появлением новых, необычных, синтетических тканей не так легко решить, из какого материала следует шить парус. В столкновении нового с прежним также возникают серьезные вопросы из-за незнания технологических свойств тканей. Одни материалы недооцениваются, другие не в меру превозносятся. Хотя будущее, по-видимому, за синтетическими материалами, хлопчатая ткань долго еще будет верой и правдой служить яхтсменам.

Как сырье для выработки парусных тканей хлопок стали широко применять с конца XVIII в. в связи с изобретением новых текстильных машин. С тех пор много поколений парусных мастеров совершенствовало искусство изготовления парусов. Хлопковое волокно обладает большими возможностями в производстве тканей, от самых тонких (батист, муслин) до самых толстых технических тканей. Хлопчатобумажная ткань пригодна для изготовления парусов любого способа (машинным

стр. 194

или ручную), любого размера и для любых условий ветра.

Свойства ткани зависят от длины и тонкости волокна. Длина обычно колеблется от 1,5 до 5,5 см. Тонкость определяется в микронах. Различают тонкое волокно — 14–17 микрон, среднее — до 20 и толстое — свыше 20. По длине волокно делят на короткое — до 2,5 см, среднее — 2,5–3,5 см и длинное — более 3,5 см.

Хорошее парусное полотно должно быть: 1) крепким — выдерживать на разрыв 36 кГ/мм^2 (хлопок) и 70 кГ/мм^2 (лен), 2) плотным (непродуваемым), 3) иметь гладкую поверхность, 4) быть эластичным, 5) иметь хорошую сопротивляемость механическому износу (не истираться) и атмосферным влияниям (солнце, влажность и т. д.).

Паруса из английской парусины, выделанной из египетского хлопка сорта Мако, в значительной мере удовлетворяют требованиям, предъявляемым к безупречной продукции, но все же некоторые их недостатки требуют от рулевого постоянной осторожности и внимания. Эти недостатки следующие:

- а) в зависимости от влажности воздуха изменяются размеры паруса, причем хлопчатая ткань очень гигроскопична;
- б) парус тянется из-за относительно небольшой сопротивляемости растяжению, что ведет к деформации формы паруса (удлинение 6 см на 1 м);
- в) становятся твердыми и жесткими во влажном состоянии;
- г) имеют склонность к загниванию, что сокращает срок их службы.

Как видим, хлопчатый парус нельзя назвать идеальным, но промышленность работает над улучшением свойств ткани, особенно в отношении сопротивления действию атмосферы.

В Англии изобретена пропитка «Бэрэфайр». Она почти не изменяет размеров паруса и делает его совершенно невосприимчивым к воде. Пропитанные паруса можно держать в условиях большой влажности, не боясь загнивания их.

стр. 195

Технические свойства ткани Во время эксплуатации парус подвергается воздействию значительных переменных сил. Они вызывают различные напряжения нитей ткани, которая многократно деформируется, и поверхность паруса теряет правильную форму.

Хлопчатая ткань неодинаково растягивается и садится в различных направлениях (между прочим, так же ведут и многие другие ткани). При раскрое парусная ткань кладется так, чтобы направление наибольшего сопротивления растяжению совпадало с направлением действия наибольших сил.

Неравномерное растяжение ткани связано непосредственно с технологией производства.

Во время тканья нитки утка проходят, переплетаясь между нитками основы, получающими большую извилистость. Поэтому по основе ткань тянется больше, чем по утку.

Показатели сопротивления ткани растяжению даны в табл. 8:

При раскрое паруса прежде всего надо смотреть, чтобы наибольшие усилия впоследствии не пришлись в направлении максимальной растяжимости ткани, т. е. не совпали с направлением наименьшего ее сопротивления.

Если на парус действует аэродинамическая сила P (рис. 135 (стр. 169)), то при определенном положении паруса этой силе противостоит такая же по величине

Таблица 8:

Продолжительность испытания, час	Растяжение по основе, %	Растяжение по утку, %	Растяжение по диагонали, %
0,5	9	7,5	24
6	9	7,5	24
24	10,5	7,85	24,25
1200	12	9,0	25

и обратная по направлению реакция R . Поскольку аэродинамическая сила передается нитям ткани, то реакцию R надо разложить по правилу параллелограмма на две силы, направленные вдоль поверхности паруса.

стр. 196

Когда сила натяжения шкотов S равна силе растяжения ткани паруса T , система находится в равновесии. Отсюда следует, что силы, растягивающие ткань паруса, больше аэродинамической силы P . Величина этих сил тем больше, чем более плоским становится грот, а это бывает при острых курсах с туго выбранными шкотами. На полных курсах подъем гика и уход верхней части паруса под ветер не вызывает столь сильных напряжений ткани. Следует всегда помнить, что наибольшее напряжение парус испытывает на участке задней шкаторины вдоль линии $A-A$. Поэтому ткань должна лежать в парусе таким образом, чтобы в этом направлении она сильнее всего сопротивлялась растяжению, а следовательно, по линии $A-A$ должны идти нитки утка. Это основное правило при раскрое любых парусов. Намереваясь шить новый парус, надо прежде всего уяснить себе величину и направление сил, которые будут на него действовать, а потом уже начинать кроить.

Кроме способа раскроя, который сам по себе не может предупредить возможную в будущем деформацию готового паруса, необходимо брать ткань достаточной прочности. Прочность ткани выбирается в зависимости от величины и назначения паруса и условий, в которых ему предстоит работать. Многолетней практикой выработаны определенные указания, ими и следует руководствоваться, выбирая парусину для тех или других условий.

Прочность парусины соответствует ее толщине, что обычно характеризуется весом 1 м^2 ткани.

стр. 197

В табл. 9 указан ориентировочный подбор парусины для условий открытого моря; для плавания на внутренних водоемах можно брать более легкую ткань.

В табл. 10 даны ориентировочные указания для подбора ткани на грот (по удельному весу ткани).

Прочность и качество парусной ткани зависит от количества нитей основы или утка в 1 см полотна. В ткани хорошего качества должно быть: при весе 100 г/м^2 — 40 нитей, при весе 200 г/м^2 — 30. Если количество нитей меньше указанного, полотно менее прочно, легче теряет правильную форму и больше продувается ветром. Неплотная, продуваемая ветром ткань заметно снижает аэродинамические свойства паруса из-за нежелательного выравнивания давлений на обеих его сторонах.

стр. 198

Выбирая парусную ткань по толщине, надо помнить и учитывать следующие обстоятельства (табл. 11).

Многие известные яхтсмены предпочитают паруса из более тяжелой ткани, так

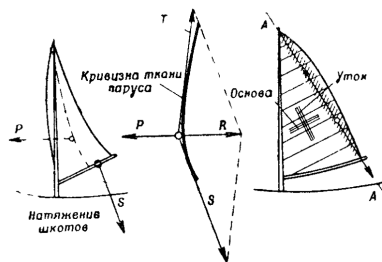


Рис. 136

Рис. 135: Силы, действующие на нити ткани паруса

Таблица 9:

Паруса	Площадь, м ²							
	5,5	9,3	13,9	19,5	26	34	45	60
Грот, бизань	200	240	270	340	380	400	480	
Штормовые стаксели, триселя	240	380	460	480	510	580	615	
Передние паруса для ветра 5–6 баллов	240	270	340	380	420	460	480	510
Паруса для среднего ветра 3–4 балла (генуа, стаксели, балун-кливер)	140	170	200	240	270	300	340	380
Хлопчатка для легкого ветра 1–2 балла	85	100	120	140	155	170	190	200
Паруса для легкого ветра 1–2 балла (дакрон)	70	85	100	120	120	140	155	170
Спинакер (нейлон, дакрон) ..		50	50	50	50		60	
Спинакер (хлопчатка наивыс- шего качества)		60	60	60	85	85	85	

Таблица 10:

Площадь паруса, м ²	Вес ткани, г/м ²
10	165–200
15	175–240
20	250–340

Таблица 11:

Парус из толстой ткани	Парус из тонкой ткани
Больше времени на выхаживание	Времени на выхаживание надо меньше
Более прочный и устойчивый	Прочность и стабильность меньше
Лучше сохраняет форму независимо от атмосферных условий	Хуже сохраняет форму при сильных ветрах и влажности
Сохраняет постоянное «пузо» при сильном и слабом ветре	С ростом силы ветра увеличивается «пузатость» паруса
Более прочен на разрыв	Менее прочен на разрыв
Заметно тяжелее по весу	Заметно легче по весу

как с ними меньше хлопот. Это совершенно правильно, если обходиться одним комплектом парусов, но в гонках будет иметь преимущество рулевой, имеющий несколько комплектов, изготовленных для различных условий ветра. Например, чемпион мира в «Звездном» классе итальянец А. Страулино приезжал на гонки с двенадцатью комплектами парусов, которые он ставил в зависимости от условий.

Синтетические ткани Недостатки хлопчатых тканей были причиной поисков новых материалов для парусов. Обратились к синтетическим тканям. Впервые парус из синтетической ткани появился на яхте «Рэйнджерс» в гонках на кубок в 1937 г. Это был огромных размеров балун-стаксель, изготовленный из нового синтетического материала.

стр. 199

Предполагалось, что новые синтетические ткани с успехом заменят хлопчатую парусину. Но по мере освоения и накопления опыта использования синтетических тканей вскрылся ряд присущих им недостатков. Жесткость, толщина новых тканей доставляли много затруднений. Шить из них было трудно не только вручную, но и на машине, а новые, еще плохо изученные, технические свойства требовали изменения обычных методов раскроя и шитья.

Найлон-перлон (полиамидная смола). Вначале казалось, что найлон будет идеальным парусным полотном, но это предположение не подтвердилось. Найлон в два раза прочнее на разрыв, чем хлопчатое полотно, хорошо противостоит загниванию, истиранию, обладает превосходной гладкостью и непромокаемостью. Но найлон сильно тянется и мокнет, особенно во влажной атмосфере. В дождливую и ветреную погоду нейлоновый парус сильно деформируется, а его «пузо» заметно увеличивается. Влажный найлон утрачивает около 15% первоначальной прочности. Наоборот, в сухую солнечную погоду нейлоновые паруса становятся более жесткими. Найлоновая ткань плохо переносит действие ультрафиолетовых лучей солнца. Пока это не было известно, нейлоновые паруса рулевые оставляли на гике, так как загнивания бояться нечего и следовательно, лучше оставить парус на воздухе, чем скручивать и прятать в мешок. За два сезона такого обращения паруса в сущности были испорчены: под влиянием солнца нейлоновые паруса сперва твердели, потом начали коробиться и, наконец, крошиться.

Как материал для основных парусов найлон не оправдал ожиданий спортсменов; из него изготавливаются только легкие дополнительные паруса: спинакеры, балуны и др.

Орлон (полиакриловая смола). В 1948 г. появилась новая синтетическая ткань — орлон. Первые же испытания показали, что ткань из орлона, гладкая и плотная, прочнее на разрыв, чем парусина, хорошо сопротивляется гниению, совершенно свободна от недостатков нейлоновой ткани, так как не боится солнца и влаги. Парус можно шить сразу по готовым размерам, не опасаясь последующего вытягивания. Он сохраняет свою форму и «пузо» независимо от погоды и силы ветра.

Но и орлоновые паруса имеют серьезные недостатки. Прежде всего ткань эта очень непрочна по отношению к истирающим усилиям, гораздо хуже хлопчатой парусины. Поэтому из орлона теперь шьют преимущественно спинакеры паруса небольших размеров (от многократного складывания он портится). Прочность орлона на разрыв больше, чем у хлопчатки, но на 40% меньше, чем у нейлона.

Тепловой обработкой орлоновой ткани при 200° удастся сделать ее еще более гладкой, прочной, плотной и выносливой.

Дакрон (терилен — полиэстровая смола). Дакроновая ткань появилась в 1950 г. Она обладает всеми достоинствами нейлона и орлона, но свободна от их недостатков. Дакроновая ткань отличается большим сопротивлением на разрыв, на истирание, невосприимчивостью к ультрафиолетовым лучам и влажности, превосходной гладкостью и непродуваемостью, легким весом.

В противоположность нейлону и орлону, дакроновая ткань подается шитью почти как хлопчатая парусина. Паруса из дакрона или терилена надо сразу проектировать и кроить на полный размер, без расчета на последующее выхаживание, как у нейлона и хлопчатки. Шить надо дакроновыми нитками, так как хлопчатые сравнительно с дакроновыми недопустимо слабы. Вместо сшивания полотнищ их можно соединять посредством электрического подогрева шва.

Дакроновая ткань весит на 40% меньше хлопчатой парусины той же прочности, а орлоновая — на 20%. Стоит дакроновая ткань примерно на 20% дороже хорошей хлопчатой парусины.

Парусная практика последних лет подтвердила прекрасные качества тросов из синтетических волокон. Например, дакроновые тросы, очень эластичные и нетянущиеся, служат в четыре-пять раз дольше лучших манильских тросов.

Необходимо отметить, что синтетические ткани только начали свою жизнь, и, безусловно, их свойства будут совершенствоваться. Но и хлопчатая парусина далеко не потеряла своих позиций: технология хлопчатых тканей совершенствуется, и свойства парусины улучшаются.

Основы раскроя парусов

Рассматривая четырехугольный парус, мы видим, что под действием ветра он приобретает некоторую «пузатость». Прямые наружные края его изгибаются, и контур несколько изменяется (рис. 136 (стр. 173), I). Стрелка прогиба поверхности паруса f получилась из-за укорочения первоначальной ширины паруса AB на величину $2x$. Если бы мы желали сохранить края паруса прямыми и одновременно получить выпуклость поверхности паруса на величину стрелки f , нам пришлось бы добавить ткани, как указано на рис. 136 (стр. 173), II. Запас ткани, необходимый для получения заданного «пуза», можно определить спрямлением дуги, находящейся между точками I–2. Расстояние между отрезками AB и I–2 дает величину необходимого запаса ткани в этом сечении.

Приведенный пример знакомит нас с основным правилом, которым надо руководствоваться при раскрое не слишком «пузатых» парусов.

Раскрой грота Возьмем для примера бермудский грот, более или менее жестко натянутый между мачтой и гиком. Если мы решили получить какое-то определенное «пузо», нам при раскрое паруса надо соответственно добавить ткани по передней и нижней шкаторинам. Добавлять ткань надо пропорционально в двух направлениях $A-A$ и $B-B$ (рис. 137 (стр. 173), a), в противном случае на парусе будут образовываться фалды. Если дать ткань только по передней шкаторине, фалды будут идти по направлению $A-A$, т. е. туда, где не хватает материала. Фалды свидетельствуют о наличии в ткани направленных напряжений в результате неравномерной работы ниток утка и основы. Фалды указывают также на то, что при раскрое паруса были допущены ошибки. Устранить фалды можно только тогда, когда при раскрое паруса создаются условия для равномерного и плавного распределения напряжений между всеми нитями ткани паруса.

Прежде чем кроить парус, надо внимательно проштудировать все указания правил для данного класса яхт. Там даются не только окончательные размеры, которые должен иметь парус во время обмера, но и ограничения, касающиеся веса и качества ткани, и другие указания, невыполнение которых выводит яхту из класса.

На рис. 138 (стр. 174) даны теоретические размеры паруса швербота «Финн», проверяемые мерителями перед гонками. В действительности кроить парус придется с учетом изменения размеров хлопчатой ткани во время выхаживания. На рис. 139 (стр. 174), I наглядно показана разница между парусом, только что скроенным, и парусом, находящимся и растянутым по мачте и гикку. Внешние очертания паруса, как мы видим, значительно отличаются друг от друга.

Передняя шкаторина кроится несколько меньших размеров, чем указано в чертеже готового паруса, с учетом ее вытяжки при выхаживании.

Следует особо подчеркнуть, что чаще всего парусные мастера шьют парус с расчетом на слишком большую вытяжку передней шкаторины (4–6%), которая практически не достигается, и в результате гоночные паруса получаются меньших размеров, чем разрешено правилами класса. Редко, когда новый парус доходит до верхней контрольной марки на мачте. Часто рулевой вытягивает фал как только

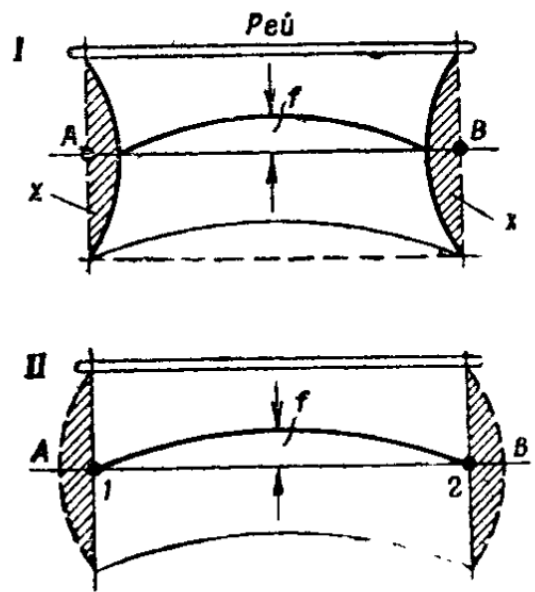


Рис. 136: Основы раскроя парусов

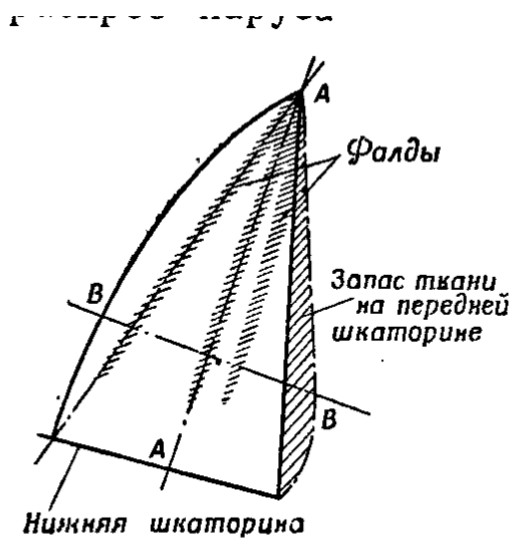


Рис. 138

Рис. 137: Раскрой грота

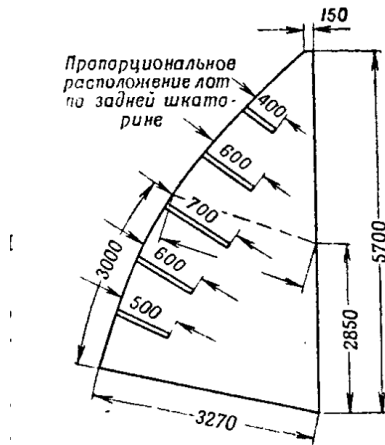


Рис. 139

Рис. 138: Теоретические размеры паруса

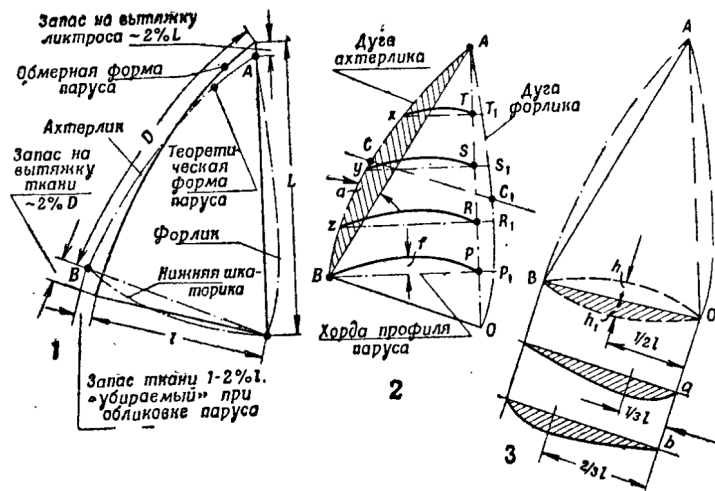


Рис. 140

Рис. 139: Раскрой паруса

может, чтобы дотянуть до марки и увеличить площадь паруса, портя этим парус, поскольку получаются очень неравномерные напряжения. Форма паруса искажается. Определяя размеры паруса в раскрое, следует рассчитывать на вытяжку шкаторины не более 2% от обмерных размеров. Ликовочный трос рекомендуется до ликовки растянуть и пропитать против намокания, тогда он не будет чрезмерно тянуться и садиться во время эксплуатации.

Приступая к раскрою паруса, следует помнить основное правило: лучше скроить и сшить парус несколько больших размеров и потом его исправлять, чем меньших — и потом пытаться силой дотягивать его до нужных размеров, на рангоуте. В первом случае всегда можно добиться отличного гоночного паруса, во втором же — никогда.

стр. 204

Нижней шкаторине при раскрое, наоборот, дается размер несколько больше обмерного, так как при выхаживании паруса она имеет тенденцию укорачиваться вдоль гика. Этот небольшой припуск ткани по нижней шкаторине распределяется по лику во время обливки.

Окончательная длина лика нижней шкаторины не должна выходить за марку на гике. Шкотовый угол несколько уходит кверху, но после выхаживания становится на место.

Задняя шкаторина кроится меньшего размера, чем в обмере. Насколько надо уменьшить размер шкаторины в крое, зависит от качества парусины. При плохом качестве ткани задняя шкаторина может вытянуться даже на 10% своей первоначальной длины. Если парусина хорошего качества и достаточно толстая, то на вытяжку достаточно прибавить 2–4%.

Не обладая большим опытом и знанием свойств парусины, надо помнить, что экономия на материале может потом дорого обойтись. Сшить хороший парус с первого раза, так же как и сшить хороший костюм без примерки, одинаково трудно, если не невозможно.

Задавшись определенными допусками в определении размеров паруса, приступим к вычислению длины сечений поверхности паруса, чтобы установить, какой запас ткани надо дать по передней и нижней шкаторинам для образования желаемого «пуза».

Сделаем чертеж паруса по размерам правил класса в масштабе 1 : 5 или 1 : 10. Учитывая допуски на вытягивание и усадку, определяем основные размеры паруса в раскрое, т. е. OA , OB и AB (рис. 139 (стр. 174), 2). Теперь делим площадь треугольника OAB рядом параллельных линий мачты. На полученных отрезках $x-T$, $y-S$, $z-R$ и $B-P$ вычерчиваем желательный профиль паруса, его «пузо».

Предположим, что «пузатость» паруса должна быть равной 1 : 10. Вспомнив из предыдущего изложения, что такое «пузо» должно быть расположено посередине ширины паруса. На отрезках $x-T$, $y-S$, $z-R$, $B-P$ вычерчиваем нужное «пузо» так, чтобы его стрелка приходилась посередине отрезков. Стрелка «пуза» f вычисляется как $\frac{1}{10}$ длины хорды соответствующего сечения паруса, т. е. на отрезке OP она будет равна $\frac{1}{10}$ этого отрезка.

стр. 205

Запас ткани, который должен быть оставлен по передней шкаторине для получения заданного «пуза», определяем, например, двигаясь по профилю паруса от O к мачте. На полученных точках T_1 , S_1 , R_1 и P_1 служат для построения кривой AT_1 , S_1 , R_1 , P_1 , O , определяющей форму и окончательные размеры в крое передней шкаторины, по которой будет ликоваться парус.

Определив форму передней шкаторины, надо проверить форму задней шкаторины, с тем чтобы размер CC , определяемый по правилам класса (например, в классах «Финн», «Звездный», «Пират»), не оказался укороченным. Следует всегда оставлять небольшой запас ткани, который во время выхаживания паруса пропадает.

В недалеком прошлом наблюдалось настойчивое желание увеличивать площадь паруса за счет большой кривизны задней шкаторины. Это вызывало большие трудности: шкаторина заворачивалась под ветер, форма поверхности паруса портилась. Выгоды от увеличения поверхности не покрывали потерь из-за ухудшения аэродинамических свойств паруса. Ориентировочно величина стрелки кривизны задней шкаторины паруса для «Олимпиака» можно взять 330 мм, а для «Пирата» — около 200 мм.

Парус работал бы значительно лучше, если бы его нижняя шкаторина не становилась совершенно прямой, вытягиваясь по гикку, поскольку при этом выгодная сферическая форма паруса превращается в плоскую. Было попытки сделать гик таким, чтобы «пузо» нижней части паруса сохранялось нужное «пузо», однако гик такой конструкции получается сложным и дорогим, а если применяется, то только на отдельных гоночных яхтах.

Плавный переход сферической поверхности паруса к прямому гикку достигается оставлением некоторого запаса ткани по нижней шкаторине (рис. 139 (стр. 174), 3).

стр. 206

Величину этого запаса возьмем в пределах 40–50% высоты профиля паруса h , хордой которого будет длина нижней шкаторины, обтянутой по гикку, т. е. отрезков OB .

Если, например, длина шкаторины по гикку равна 3 м, а «пузатость» — $1/10$, то наибольшая высота (стрелка) профиля паруса на этой длине будет $h = 30$ см. Чтобы переход от «пуза» к прямому гикку сделать плавным, надо брать такой запас материала, при котором наибольший подъем дуги h_1 равнялся бы 40–50% h , т. е. был равен 12–15 см.

Максимальное удаление дуги от хорды (лик, иначе, стрелка h_1) не должно обязательно приходиться на $1/4$ длины гика, считая от мачты, как это рекомендуют многие наставления по раскрою и шитью парусов, но, по меньшей мере, на его середину, а может быть, и дальше к ноку гика (см. рис. 139 (стр. 174), 3).

Величина и форма кривизны нижней шкаторины играет большую роль в образовании окончательной формы паруса и его аэродинамических свойств. Поэтому лучше всего кривизну нижней шкаторины устанавливать экспериментальным путем, но рассчитывать сразу получить ее наилучшую форму. Это особенно справедливо, если парус шьется из ткани, недостаточно изученной, и если неизвестна гибкость самого гика и мачты. Тогда следует обликотывать парус только по передней шкаторине, а нижнюю только легко примётать с запасом ткани.

Когда парус поднят на мачте и растянут по гикку, регулируют запас по нижней шкаторине, добиваясь желательной формы всего паруса.

Когда стрелка нижней шкаторины h_1 расположена на $1/4$ длины гика, парус проявляет склонность становиться излишне плоским в нижней своей части (ближе к задней шкаторине), и на сильном ветре эту часть отдувает под ветер.

Если мачта жесткая, лучше всего располагать стрелку h_1 нижней шкаторины посередине ее длины. Для гибкой мачты такое расположение стрелки уже не будет выгодным; на яхтах класса «Финн» и «Звездный» с эластичными мачтами стрелка

нижней шкаторины должна быть отодвинута ближе к ноку гика примерно на $\frac{2}{3}$ длины нижней шкаторины, считая от мачты. Когда мачта гнется, уменьшается «пузо», и парус становится более плоским скорее всего около задней шкаторины, а дело может дойти до заворачивания ее под ветер. Чтобы предупредить это, надо оставить бо́льший запас ткани в районе задней шкаторины.

Бо́льшее влияние на уменьшение «пуза» паруса оказывает эластичность гика, особенно при сильных ветрах.

Как учитывать эластичность мачты Рассмотренный способ определения запаса ткани по передней шкаторине был рассчитан на создание «пуза» паруса, работающего на жесткой мачте. Жесткость мачты достигается в основном ее креплением посредством стоячего такелажа.

В современных гоночных яхтах часто используются эластичные мачты, которые на сильном ветру заметно изгибаются. Величина изгиба мачты зависит от ее собственной жесткости и конструкции такелажа. Чтобы парус сохранял желательную форму на гнущейся мачте, надо уже при раскрое учесть степень и характер ее изгиба.

На рис. 140 (стр. 178) схематично показаны мачты яхт классов «Финн», «Олимпик» («О-36») и «Звездный», изогнутые, как на лавировке. Заштрихованная площадка между дугой изогнутой мачты и хордой дает как раз запас парусной ткани, который потом пропадает из-за изгиба мачты. Не трудно видеть, что величина, форма и расположение запаса ткани для компенсации изгиба мачты совсем не похожи на величину, форму и расположение запаса ткани, предусмотренного для образования «пуза».

На лавировке парус будет терять «пузо» неравномерно и форма поверхности паруса будет полностью искажена. Чтобы избежать таких грубых ошибок, надо уже при раскрое учитывать характер и степень изгиба мачты. Суммарная кривизна передней шкаторины C (рис. 141 (стр. 178)) при раскрое паруса должна получиться в результате сложения запаса ткани, идущего на образование «пуза», показанного кривой A , и запаса для компенсации изгиба мачты, показанного кривой B .

Проектируя парус на гибкую мачту, надо помнить, что на полных курсах, когда мачта гнется мало или совсем не гнется, у паруса получается значительно бо́льшее «пузо», чем на лавировочных, так как весь запас, предусмотренный на компенсацию изгиба мачты, увеличивает полноту паруса. Следовательно, такой парус, хорошо работая на лавировке, на полных курсах работает хуже.

Таким образом, эластичные мачты не свободны от недостатков. Однако их достоинства, а именно способность уменьшать «пузо» паруса на сильном ветру во время лавировки — перекрывают их недостатки.

Если надо скроить очень «пузатый» парус, пользуются другим способом образования «пуза» — посредством ушивок ткани в швах, как показано на рис. 142 (стр. 178). Расположение и ширина ушивок выбираются в зависимости от формы поверхности паруса; ушивки всегда шире в нижних частях паруса и к мачте и более узки наверху и к задней шкаторине.

Этот способ раскроя позволяет получить наиболее плавную форму поверхности паруса и уменьшает опасность возникновения фалд во время обливки длинных передних шкаторин.

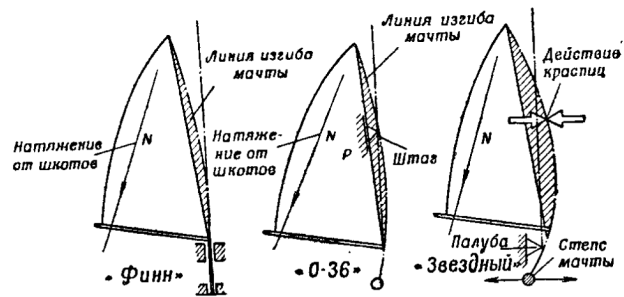


Рис. 141

Рис. 140: Как учитывать эластичность мачты

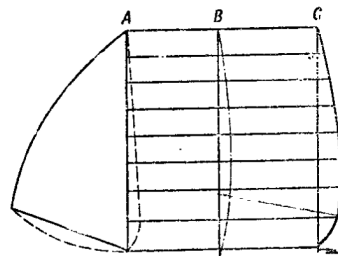


Рис. 142

Рис. 141: Суммарная кривизна передней шкаторины



Рис. 143

Рис. 142: Образование «пуза» посредством ушивок

Шитье грота Приготовив чертеж внешнего контура паруса, можно приступить к раскрою. Парусина должна быть выбрана соответственно назначению паруса. Ширина парусины разная — от 80 до 140 см. Ширина полотнищ паруса тоже разная: для маленьких яхт — от 15 до 35 см, для больших парусов — значительно больше.

Надо сказать, что парус, сшитый из узких полотнищ, получается более плавной формы и лучше сопротивляется деформации. Парусина режется на полотнища нужной длины, которые сметываются между собой. В зависимости от ширины парусины и желательной ширины полотнищ паруса на парусине делаются долевые закладки шириной 1,5–3 см, сшиваемые по краям. Например, при ширине парусины 88 см (а ее следует разделить на три полотнища в парусе) на швы пойдет — $2 \times 2,5 = 5$ см, на одну закладку — $2 \times 2 = 4$ см, а на две — 8 см. Ширина оставшейся парусины $88 - 13 = 75$ см. Ширина каждого полотнища на парусе — 25 см (рис. 143 (стр. 180)).

стр. 210

Сметанные полотнища парусины укладываем на вычерченный на полу контур паруса, начиная от галсового угла, так чтобы швы были перпендикулярны хорде задней шкаторины (см. рис. 144 (стр. 180)).

Припомним, что такое расположение ткани делается из соображений прочности и выносливости паруса. Равномерно растягиваем ткань по всей поверхности на плоском полу и, оставляя запас 5–6 см, отрезаем излишки ткани по наружному контуру паруса. Запас необходим для образования прочной шкаторины и надежного обшивания ее.

Прежде чем снять ткань с пола, нужно на швах сделать пометки, как показано на рис. 144 (стр. 180): черточки поперек швов, которые помогут проконтролировать правильность взаимного положения полотнищ ткани (*A, B, C, D, E* и т. д.) во время окончательного сшивания. Когда все полотнища сшиты, ткань снова раскладываем на полу и наносим на нее контур паруса, по которому закладываем запас ткани, оставленный на шкаторины. Ширина шкаторины обычно делается до 3 см, в зависимости от величины, сорта ткани и т. п. Затем накладываются боуты и карманы для лат.

стр. 211

Представив фаловой угол паруса, надо обращать внимание на форму. Она должна отвечать требованиям правил класса и вместе с тем способствовать получению наибольшей площади паруса. На рис. 145 (стр. 180) показаны выгодная и невыгодная формы фаловой дощечки.

Для паруса «Финна»: правила класса предписывают, что «наибольшая ширина фаловой дощечки, измеренная перпендикулярно к мачте, не может быть более 150 мм». Такое ограничение ничего, однако, не говорит о форме дощечки, оставляя ее произвольной. По традиции делают треугольные дощечки, направленные углом вверх, что вовсе не выгодно, так как уменьшает возможную площадь паруса.

Когда заканчиваем шитье паруса, нашитые карманы, боуты и заделаны шкаторины, приступаем к обшивке. Неправильной обшивкой можно испортить хорошо сшитый парус. Хорошая обшивка состоит в равномерном распределении ткани по всей длине ликтроса и прикреплении шкаторины к ликтросу с постоянным одинаковым натяжением по одной и той же стороне ликтроса. Чтобы предупредить ошибки, рекомендуется шкаторину и ликтрос разметить на части и привязывать их друг к другу в нескольких точках (например, через четверть длины). Тогда ошибка может быть исправлена на длине одной четверти сразу по обнаружении.

Во избежание ошибок от перекручивания ликтроса рекомендуется делать метку вдоль него, как показано на рис. 146 (стр. 182).

Во время ликовки можно с разной силой затягивать нитку и более или менее плотно притягивать ткань к ликтросу. Таким путем можно в некоторой степени изменить величину и форму «пуза». Надо обратить внимание на то, что при тугом затягивании нити на парусе образуются мелкие складочки, косо расположенные к мачте. При правильной работе эти складочки пропадают уже в первом периоде выхаживания.

Мелкие складочки, направленные перпендикулярно швам, могут появиться из-за неправильного сшивания швов и фальшивок. Они получаются, когда нитка в машине идет слишком туго. В таком случае надо отрегулировать машину (рис. 147 (стр. 182) стр. 212

Чтобы нитка в машине имела очень свободный проход нитки. Складки на швах обычно исчезают довольно быстро.

Возвращаясь к общим основам проектирования грота, следует заметить, что на яхтах, вооруженных кэтом, грот может быть более «пузатым», чем на яхтах, вооруженных шлюпом. На лавировке комбинация грот — стаксель дает менее острый курс, чем один грот. Это известно из многолетнего опыта и подтверждается теоретически (аэродинамикой паруса). Поэтому желая улучшить возможности вооружения типа шлюп на лавировке, надо проектировать грот с относительно меньшим «пузом». Если применить гибкую мачту, парус можно сшить более «пузатым», в расчете на уменьшение «пуза» во время лавировки.

Раскрой стакселя Как известно, в результате изгиба штага, нижней и задней шкаторины стакселя на нем образуется естественное «пузо». Особенно большое значение в его образовании имеет изгиб штага, на котором поднимается стаксель.

Общепринятым методом кроя является такой, при котором передняя шкаторина стакселя образует прямую линию. Посмотрим прежде всего, как выглядит «пузо» при таком методе раскроя, когда парус поднят на гибком штаге.

Известно, что величина изгиба штага не остается постоянной: она меняется в зависимости от силы ветра и курса яхты. Чем сильнее ветер, тем больше изгибается штаг. А чем больше гнется штаг, тем больше получается «пузо» у стакселя (рис. 148 (стр. 182)). Заштрихованная площадь представляет собой ту часть ткани паруса, за счет которой он приобрел определенную «пузатость». Рассматривая профили стакселя в разрезах O_1-A_1 , O_2-B_1 , O_3-C_1 , не трудно установить, что наибольшее «пузо» будет в разрезе O_3-C , к ширине паруса O_3-C будет наибольшим.

У стакселя, скроенного таким образом, самое маленькое «пузо» будет внизу и, постепенно увеличиваясь в верхних частях паруса, станет самым большим. Это весьма нежелательная форма паруса, хотя именно она часто встречается на практике. Такой парус при набитых шкотах дает вредную струю воздуха на поверхность грота.

В результате только часть площади стакселя используется эффективно. Ясно, что подобное взаимодействие грота со стакселем снижает возможные гоночные качества яхты. Припомним некоторые теоретические положения: наиболее выгодная совместная работа грота со стакселем будет тогда, когда между их поверхностями образуется слоистый, незавихренный поток воздуха. Основное условие получения такого потока — меньшая «пузатость» стакселя по сравнению с «пузатостью» грота.

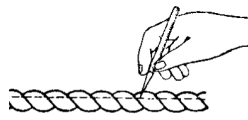


Рис. 147

Рис. 146: Ликовка

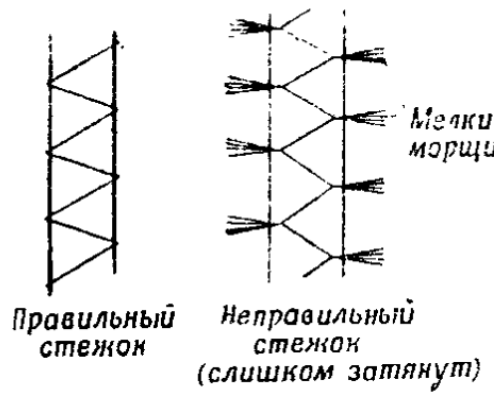


Рис. 148

Рис. 147: Проектирование гота

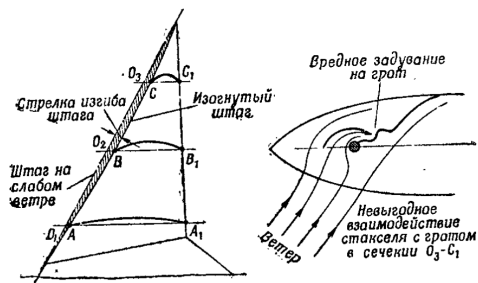


Рис. 149

Рис. 148: Раскрой стакселя

Таким образом, примем за непреложное правило, что нельзя проектировать стаксель без учета степени прогиба штага. Это правило особенно важно выполнить, проектируя узкие и высокие стакселя для сильного ветра. Раскрой стакселя, сделанный с учетом прогиба штага, показан на рис. 149 (стр. 184). По нижней шкаторине можно предусмотреть небольшую выпуклость, которая уйдет потом на образование «пуза». Кривизну по передней шкаторине лучше всего устанавливать опытным путем во время одновременной работы стакселя и грота, делая несколько последовательных ушивок по передней шкаторине, пока не будет получен желаемый результат.

Полотнища ткани надо располагать так, чтобы они были перпендикулярны задней и нижней шкаторинам, потому что вдоль них парус испытывает наибольшее натяжение.

При изготовлении больших стакселей (например, генуэзских или балун-кливеров) можно допускать некоторое увеличение размеров «пуза». Но в любом случае надо следить за тем, чтобы парус был более плоским в верхней части, чем в нижней, иначе говоря, наверху «пузо» должно быть меньше, чем внизу. Независимо от того, для сильного или для слабого ветра шьется стаксель, верх его надо делать более плоским.

У больших стакселей типенуя задняя и нижняя шкаторины не испытывают таких больших напряжений, как шкаторины небольших стакселей, сшитых для сильного ветра. Поэтому нет необходимости, чтобы швы обязательно были под прямым углом к задней и нижней шкаторинам. Пробуя разные способы кроя, парусные мастера пришли к выводу, что лучше всего кроить так, чтобы швы подходили к шкаторинам под углом немного менее прямого. При таком раскрое достигаются наилучшие условия для работы средней части паруса, повышается его прочность и устойчивость формы. В последнее время в поисках раскроя, который бы давал наиболее равномерное распределение растягивающих усилий по площади паруса, был применен способ раскроя, названный «паутинным».

По отношению к шкаторинам швы в этом раскрое идут перпендикулярно, а внутри паруса напоминают паутину (рис. 150 (стр. 184)). Этот способ раскроя обеспечивает наибольшую прочность шкаторин и одновременно средних частей паруса.

Современные гоночные яхты, особенно морские, обычно снаряжаются 3–5 стакселями различной величины. Возьмем для примера небольшую яхту III класса (по классификации Английского королевского океанского клуба) с длиной ватерлинии 8,25 м, шириной 2,45 м и осадкой 1,70 м. При наличии одного грота площадью 23 м² у нее в комплекте имеется пять разных стакселей: генуя — 26,5 м², стаксель 1 — 21,5, стаксель 2 — 15, стаксель 3 — 10, стаксель 4 — 5,5 м². Эти стакселя сшиты из ткани разной толщины.

Раскрой спинакера Оставляя некоторый запас ткани по наружным краям паруса для получения «пуза», мы достигаем цели только тогда, когда надо получить сравнительно небольшое «пузо». Получить этим способом сферический парус, вроде спинакера, невозможно: здесь требуется особый способ раскроя.

Сферическая поверхность паруса вначале получалась сшиванием полотнищ, скроенных по форме долек апельсина (рис. 151 (стр. 186), 1). У сшитого таким способом спинакера оказались недостатки: построение полотнищ долек повлекло фалды. Это происходило из-за различной сопротивляемости ткани растяжению по ли-



Рис. 150

Рис. 149: Раскрой стакселя с учетом прогиба штага

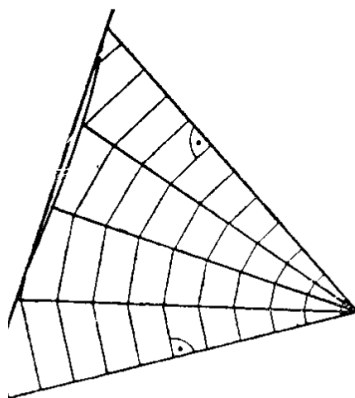


Рис. 151

Рис. 150: «Паутинный» раскрой стакселя

нии АА и по швам, проходящим по диагонали, более всего подверженных растяжению. Чем меньше было полотнищ в парусе, т. е. чем шире они были, тем грубее были фалды. Этот способ раскроя спинакера был забракован и заменен новым, с расположением полотнищ, как показано на рис. 151 (стр. 186), 2. Скроенный по этому способу спинакер не образовывал фалд, так как по линии АА ткань располагалась диагонально — по линии своей растяжимости.

Очень важно правильно выбрать для спинакера ткань по весу. Малый вес, легкость спинакера — его основное достоинство. Если ткань тяжеловата, на слабом ветру спинакер спадает и работает плохо или совсем не работает. Слишком легкий спинакер на сильном ветру может легко порваться. Универсальный парус, годный для всех условий, сделать нельзя, и чем больше мы стараемся этого добиться, тем меньше парус соответствует определенным условиям плавания.

Выхаживание паруса

Прежде чем поставить новый парус в гонке, его некоторое время подвергают действию несильного ветра, наблюдая за его поведением. Процесс предварительной подготовки нового паруса называется выхаживанием. При выхаживании рулевой должен добиться: а) получения правильного «пуза» у нового паруса; б) гладкости и плавности его поверхности; в) полных размеров, соответствующих правилам класса.

Выхаживать имеет смысл только правильно сшитый парус. Новый парус должен сразу встать правильно. Исключение составляют упоминавшиеся ранее небольшие морщинки около мачты по лику и немного укороченные шкаторины. Если парус стоит плохо, а рангоут в порядке, причину надо искать или в плохом шитье или в неверном подборе ткани.

Выхаживание грота Выхаживание грота следует начинать с его осмотра на ходу при слабом ветре и ясной погоде. Применяется иногда «ополаскивание» паруса, поднятого на мачте без гика, не что иное, как потеря времени без всякой пользы. Парус надо внимательно осматривать с разных позиций: с обычного положения рулевого, со стороны мачты, со стороны задней шкаторины, с подветренной стороны и т. д.

Если на парусе нет явных недостатков, требующих вмешательства парусного мастера, то продолжаем плавание, постепенно увеличивая обтягивание паруса. Обтягивать его надо на более острых курсах, а начинать выхаживание — ближе к галфвинду.

Во время выхаживания надо особенно внимательно наблюдать за частью паруса, прилегающей к задней шкаторине. Эта часть грота особенно важна в работе и в труднее всего поддается правильному выхаживанию. Передняя и нижняя шкаторины, усиленные ликтросом, сравнительно трудно подвержены растяжению. Задняя шкаторина, наоборот, наиболее подвержена деформации, особенно в начале плавания, когда принимает на себя большую часть нагрузки от ветра и тяги шкотов.

Смысл выхаживания грота состоит в том, чтобы не допустить местных неравномерных вытяжек ткани в разных частях паруса. Хорошо выхоженный парус

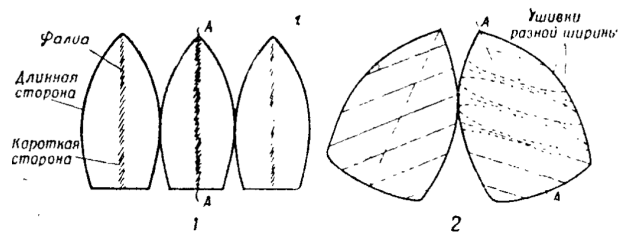


Рис. 152

Рис. 151: Раскрой спинакера

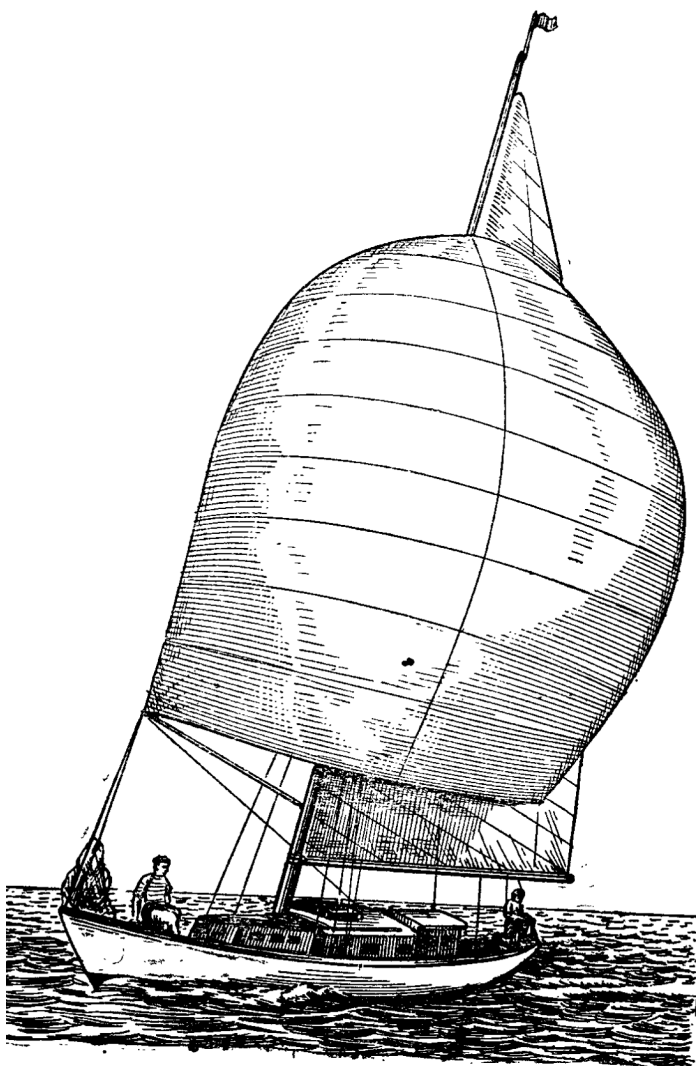


рис. 153. Шаровидный спинакер (обратите внимание на раскрой паруса)

Рис. 152: Шаровидный спинакер (обратите внимание на раскрой паруса)

должен быть равномерно и пропорционально вытянут в направлениях, предусмотренных при раскрое паруса.

Для уменьшения риска вредного растяжения задней шкаторины от чрезмерного веса гика целесообразно подобрать топенант или булинь.

Парусная ткань легче всего тянется в первый период эксплуатации, поэтому очень нежелательно малейшее намокание паруса в это время. Выхаживать мокрый или влажный парус ни в коем случае нельзя. При выхаживании не надо позволять парусу полоскаться и хлопаться, плавать надо на курсах, близких к галфвинду, чтобы работала вся поверхность паруса. Передняя и нижняя шкаторины выбираются с легким натяжением.

Натягивать шкаторины, применяя силу, ни в коем случае нельзя, но не следует плавать и на совсем слабо выбранных передней и нижней шкаторинах.

В процессе выхаживания могут появиться фалды, мелкие морщины, завивание шкаторины и другие дефекты, деформирующие поверхность паруса. Это типичные явления, сопровождающие процесс выхаживания, и рулевой должен уметь принять необходимые контрмеры. Рассмотрим их по порядку.

Фалды вдоль внутренних концов карманов для лат. Чаще всего это происходит из-за нажима латами на сгибание концов карманов под действием сил P_{11} , P_{12} , P_{13} , P_{14} (рис. 153 (стр. 189)). Силы эти возникают в результате напряжений в зоне задней шкаторины, возникающих от тяги шкотов. Фалды может быть двух видов, как показано на рис. 153 (стр. 189), 1 и 2.

В первом случае внутренний конец латы выходит на подветренную сторону паруса и край задней шкаторины стремится заворачиваться на внутреннюю сторону паруса. Это значит, что обшивка шкаторины вытягивается медленнее, чем часть паруса вдоль линии А-А (сплошная линия; кривая — «серп» — задней шкаторины), что вызывает значительные давления, нажим на латы. Для устранения этих пороков надо: 1) растянуть обшивку задней шкаторины на колене или на крае стола, чтобы ее несколько удлинить, 2) удлинить карманы для лат на время выхаживания. Если этими мерами фалды устранить не удалось, надо уменьшить «серп», что вызовет уменьшение площади паруса и, возможно, также уменьшить ширину обшивки шкаторины.

Во втором случае, когда заверачивается под ветер, надо прежде всего выяснить, происходит это только при сильном ветре или и при слабом. Если порок обнаруживается лишь при сильном ветре, следует увеличить стрелку кривизны запаса по нижней шкаторине и одновременно сместить ее ближе к ахтерлыку. Если же порок остается и при слабом ветре, значит, из-за чрезмерной вытяжки задней шкаторины форма паруса частично испортилась. Это могло произойти в результате: 1) выхаживании при очень сильном ветре, особенно в начальный период, 2) очень малого прогиба парусины или задней шкаторины (может быть, слишком узкая обшивка), 3) чрезмерной площади паруса в «серпе». Для устранения порока надо уменьшить длину шкаторины, расширив шов между полотнищами, начиная с места, где парус начинает заворачиваться (рис. 153 (стр. 189), 3); возможно, следует уменьшить «серп».

Фалды в районе фаловой дощечки. Часто случается, что в районе фаловой дощечки начинается целое семейство морщин (рис. 154 (стр. 189)). Причиной чего бывает неправильное прикрепление паруса к доске. Этот порок можно устранить, подогнав дощечку так, чтобы она плотно прилегала к мачте; парус к основанию

дощечки надо пришить так, чтобы не появлялись морщины. Около верхней части дощечки нужно иметь несколько отверстий для закладки фала, что позволит регулировать натяжение задней шкаторины непосредственно фалом.

Морщины, идущие от самой дощечки до нижней шкаторины, явно указывают на слишком малый запас ткани по нижней шкаторине по сравнению с ее запасом по передней шкаторине.

Морщины или фалды в галсовом или шкотовом углах. В галсовом углу паруса (рис. 155 (стр. 189)) фалды получаются, когда гик чересчур поднят в предвидении чрезмерного вытягивания задней шкаторины. Этот недостаток может быть усугублен очень сильным выбором передней шкаторины.

Слишком широкая обшивка задней шкаторины, увеличивая ее прочность, может в некоторой степени затруднить выхаживание прилегающей части паруса. Этот порок происходит из-за недостаточной квалификации парусных мастеров. Устранить его в общем трудно, а иногда без частичной перешивки паруса и невозможно.

Складки в шкотовом углу возникают в результате чрезмерного натяжения задней шкаторины. При этом «серп» может уменьшиться, а шкаторина — стать даже немного вогнутой.

Чрезмерная натяжка задней шкаторины может наступить и вследствие слишком узкой, а потому слабой обшивки, не предохраняющей ткань паруса от чрезмерного растяжения, особенно на лавировке при сильном ветре. Порок этот может усилиться, когда передняя шкаторина выбирала слабо.

Устранить описанный недостаток без уменьшения поверхности паруса невозможно. Такой парус уже нельзя считать гоночным.

При шитье нового паруса надо обратить внимание на подбор ткани соответствующей прочности.

Мелкие морщины на парусе. В начальном периоде выхаживания на парусе может быть довольно много мелких морщин, начинающихся или в швах между полотнищами, или около ликтроса. Позднее эти морщины должны пропасть сами по себе. Если же они не пропадают, значит, нитка в машине шла туго и стягивала ткань: единственное в этом случае средство — распороть и сшить это заново. Если морщины около лика не исчезают, значит, ликовка была сделана плохо и ее надо произвести заново.

Вспомним, что основная задача выхаживания — получение правильного «пуза», т. е. такой формы поверхности паруса, при которой в любом параллельном сечении его выпуклость распределялась равномерно и пропорционально. Чтобы оценить полученную форму паруса, его надо осмотреть на курсе бейдевинд со стороны задней шкаторины. На рис. 156 (стр. 189), 1 показан контур хорошего паруса. На рис. 156 (стр. 189), 2 изображен парус, имеющий неправильную форму поверхности, с очень большим «пузом» наверху и плоским внизу. Некоторые небольшие поправки «пуза» можно сделать, изменяя ширину швов между полотнищами, как схематически показано на рис. 156 (стр. 189), 3.

Чтобы закончить рассмотрение работы по выхаживанию грота, остановимся еще на двух деталях, которые могут принести много хлопот в эксплуатации паруса.

Первая из них — величина боутов на углах паруса. Боуты не следует делать слишком большими; например, усиление задней шкаторины удлиненным боутом будет затруднять пропорциональное растяжение ткани этой части паруса.

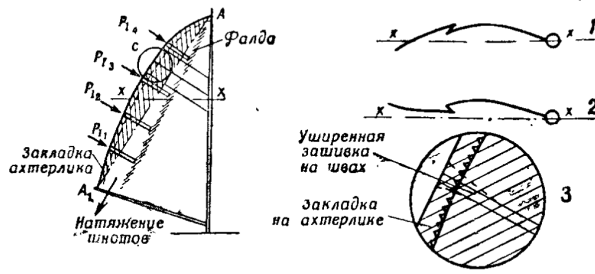


Рис. 154

Рис. 153: Выхаживание паруса

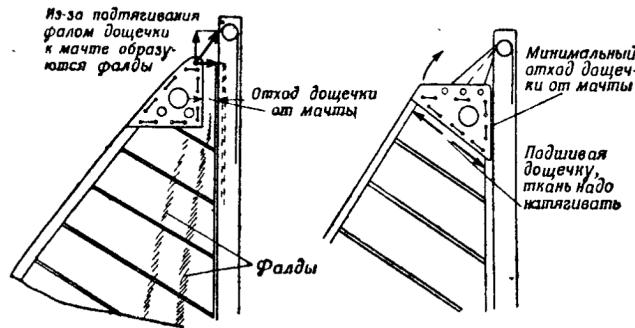


Рис. 155

Рис. 154: Морщины или фалды в галсовом или шкотовом углах

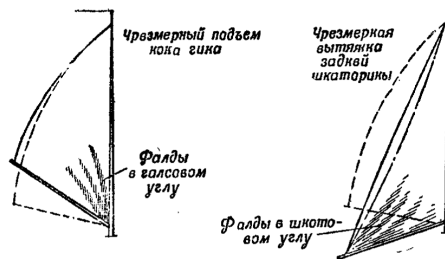


Рис. 156

Рис. 155: Чрезмерный подъем нока гика и фалды в шкотовом углу

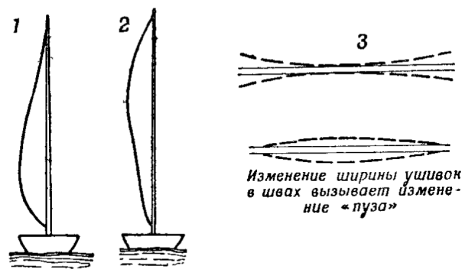


Рис. 157

Рис. 156: Контуры паруса при осмотре со стороны задней шкаторины

Вторая существенная деталь — толщина ликовочного троса. Нет никаких серьезных соображений, оправдывающих использование слишком толстых ликтросов. Напряжения, которые испытывает шкаторина паруса, совсем не требуют применения мощных ликтросов. Толстый ликтрос долго сохнет, и требуется много времени, чтобы он вернулся к первоначальным размерам. Лучше всего употреблять более тонкие ликовочные тросы, предварительно хорошо пропитанные. С ними меньше хлопот, они легче по весу, что имеет немалое значение для небольших речных яхт.

Следует затронуть еще один вопрос — вымачивание паруса и вторичное выхаживание. Единого мнения по этому вопросу нет. Попробуем разобраться здесь сами. Каждый парус рано или поздно попадет под дождь, вымокнет и получит какую-нибудь деформацию. Может быть, правильнее своевременно вымочить парус, затем высушить и снова выходить? Все это можно сделать под полным контролем, не допуская никаких случайностей. В результате вымачивания несколько улучшается ткань и могут исчезнуть небольшие морщины. Следовательно, вымачивание паруса с повторным выхаживанием можно признать полезной операцией.

Несколько слов о латах. Они укрепляют парус, помогают получить и сохранить нужную форму. Самыми хорошими в этом отношении будут сквозные латты, проходящие через весь парус: с ними можно получить очень плавную форму поверхности.

стр. 224

Хорошие латты должны быть гибкими, прочными и достаточно жесткими к внешнему концу, чтобы поддерживать плоской задней шкаторины. Латты одинаковой толщины по всей длине, безусловно, надо считать плохими.

Нельзя довольствоваться одним комплектом лат для разных парусов, сшитых на разный ветер. Жесткость лат должна выбираться соответственно «пузатости» паруса и силе ветра. На сильный ветер, чтобы сохранить плоскость паруса у задней шкаторины, надо ставить более прочные латы. Однако и самые прочные латы должны быть гибкими, особенно в средней части, иначе парус будет ломаться у концов лат — карманов. Длина и ширина лат должны быть не менее длины и ширины карманов; это особенно надо иметь в виду, так как мокрая ткань сильно садится.

Хорошим материалом для лат будут ясень, гикори и пластмасса.

Выхаживание стакселя Здесь полезно вспомнить некоторые основные положения о работе стакселя. Во-первых, «пузо» у стакселя должно быть меньше, чем у грота. Во-вторых, для хорошей совместной работы с гротом стаксель должен быть правильно поставлен. При правильной постановке стакселя натяжение всех его шкаторин должно быть равномерным. Фал и штаг выбираются так, чтобы передняя шкаторина по возможности представляла собой прямую линию. Равномерное натяжение задней и нижней шкаторин достигается правильной проводкой шкотов. Расположение кипы, пригодное для одного стакселя, будет негодным для другого и, следовательно, зависит от рода и назначения паруса.

Для малого стакселя кипы ставятся между мачтой и вантами. Для больших стакселей шкоты приходится проводить за вантами. На рис. 157 (стр. 194) показано несколько примеров расположения кип на палубе. С увеличением размеров паруса кипа перемещается к корме и к борту; например, для балун-стакселя она поставлена на самую борта. Следующим указанием для расположения кипы будет

стр. 225

направление линии тяги шкотов по отношению к биссектрисе шкотового угла паруса. Направление тяги шкотов больших, легких парусов для слабых ветров должно проходить несколько выше биссектрисы. Для небольших парусов и при сильных ветрах направление должно проходить несколько ниже биссектрисы. Некоторую свободу в выборе расположения кип и регулировании натяжения шкотов можно получить, применяя стропку для крепления галсового угла.

Выхаживать стаксель надо только после правильной установки кип. Вначале сделаем приблизительную оценку правильности раскроя и шитья паруса. Для этого поставим яхту против ветра, причем фал и шкоты должны быть натянуты втугую. В этом положении парус должен быть совершенно плоским. Если же имеется некоторая «пузатость», ее надо устранить, убирая лишнюю ткань в зашивку по передней шкаторине.

Обстоятельную оценку работы стакселя сделаем, наблюдая за ним при плавании различными курсами. Грот должен быть выхожен заранее. Выхаживая стаксель, руководствуемся теми же соображениями, что и при выхаживании грота.

Вначале не следует выбирать туго шкоты; ходить надо так, чтобы вся поверхность паруса испытывала одинаковые, равномерные растяжения. Из-за чрезмерного натяжения шкотов могут получить избыточное растяжение шкаторины паруса, и тогда появятся фалды, идущие от шкотового угла к середине паруса. Эти фалды одновременно служат доказательством несоответствия прочности ткани тем напряжениям, с которыми ей придется работать.

стр. 226

Иногда задняя шкаторина обнаруживает склонность заворачиваться в трубку, что происходит от излишней прочности обшивки шкаторины. Надо попробовать вытянуть шкаторину на колене или на крае стола, а если это не поможет, то уменьшить ширину зашивки.

При выхаживании стакселя, а также при подправках раскроя и шитья очень полезны сведения, изложенные в разделах «Взаимодействие парусов» и «Раскрой стакселя».

Рангоут (мачта и гик)

Положение мачты и гика, их способность гнуться под действием ветра имеют большое влияние на работоспособность парусов. Под деформацией рангоута подразумевается отклонение его формы от прямых линий или от форм, предусмотренных при проектировании. Но надо иметь в виду, что в некоторых классах, например «Звездном», специально предусмотрена возможность придавать мачте значительный изгиб в зависимости от ветровых условий. В большинстве классов мачта крепится вертикально или с некоторым наклоном к горизонту, но всегда прямо, без изгиба, и постоянно удерживается в таком положении посредством стоячего такелажа. Так должно быть, но часто случается, что из-за плохого зимнего хранения или неправильного натяжения вант и штагов мачта из-небесов. Кривая мачта или гик натянет парус, и форма его нарушится. Плохая или плохо поставленная мачта, деформировавшись, может вызвать через некоторое время неустраняемые дефекты на парусе из-за его неравильной вытяжки.

Большинство яхтсменов почему-то склонно слишком туго натягивать ванты, полагая, что они должны «играть, как струны». Такая тугая натяжка вант не только не нужна, но и вредна и небезопасна. В плавании при сильном ветре ванты

испытывают динамические напряжения, сила которых в несколько раз превосходит аэродинамические силы, действующие на парус. Убедимся в этом на следующем примере: допустим, что в некоторых определенных условиях плавания на грот площадью 15 м^2 действует аэродинамическая сила $P = 100 \text{ кГ}$ (рис. 158 (стр. 194)). Для упрощения задачи примем, что центр парусности находится на уровне половины высоты мачты. Для вычисления сил, действующих на мачту и на ванты, разложим силу P на две составляющие A и B . В рассматриваемом нами случае они равны. Действию силы B противостоит реакция опоры мачты, а действие силы A воспринимается вантами.

Если угол α между мачтой и вантами равен 10° , то сила, стремящаяся разорвать ванты, будет:

$$A = \frac{50}{\sin 10^\circ} = \frac{50}{0,174} \approx 288 \text{ кГ}.$$

К полученному натяжению теперь следует добавить натяжение, которое было сообщено вантам во время их обтягивания, а оно, как уже отмечалось, тоже может быть очень большим.

Одновременно мачта, опирающаяся на стеньгу, работает на изгиб под действием силы, равной $A \cdot \cos \alpha = 283 \text{ кГ}$, причем эта сила тем больше, чем сильнее было предварительное натяжение вант. Не трудно себе представить, какие большие силы могут действовать на обшивку корпуса, пытаясь оторвать ее от клизы. Именно это и служит основной причиной неплотности обшивки на яхтах класса «Омега».

Слишком сильное натяжение вант является поводом для многих аварий из-за разрыва строп, поломки талрепов и т. п.

С точки зрения обеспечения лучшей работы парусов, на яхте, вооруженной шлюпом, лучше держать ванты слабыми. На лавировке слабое натяжение вант позволит мачте сильнее натянуть стаксель, и, следовательно, он будет лучше работать. В классах яхт «Звездный», «Олимпик» («О-36»), «Пират» свободно натянутые ванты облегчают регулировку мачты в диаметральной плоскости яхты. Регулирование мачты в диаметральной плоскости позволяет в определенных границах изменять «пузатость» паруса: изгибая мачту вперед, «пузо» можно уменьшать, а изгибая ее к корме — увеличивать.

Наклон мачты в сторону кормы выгоден на слабых ветрах, так как парус приобретает более выгодную форму (исчезают фалды), а яхта лучше идет на ветер. Наклон мачты вперед заметно уменьшает склонность яхты выбраться на ветер, что имеет большое значение при сильных ветрах.

Изгиб гика оказывает большое влияние на сферическую форму поверхности паруса. Подобно тому как происходит деформация мачты, деформация гика может произойти или по воле рулевого, или без его участия. Изгиб гика зависит от его формы и от способа крепления шкотов на гике. Круглый гик дает возможность широко регулировать его изгиб.

Признаем тот или иной гик, всегда надо учитывать способность его гнуться. Непредвиденный изгиб может очень сильно отразиться на форме и работе паруса. Способность гика гнуться зависит, во-первых, от его формы и конструкции, т. е. от его первоначально запроектированной прочности, и, во-вторых, от системы проводки шкотов.

Шкотами легче всего регулировать круглый гик, наиболее эластичный по форме. В зависимости от места крепления шкотов к гикю может быть три варианта

крепления:

1. Шкоты крепятся только к ноку гика (рис. 160 (стр. 196), 1). На сильных ветрах гик будет выгибаться кверху, увеличивая «пузатость» паруса. Чем сильнее ветер, тем более невыгодно будет сказываться прогибание гика на форме паруса. Выгибание гика вбок на полных курсах желательнее, так как при этом аэродинамические силы растут без угрозы нарушения поперечной остойчивости яхты.

стр. 229

2. Шкоты крепятся на ноке и посредине гика, как показано на рис. 160 (стр. 196), 2. Такая система крепления позволяет сохранить прямую форму гика в любом положении и при любой силе ветра.

3. Шкоты крепятся где-то посредине гика посредством бугелей (рис. 160 (стр. 196), 3). Этот способ позволяет уменьшить «пузо» паруса при сильных ветрах. Передвигая бугель вдоль гика, можно регулировать в определенных границах величину и форму изгиба гика, а следовательно, регулировать форму и величину «пуза» паруса. Эта система крепления шкотов применяется в классическом гоночном «Звездном» классе.

Уменьшить «пузатость» грота, сделать его более плоским можно не только выгибанием мачты и гика. Подавая, насколько возможно, нижнюю шкаторину к ноку гика и сильно натягивая переднюю шкаторину, можно сделать грот более плоским, правда в очень небольших границах (рис. 160 (стр. 196), 1).

стр. 230

Наоборот, сделать грот более «пузатым» можно несколькими способами, приведенными на рис. 160 (стр. 196), 2, 3, и 4. В случаях 2 и 3 регулирование идет путем выбора булина и крепления его на гике. Этот способ нельзя назвать удобным, так как, чтобы изменить регулировку в ходе гонок, надо приводиться до запласкивания всего грота, иначе нок гика не будет над палубой. Ясно, что при этом будет потеряно какое-то время. Поэтому лучше иметь на гике небольшую утку, как показано на рис. 160 (стр. 196), 4, позволяющую работать с булином, находясь в кокпите, независимо от положения гика.

При некоторой изобретательности можно устроить такую регулировку булина, при которой он автоматически подбирается на полных курсах и растревливается на лавировке. При выборе гика на курсе бейдевинд булинь следует потравить, чтобы уменьшить «пузо» паруса.

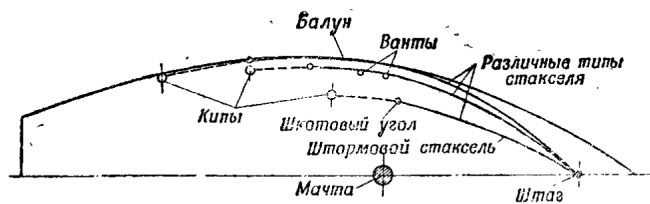


Рис. 158

Рис. 157: Расположение килп стакселя

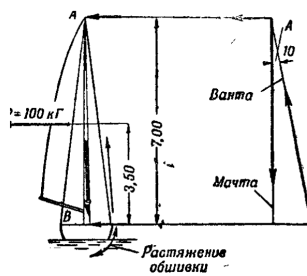


Рис. 158: Силы, действующие на мачту и ванты

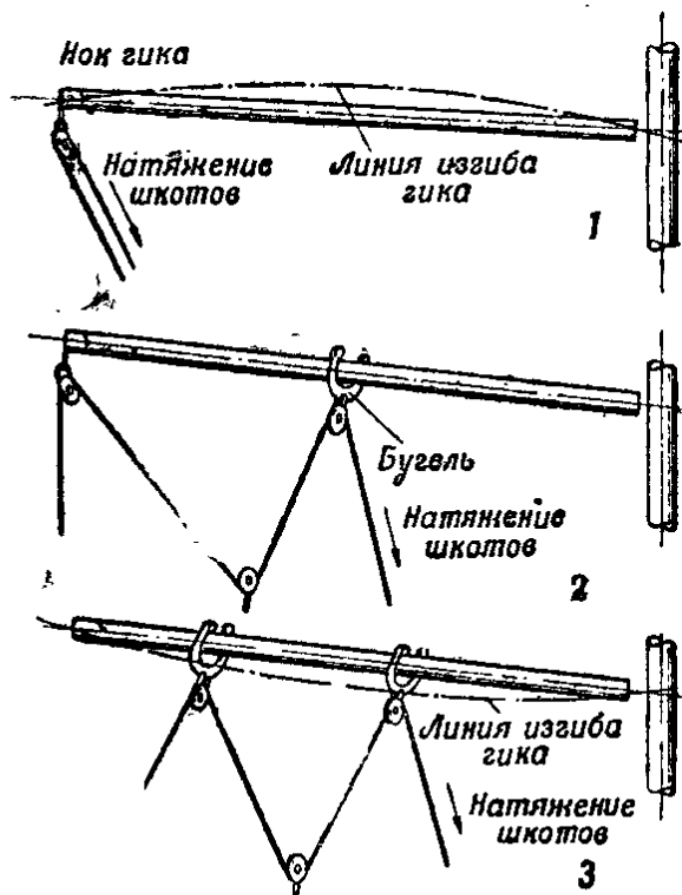


Рис. 160

Рис. 159: Наклон мачты и изгиб гика

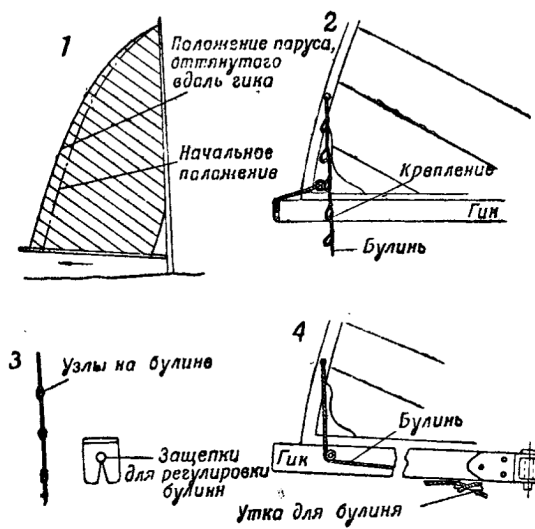


Рис. 161

Рис. 160: Способы крепления шкотов на гике

4 Гидромеханика парусной яхты

4.1 Гидродинамические сопротивления корпуса

стр. 231

Основным элементом гоночной борьбы является скорость. Рулевой, яхта которого идет быстрее, во время гонки имеет много преимуществ: он может не вступать в тактическую борьбу, а поэтому почти свободен от риска попасть «под протест»; парус его яхты работает на ветре, «не испорченном» парусами других яхт, а сама яхта движется по спокойной воде, не возмущенной другими яхтами. Все эти обстоятельства увеличивают шансы на призовое место.

Скорость зависит не только от аэродинамических сил, возникающих на парусах и вызывающих движение яхты, но в такой же мере от величины гидродинамических сопротивлений корпуса, которые образуются во время хода яхты. Во второй части были подробно рассмотрены вопросы улучшения гоночных качеств яхты, зависящие от аэродинамического коэффициента полезного действия парусов. Теперь рассмотрим явления, возникающие во время движения яхты и связанные с так называемыми гидродинамическими сопротивлениями. Хорошо разбирающийся в теории рулевой может принять меры, в значительной степени уменьшающие вредные гидродинамические сопротивления, и тем самым увеличить скорость своей яхты.

4.1.1 Силы, действующие на яхту во время движения

Допустим, яхта плывет на спокойной воде с постоянной скоростью. Согласно законам механики, действующая на яхту система сил и моментов уравновешена. Чтобы убедиться в этом, разложим равнодействующую аэродинамическую силу паруса P на две P_c и P_d (рис. 161). Сила тяги паруса P_c уравновешивается равной и противоположно направленной силой лобового сопротивления корпуса R_{cz} . Сила P_d , вызывающая дрейф, уравновешивается равной и противоположно направленной силой бокового сопротивления R_b . Общий вес яхты G уравновешивается силой гидростатического напора W .

стр. 232

В результате действия вышеупомянутых сил яхта будет плыть по курсу, отклоненному от диаметральной плоскости на угол дрейфа δ . Скорость яхты v можно рассматривать как сумму скорости дрейфа v_d и скорости вдоль диаметральной плоскости v_c . Поскольку угол дрейфа, в общем, очень мал, практически v равно v_c . Опустим рассмотрение действующих на яхту моментов, так как об этом будет рассказано в разделе, посвященном равновесию яхты, и обратимся к вопросам гидродинамики, а именно: гидродинамических сопротивлений, противодействующих движению яхты.

Под действием силы тяги P_c яхта приобретает определенную скорость, которая, как известно, во много раз меньше скорости буера при ветре такой же силы. Со скоростью буера яхта ходить не может из-за большого лобового сопротивления корпуса R_{cz} , возрастающего с увеличением скорости хода яхты. Подводная часть корпуса во время движения яхты нарушает равновесие частиц воды, на что тратится часть кинетической энергии яхты, которая идет на образование волн и завихрений частичек воды. Количество затраченной на это энергии будет мерой величины гидродинамического сопротивления. Чем больше кинетической энергии

стр. 233

яхты, полученной посредством паруса, поглощено водой, тем меньше скорость движения яхты.

Непроизводительные затраты кинетической энергии на ходу яхты в водной среде можно классифицировать, что позволит легче разобраться в происхождении и природе лобового сопротивления корпуса яхты R_{cz} . Общее лобовое сопротивление корпуса складывается из четырех основных видов сопротивлений.

1. Под действием сил вязкости частицы воды, прилегающие к поверхности корпуса, вовлекаются в движение, увлекая за собой соседние частицы. На движение частиц воды расходуется часть кинетической энергии яхты; количество затраченной на это энергии будет мерой *сопротивления трения* R_t .

2. За выступающими частями корпуса и за кормой образуются вихревые движения частиц воды. На их образование расходуется некоторая часть энергии, служащая мерой *сопротивления формы* R_k , так как его величина зависит от формы корпуса.

3. Двигаясь, яхта толкает часть воды, вызывая волны. Затраты энергии на образование волн назовем *волновым сопротивлением* R_f .

4. Во многих случаях яхту приходится удерживать на курсе с помощью руля, положенного, хотя и под малым углом, к диаметральной плоскости. Возникающее от этого сопротивление будем называть *добавочным* и обозначать R_d .

Итак, общее лобовое сопротивление корпуса яхты R_{cz} является суммой нескольких сопротивлений и может быть представлено в следующем виде:

$$R_{cz} = R_t + R_k + R_f + R_d.$$

Заметим еще, что величина общего сопротивления зависит от: величины яхты (ее водоизмещения), формы подводной части корпуса, гладкости поверхности подводной части корпуса и относительной скорости яхты.

На практике величину лобового сопротивления R_{cz} и величину отдельных сопротивлений, его составляющих, определяют, исследуя модели яхт в гидродинамических каналах, или вычисляют, пользуясь формулами, полученными на основании результатов испытаний и практического опыта.

4.2 Сопротивление трения

Общие положения, относящиеся к возникновению сопротивления трения, уже были рассмотрены в главе «Сопротивление трения паруса». Эти положения остаются в силе и в данном случае, так как механика явлений трения частиц в обоих случаях подобна. Если бы удалось во время движения яхты измерить скорость частиц воды, находящихся в непосредственной близости к поверхности корпуса, то оказалось бы, что их скорость не одинакова. В результате адгезии на корпусе образуется тончайший слой частиц воды, движение которых передается следующим, более удаленным, частицам. Вокруг корпуса образуется водяной слой движущихся частиц с постепенно замирающей скоростью к наружной поверхности этого слоя. Толщина пристенного слоя возрастает в направлении от носа к корме и находится обычно в пределах 1–2% длины корпуса по ватерлинии. Например, при длине корпуса 10 м толщина слоя, в котором проявляются силы трения, на корме будет доходить до 20 см, а в середине длины яхты — до 10 см.

Величину сопротивления трения можно вычислить по формуле:

$$R_t = \xi_t \cdot \gamma \cdot \frac{v^2}{2g} \cdot F_{zm},$$

где: ξ_t — коэффициент сопротивления трения, γ — удельный вес воды, кГ/м^3 , v — скорость яхты, м/сек , g — величина земного ускорения $9,81 \text{ м/сек}^2$, F_{zm} — смоченная поверхность корпуса, м^2 .

Подставляя в формулу значения соответствующих величин, получим:

$$R_t = 51 \cdot \xi_t \cdot v^2 \cdot F_{zm}.$$

Исследования Рейнольдса, Никурадзе и других ученых показали, что коэффициент сопротивления трения ξ_t не остается постоянным. Его величина зависит от величины погруженной поверхности и, прежде всего, от скорости движения погруженного тела. Измерения коэффициента сопротивления трения показали также, что сопротивление трения в большой степени зависит от характера смоченной поверхности и характера движения частиц воды в пограничном слое. Если частицы движутся линейно, ламинарно, сопротивление трения

будет наименьшим, при вихревом, турбулентном, движении оно увеличивается. Во время хода яхты, как правило, образуется завихренный поток в пограничном слое.

На рис. 162 изображен график величин коэффициента сопротивления трения для пластин в зависимости от их длины l и скорости обтекания v . Величины l и v выражаются безразмерным числом Рейнольдса, о котором прежде уже упоминалось. Это число — основной фактор в аэродинамических и гидродинамических расчетах, оно определяет условия подобия потока, проходящего при преимущественном действии сил внутреннего трения.

Величины коэффициента сопротивления трения отложены на оси ординат, а значения чисел Рейнольдса Re — на оси абсцисс. Кривая A показывает изменение коэффициента сопротивления трения для гидродинамически гладкой поверхности. Кривые a, b, c, d, e, f дают величины этого коэффициента для пластин с разной шероховатостью поверхности. Степень шероховатости определялась отношением длины пластинки l , измеренной по направлению обтекания, к высоте неровностей поверхности или ее зернистости ch .

График коэффициентов трения получен для плоских пластинок, но его можно использовать для определения сопротивления трения корпусов яхт, имеющих не плоскую, а сферическую поверхность. Разница между коэффициентами трения для пластинок и корпусов яхт оказывается очень мала (у яхт примерно на 4% больше, чем у пластинок). Если, например, длина корпуса по ватерлинии $l = 6 \text{ м}$, а средняя неровность смоченной поверхности $ch = 2 \text{ мм}$, то шероховатость поверхности будет:

$$\frac{l}{ch} = \frac{6 \text{ м}}{2 \text{ мм}} = \frac{6000 \text{ мм}}{2 \text{ мм}} = 3000 = 3 \cdot 10^3.$$

Такую же шероховатость мы определим у яхты длиной по ватерлинии $l = 12 \text{ м}$, если неровности на ее смоченной поверхности не будут превышать 4 мм.

В гидродинамике понятие шероховатости — относительное. Прежде всего оно зависит от размеров тел, на которых возникает сопротивление трения. Рассмотрим

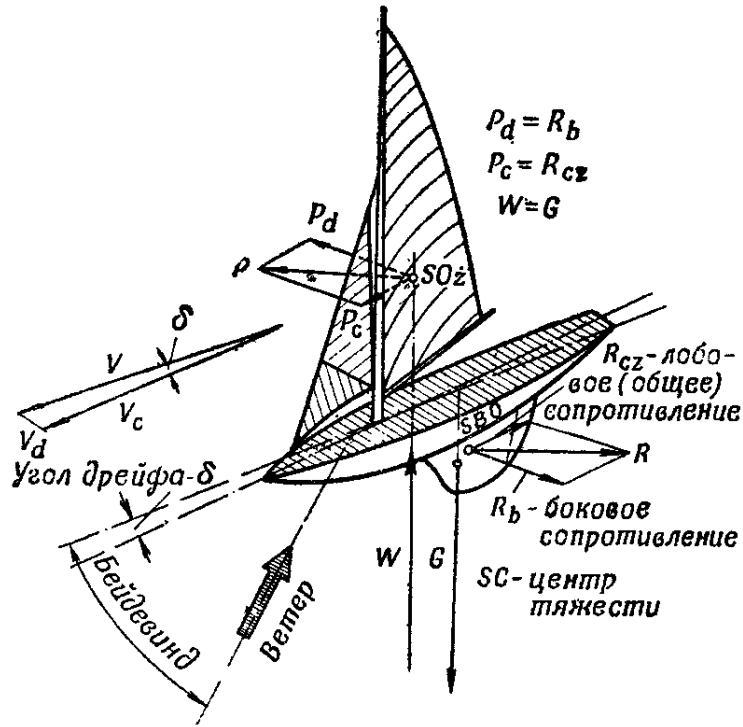


Рис. 162

Рис. 161: Силы, действующие на яхту во время движения

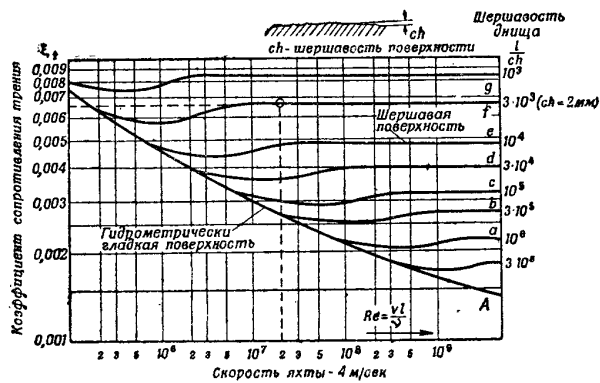


Рис. 162: График коэффициентов сопротивления трения для пластин в зависимости от числа Рейнольдса

пример, хорошо поясняющий это положение. Попробуем вычислить сопротивление трения определенной яхты, а именно класса «Н» с площадью парусности 15 м^2 , принимая ее смоченную поверхность $F_{zm} = 6 \text{ м}^2$. Допустим, что подводная часть корпуса отделана не очень старательно и неровности доходят до 2 мм. Скорость яхты $v = 4 \text{ м/сек}$. Соответственно число Рейнольдса, определяющее гидродинамические условия движения яхты, будет:

$$Re = \frac{v \cdot l}{\nu} = \frac{4 \cdot 6}{1,2 \cdot 10^{-6}} = \frac{4 \cdot 6 \cdot 10^6}{1,2} = 2 \cdot 10^7.$$

Кинематический коэффициент вязкости для воды при температуре 15° равен $1,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{сек}$. Эту величину можно выразить иначе: $\frac{1,2}{10^6} = \frac{1,2}{1\,000\,000} \text{ м}^2/\text{сек}$.

стр. 237

Шероховатость корпуса, как и в предыдущем примере, будет: $\frac{l}{ch} = 3 \cdot 10^3$, что соответствует кривой f на графике коэффициентов сопротивления трения. Принимая во внимание число Рейнольдса $Re = 2 \cdot 10^7$, можем установить, что коэффициент сопротивления $\xi_t = 0,0066$. Сопротивление трения яхты теперь легко вычислить, подставляя в формулу известные величины:

$$R_t = 51 \cdot \xi_t \cdot v^2 \cdot F_{zm} = 51 \cdot 0,0066 \cdot 4^2 \cdot 6 \cong 32 \text{ кг}.$$

Интересно сравнить величину коэффициентов сопротивления трения при различной скорости хода и разной

степени шероховатости смоченной поверхности яхты. График на рис. 163 относится к яхте класса «Н» таких же размеров, как и в предыдущем примере, но на оси абсцисс вместо чисел Рейнольдса отложены величины скоростей яхты. Шероховатость поверхности выражена не отношением $\frac{l}{ch}$, а только величиной ch , т. е. высотой неровностей поверхности, которую легко определить, зная длину яхты, а также указанное при кривых a, b, c, d, e, f отношение $\frac{l}{ch}$. Нетрудно видеть, что сопротивление трения яхты класса «Н», доходящее, как было установлено предыдущим примером, до 33 кг, можно снизить наполовину, если полированием и шлифовкой поверхности сгладить шероховатость с 2 до 0,06 мм. При этом была бы получена гидрометрически гладкая поверхность днища для данной скорости яхты. Коэффициент сопротивления трения стал бы равным примерно 0,003 вместо 0,0066. Дальнейшее снижение коэффициента сопротивления трения было бы невозможным, даже если бы отшлифовали днище до зеркальной гладкости.

стр. 238

При очень малых скоростях коэффициент сопротивления трения не в такой большой степени зависит от шероховатости поверхности днища. Частицы воды, прилегающие к поверхности днища, на малых скоростях как бы несколько сглаживают неровности. По мере увеличения скорости хода роль шероховатости поверхности днища все увеличивается. Одновременно растут трудности в доведении смоченной поверхности до степени гидрометрической гладкости. Требуется большая и тщательная работа по отделке и мокрой шлифовке смоченной поверхности корпуса. На скоростях порядка 0,1 м/сек или меньших поверхность с неровностями, не превышающими 1 мм, будет еще гидрометрически гладкой. На скорости около 2 м/сек поверхность днища будет гидрометрически гладкой, если его неровности менее 0,1 мм. С увеличением скорости требования, предъявляемые к глад-

кости поверхности корпуса, повышаются; например, для глиссеров они особенно велики.

С увеличением шероховатости днища растет толщина пограничного слоя и, следовательно, пропорционально увеличивается количество воды, вовлекаемой в движение за счет энергии движения яхты. При одинаковой скорости более длинная поверхность будет относительно гидрометрически более гладкой. Поэтому шверт и перо руля надо отделять более тщательно, чем поверхность днища. Дело в том, что отношение $\frac{l}{ch}$ у шверта и пера руля по сравнению с корпусом менее выгодное. Желая, чтобы коэффициент сопротивления шверта и пера руля был таким же, как у корпуса яхты «Н» с шероховатостью поверхности в пределах 2 мм, шверт и перо надо отделать так, чтобы и шероховатость была не более $\frac{1}{8}$ мм.

стр. 239

Плавность обтекания и величина сопротивления трения сильно зависят от степени гладкости и ровности контурных краев трущихся поверхностей. Они должны быть по возможности более гладкими. Даже небольшая неровность на штевне яхты, на краях шверта и по периметру пера руля будет утолщать пограничный слой и, следовательно, увеличивать сопротивление. Наоборот, неровности, расположенные на некотором расстоянии от края, не оказывают столь вредного действия. Как известно, всякие повреждения поверхности наперекор стараниям чаще всего происходят именно в передней части корпуса. На это надо обращать больше внимания при хранении яхты на берегу во время подготовки к сезону и спуска на воду.

Возникает законный вопрос: какую роль в общем сопротивлении играет сопротивление трения, в какой степени уменьшение сопротивления трения поможет увеличить скорость яхты? Для ответа на этот вопрос рассмотрим следующий пример: допустим, в первом приближении, что при скорости ветра 9 м/сек яхта класса «Н» идет курсом бакштаг со скоростью 4 м/сек. При равномерном движении все гидродинамические сопротивления в сумме по своей величине будут равны аэродинамической силе паруса.

Принимая аэродинамический коэффициент паруса $C = 1,4$, можем вычислить величину аэродинамической силы паруса по формуле:

$$P = C \cdot \frac{v^2}{16} \cdot F = 1,4 \cdot \frac{9^2}{16} \cdot 15 = 106 \text{ кГ.}$$

Следовательно, все сопротивления движению яхты в сумме равны 106 кГ. Доля сопротивления трения в общем сопротивлении по аналогии с только что рассмотренным случаем будет:

$$\frac{32}{106} \cong 30\%.$$

Если бы шероховатость днища была близка к степени гидрометрической гладкости (в пределах 0,06 мм), сопротивление трения было бы около 15% (или около 16 кГ) суммы всех гидродинамических сопротивлений.

стр. 240

Теперь, если допустить, что паруса двух яхт дают одинаковую силу тяги, равную 106 кГ, а гладкость днищ у них разная, очевидно, яхта с более гладким днищем пойдет с большей скоростью. Принимая для рассматриваемого случая, что сопротивление воды растет пропорционально квадрату скорости яхты, попробуем подсчитать, насколько одна яхта идет быстрее другой. Отношение скоростей этих яхт будет равно квадратному корню из обратного отношения величины их общих

сопротивлений:

$$\frac{v}{v} = \sqrt{\frac{106}{106 - 16}} \cong 1,08,$$

$$v = v \cdot 1,08 = 4 \cdot 1,08 = 4,35 \text{ м/сек.}$$

Практически, идя курсом бакштаг, одна яхта пройдет 1000 м за 230 сек., а другая, с более шероховатым днищем, — за 250 сек. Иначе говоря, она проиграет около 13 длин своего корпуса.

Приведенные вычисления носят, конечно, примерный характер. Для сравнения взяты крайние случаи яхт с очень гладким и очень шероховатым днищем. Практически в гонках едва ли такие крайности встретятся, и такой резкой разницы в скорости из-за сопротивления трения, вероятно, не будет. Таким образом, не переоценивая влияния сопротивления трения, как это делают многие яхтсмены, все же следует держать смоченную поверхность яхты как можно ближе к степени гидродинамической гладкости. Надо помнить, что сопротивление трения наибольшее значение приобретает на малых скоростях, когда его величина может достигать до $\frac{3}{4}$ суммы всех сопротивлений. По мере повышения скорости хода сопротивление трения уменьшается с одновременным ростом волнового сопротивления. С дальнейшим увеличением скорости, приближающейся к скорости глиссирования, волновое сопротивление снова утрачивает свое значение и на первое место снова выходит сопротивление трения. На рис. 165 дан график зависимости сопротивления трения от скорости яхты и ориентировочно его доля в общем гидродинамическом сопротивлении.

Пока мы рассматривали влияние на сопротивление трения гладкости днища яхты. Но на сопротивление трения влияет также характер покрытия корпуса. Желательно, чтобы покрытие обладало свойством уменьшать смачиваемость поверхности корпуса, т. е. свойствами гидрофобности. Таким свойством обладают некоторые краски, например кремнистые лаки.

Наконец последнее замечание, касающееся сопротивления трения. На морских яхтах, особенно тех, которые плавают в южных морях, подводная поверхность корпуса обрастает водорослями и ракушками. Этот процесс идет очень быстро и для гонок исключительно вреден. Обрастание сильно увеличивает сопротивление трения. Так, ежедневное увеличение сопротивления после отделки днища в северных морях составляет 0,2%, а в южных — 0,5%.

Борясь с обрастанием, подводную часть металлического и деревянного корпуса покрывают специальными красками и патентованными составами, содержащими ядовитые вещества. Однако эти покрытия не обеспечивают получение желательной гладкости подводной части корпуса.

4.3 Сопротивление формы

На ходу за кормой яхты остается полоса завихренной воды, так называемая кильватерная струя, или путевой след. Вихревые движения частиц воды в кильватерной струе образуются за счет затрат известного количества кинетической энергии, воспринимаемой водой, которая обтекает корпус движущейся яхты. Косвенной причиной образования кильватерной струи является вязкость воды. Механизм

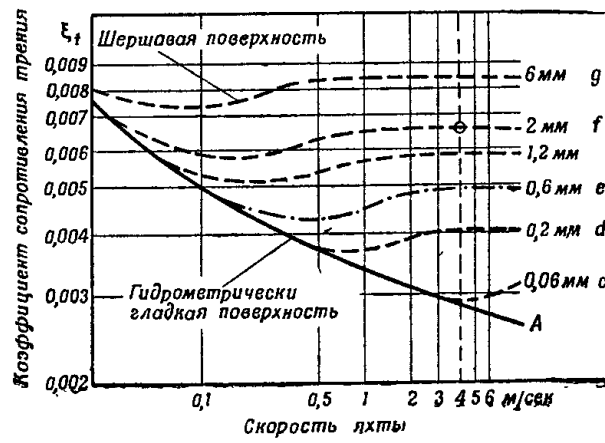


Рис. 163: График коэффициентов сопротивления трения в зависимости от скорости яхты

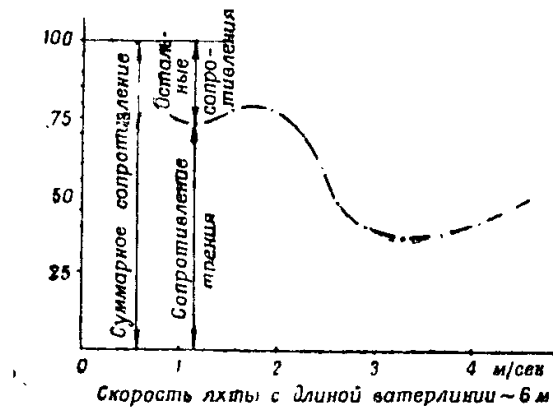


Рис. 164

Рис. 164: Зависимость сопротивления трения от скорости яхты и его доля в общем сопротивлении

возникновения сопротивления формы был достаточно подробно рассмотрен в разделе «Основы аэродинамики паруса». Не углубляясь в детали, заметим только, что сопротивление формы корпуса яхты прежде всего зависит от соотношения двух характерных величин: L_k — расстояния от плоскости мидельшпангоута до кормы, в м, и F — площади погруженной части плоскости мидельшпангоута, в м² (рис. 165):

$$\frac{L_k}{F}$$

Чем более плавный переход имеет корпус от формы в наиболее широкой своей части у диаметральной плоскости к формам и очертаниям кормы, тем спокойнее вода обтекает корпус, а следовательно, тем меньше расходуется энергии движения на образование вредных завихрений. О величине сопротивления формы можно судить по протяженности кильватерной струи, тянущейся за кормой. Приближение очертаний подводной части корпуса к форме капли снижает потери энергии и уменьшает протяженность кильватерной струи.

На рис. 166 показано обтекание водой трех тел различной формы, движущихся в воде. Сбоку даны относительные величины коэффициентов сопротивления формы, показывающие, какое сильное влияние оказывает степень вытянутости кормы на величину сопротивления.

Примерно до 1945 г. гоночные яхты для внутренних водоемов отличались исключительно острыми формами корпуса. Желая уменьшить сопротивление формы, конструкторы задавались чересчур большим отношением длины по ватерлинии к ширине, взятой также по ватерлинии. Например, известная гоночная яхта «Хейди» в 1935–1940 гг. имела отношение $\frac{L_{KLW}}{B_{KLW}} = 5,9$. В настоящее время у самой современной и быстроходной яхты класса «5–0–5» это отношение равно только 3,6. А в современном яхтостроении наблюдается тенденция еще больше уменьшать это соотношение. Взгляды конструкторов изменились, так как выяснилось, что при больших скоростях, когда корпус яхты приподнимается и частично выходит из воды, сопротивление формы уже не играет особой роли. Существенное значение приобретает величина смоченной поверхности и связанное с ней сопротивление трения. Глиссирующий корпус очень мало погружен в воду и не вызывает столь больших завихрений, такой длинной и глубокой кормовой струи, как яхта с полной осадкой, хотя и идущая на меньшей скорости.

В конструировании килевых яхт пропорции основных размеров корпуса в основном сохраняются без заметных изменений, но все же можно подметить склонность к проектированию яхт небольшого водоизмещения, у которых остойчивость достигается не только за счет балласта, но и все в возрастающей степени за счет соответствующего изменения формы корпуса. Так как возможности глиссирования у килевых яхт ограничены, конструкторам приходится считаться с сопротивлением подводной части корпуса. Именно это обстоятельство является причиной того, что в проектировании килевых яхт осталось в силе прежнее оптимальное отношение длины корпуса к его ширине.

Большое влияние на величину сопротивления формы оказывают контуры мидельшпангоута. Интересные эксперименты в этой области провел австралийский конструктор И. Сабо. Он измерял сопротивление движению модели корпуса яхты в гидродинамическом канале. Вес и смоченная поверхность у всех моделей бы-

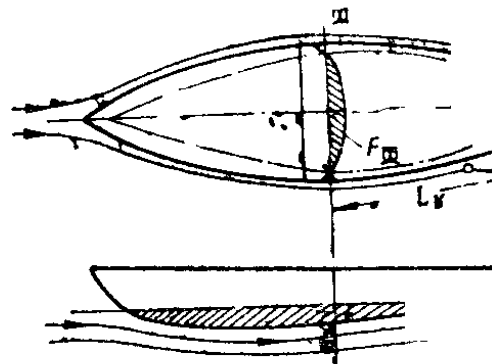


Рис. 166

Рис. 165: Характерные величины, определяющие сопротивление формы корпуса

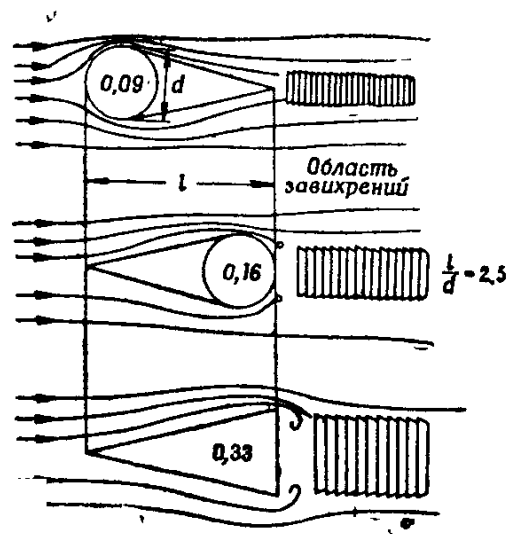


Рис. 167

Рис. 166: Обтекание водой трех тел различной формы и относительные коэффициенты сопротивления формы

ли одинаковыми, а форма мидельшпангоутов — разная. Результаты исследований даны на рис. 167.

Кривые *I*, *II*, *III* и *IV* показывают изменение общего сопротивления корпуса с разными обводами в зависимости от скорости хода. Сравнивая кривые *I* и *II*, мы видим, что сопротивление корпуса типа «шарпи» (яхт классов «Пират» и «Снайп») в области средних скоростей примерно на 10% больше, чем сопротивление округлого корпуса. На малых скоростях у корпуса «шарпи» сопротивление примерно на 30% больше, чем у яхт с круглошпангоутным корпусом, но по мере роста скорости эта разница уменьшается, а при скорости около 16 км/час картина радикально меняется. На кривой *II* получается почти горизонтальная площадка, указывающая на внезапный резкий спад гидродинамических сопротивлений. Происходит это потому, что корпус с обводами «шарпи» раньше и легче переходит на режим глиссирования.

стр. 244

Кривая *III* относится к корпусу типа «плашкоут» — одной из разновидностей формы «шарпи» с обрубленными носовыми образованиями и мидельшпангоутом почти прямоугольной формы. В области малых и средних скоростей эта форма корпуса хуже двух предыдущих, но излом кривой наступает раньше, чем у кривой *II* при меньших скоростях. Это значит, что корпус такого типа начнет глиссировать раньше корпуса «шарпи».

Самой хорошей формой корпуса оказалась *IV* — та же форма «шарпи», но с вогнутым днищем в виде буквы *W*. В области малых и средних скоростей сопротивление этого корпуса равно сопротивлению круглошпангоутного, а при больших скоростях он наиболее выгоден. Излом кривой наступает раньше, чем у всех остальных форм, и, следовательно, яхта с такими обводами способна показать более высокую скорость при сравнительно небольшой силе тяги паруса. Приняв, согласно законам механики, сопротивление и силу тяги равными друг другу, из графика найдем, что при силе тяги 30 кГ яхта «шарпи» типа *II* получит скорость около 14 км/час, а типа *IV* — около 20 км/час.

стр. 245

Яхта с корпусом типа *IV* при ветре 6 баллов прекрасно показала себя и имела большое преимущество перед яхтами с нормальными корпусами типичных очертаний. Начальная остойчивость яхт новой формы значительно больше, чем у круглошпангоутных или обычных «шарпи», что позволяет оснащать их большей площадью парусов. Свойства и достоинства корпусов этого типа напоминают свойства катамаранов.

Опыты с моделями *I*, *II*, *III* и *IV* проходили на спокойной воде с осадкой, предусмотренной проектом, т. е. с погружением вдоль теоретической ватерлинии. В действительности яхты плавают с некоторым креном, а он, несомненно, влияет на величину сопротивления. Каждый тип яхты имеет свою характерную ватерлинию, при которой сопротивления движению будут наименьшими. Обычно эта линия совпадает с конструктивной ватерлинией.

Даже очень небольшая разница в форме обводов корпуса может быть причиной заметного изменения сопротивления. Были испытаны две модели одинаковых размеров и формы. Отличались они только формой кормовых образований: у модели *A* была вельботная корма, а у модели *B* — обычная яхтенная плоская. График на рис. 169 показывает разницу, обнаруженную в сопротивлении этих двух моделей при исследовании их в гидродинамическом канале. Оказалось, что во всем диапазоне скоростей, малых, средних и больших, модель *B* лучше модели *A*.

Обращает на себя внимание слабый прирост скорости килевых яхт после скорости 7–8 узлов. Даже значительный рост сил на парусе очень мало увеличивает скорость яхты. Кривые имеют плавный характер и не образуют таких изломов, какие наблюдаются при испытании швертботов (см. рис. 167).

Теоретическое вычисление сопротивления формы — трудная задача, поскольку оно очень тесно связано с сопротивлением трения и проявляется одновременно. Такая связь объясняется тем, что оба сопротивления возникают вследствие проявления сил вязкости воды. Можно считать, что сопротивление формы у швертботов достигает 10–15% всех вредных сопротивлений движению яхты.

4.4 Сопротивление волнообразования

Значительная часть кинетической энергии яхты тратится на образование волн на поверхности воды на ходу яхты. Образуются два рода волн: а) косые, носовые и кормовые; б) поперечные (рис. 169). Волны того и другого рода непременно возникают около носа и кормы любой яхты, движущейся по воде с частично погруженным корпусом. Косые волны складываются из отдельных коротких волн, гребни которых с диаметральной плоскостью составляют угол α , равный 36–40°. Линии, проходящие примерно через начало образования косых волн, составляют с диаметральной плоскостью угол β , равный 18–20°.

И носовые, и кормовые косые волны образуются и распространяются одинаково, однако высота кормовых волн меньше.

Между гребнями косых волн образуются поперечные волны. Они возникают в тех же местах, что и косые, но их гребни направлены перпендикулярно диаметральной плоскости или направлению движения яхты.

4.4.1 Образование волн

Возникновение волн можно объяснить с помощью уравнения Бернулли:

$$\frac{\gamma \cdot v_1^2}{2g} + \gamma \cdot h_1 + p_1 = \frac{\gamma \cdot v_2^2}{2g} + \gamma \cdot h_2 + p_2 = \text{const.}$$

Иначе это уравнение можно выразить так: сумма энергий кинетической, потенциальной, энергии давления и потенциальной энергии положения для любой частицы идеального потока есть величина постоянная.

Во всех последующих рассуждениях неподвижным будем считать корпус яхты, а движущейся — саму воду. Такое допущение не противоречит законам механики и удобнее для применения уравнения Бернулли. Выведенное для идеального потока уравнение Бернулли тем не менее может быть с большой степенью точности применено к воде, имеющей определенную вязкость. Такое допущение сильно упростит и облегчит выяснение существа возникновения волн.

Поскольку каждая частица воды, обтекающая корпус яхты, испытывает на себе атмосферное давление p , то уравнение Бернулли окончательно будет иметь следующий вид:

$$\frac{\gamma \cdot v_1^2}{2g} + \gamma \cdot h_1 = \frac{\gamma \cdot v_2^2}{2g} + \gamma \cdot h_2 = \text{const.}$$

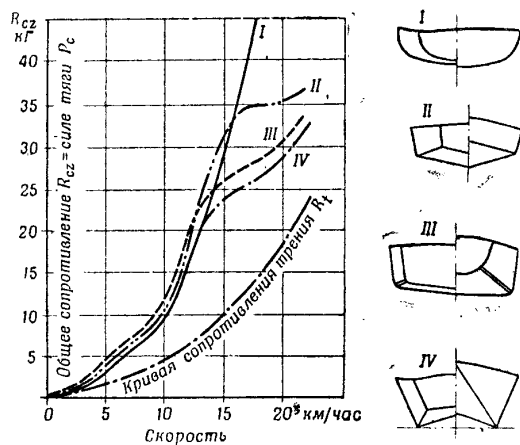


Рис. 168

Рис. 167: Сопротивление корпусов с разными обводами мидельшпангоута (по И. Сабо)

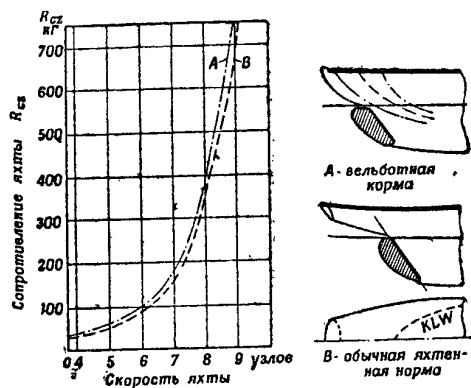


Рис. 168: Сравнение сопротивлений двух моделей с вельботной (А) и яхтенной (В) кормой

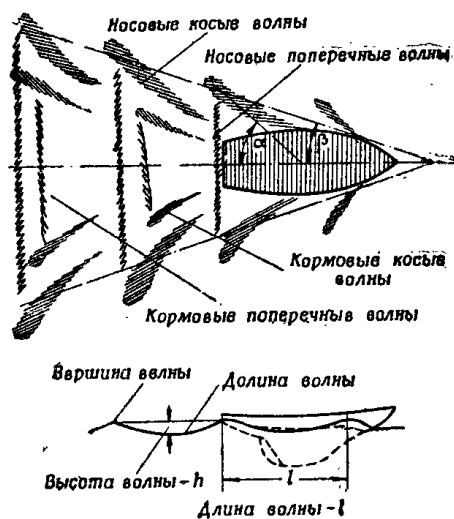


Рис. 169: Волны, образуемые яхтой: косые и поперечные

Допустим, что на некотором расстоянии от корпуса яхты ему навстречу движется частица воды со скоростью v (рис. 170, I). В точке столкновения с корпусом 1 частица воды испытывает некоторое торможение. В точке 2 из-за уменьшения свободного прохода потока скорость частицы воды возрастет до величины v_2 .

В районе кормы вследствие увеличения свободного сечения потока скорость частиц упадет до величины v_3 . Итак, около яхты изменяется скорость частиц воды, обтекающих ее корпус (рис. 170, III). Следовательно, изменится величина кинетической энергии частиц воды. В точке 1 кинетическая энергия уменьшается. Но так как сумма кинетической и потенциальной энергии остается величиной постоянной, то одновременно с уменьшением кинетической энергии должна возрасти потенциальная энергия положения частичек воды. В точке 1 частицы воды будут приподняты на уровень h_1 , вода будет громоздиться, при этом в энергетическом отношении сохранится следующее условие:

$$\frac{\gamma \cdot v^2}{2g} = \frac{\gamma \cdot v_1^2}{2g} + \gamma \cdot h_1.$$

В точке 2 кинетическая энергия возрастет, отчего уменьшится потенциальная энергия положения частиц воды в данном сечении (на величину $\Delta p = \gamma \cdot h_2$). При этом неизменно будет соблюдаться следующее равенство

$$\frac{\gamma \cdot v^2}{2g} = \frac{\gamma \cdot v_2^2}{2g} - \gamma \cdot h_2.$$

Периодическое изменение этих двух форм энергии частичек воды графически показано на рис. 170, II.

Надо заметить, что вследствие уменьшения прохода для воды под днищем яхты (рис. 170, IV) должны появиться, особенно в сечении 2, разрежения, вызывающие добавочное погружение корпуса выше ватерлинии. Величину сил, вызывающих динамичное заглубление корпуса, обозначим буквой Q . Потом мы убедимся, что величина этой силы будет подвергаться некоторым изменениям в зависимости от скорости яхты.

В точках, где кинетическая энергия водных частичек уменьшается, начинается их нагромождение и образуются волны. Очевидно, это явление будет тем сильнее, чем большая часть кинетической энергии претерпевает изменения. Не трудно представить, что форма корпуса имеет большое влияние на образование волн. Чем длиннее и уже корпус, тем меньше волнообразование и связанные с этим потери энергии.

Косые волны, особенно носовые, яснее проступают на небольших скоростях; на больших скоростях хода становятся более заметны поперечные волны. Кормовые и носовые косые волны, распространяясь, не накладываются друг на друга, а остаются «самостоятельными», «отдельными» волнами. Носовые и кормовые поперечные волны ведут себя иначе. Длина их меняется в зависимости от скорости хода яхты, и они могут совмещаться. В связи с этим и коэффициент сопротивления волнообразования меняется в зависимости от того, есть резонанс или нет между носовыми и кормовыми поперечными волнами. Резонанс проявляется в полной мере тогда, когда гребни обеих волн совпадают. Наоборот, когда гребень одной волны совпадает с длиной другой, будет наименьшее волнообразование.

Длина поперечных волн l увеличивается вместе с увеличением скорости яхты и не зависит от собственной длины корпуса. Это свойство позволяет приближенно определить скорость хода на основании измерения длины поперечных волн. Высота волн H зависит, во-первых, от скорости яхты и, во-вторых, от формы корпуса и особенно его носовых образований. Чем длиннее и уже корпус, т. е. чем больше отношение $\frac{L}{B}$, тем меньше сопротивление. Чем полнее носовые обводы, т. е. чем больше водоизмещение носовой части корпуса, тем больше сопротивление и больше высота поперечных волн. Длина поперечных волн определяется по формуле:

$$l = \frac{2\pi}{g} \cdot v^2 = 0,64 \cdot v^2,$$

где v — скорость яхты, м/сек.

При скорости 1 м/сек длина волны l равна 0,64 м, при скорости 2 м/сек — 2,5 м, при скорости 3 м/сек — 5,8 м, при скорости 4 м/сек — 10 м.

4.4.2 Измерение волнового сопротивления

Волновое сопротивление, незначительное на малых скоростях (около 20% общего сопротивления), с увеличением скорости хода быстро растет и может достигнуть 70% общего сопротивления. Это заставляет яхтенных конструкторов тщательно подходить к форме корпуса яхты, особенно килевых гоночных классов, стремясь свести до минимума затраты энергии на волнообразование. Проект корпуса можно подвергнуть проверке, испытав в гидродинамическом канале сделанную по нему модель. Подобные испытания позволяют оценить величину волнового сопротивления модели, влияние крена яхты в плоскости миделя на общее сопротивление, угол дрейфа и т. п.

Такие предварительные исследования в гидродинамических каналах очень ускоряют процесс и экономят время, необходимое для усовершенствования данного класса яхт.

Опыт, который прежде накапливался многолетними наблюдениями над плавающими яхтами, теперь можно получить с помощью моделей за несколько дней.

Измерения волнового сопротивления, как и измерения аэродинамических сил, основываются на законах подобия. Модель и яхта должны быть подобны в геометрических размерах и контурных формах. Кроме того, должны быть соблюдены условия подобия скоростей движения яхты и модели, чтобы явления волнообразования были сравнимы. Основное условие подобия выражается формулой:

$$\frac{v_1}{\sqrt{gL_{KLW}}} = \frac{v_2}{\sqrt{gl_{KLW}}},$$

где: v_1 — скорость яхты, v_2 — скорость модели, L_{KLW} — длина яхты по ватерлинии, l_{KLW} — длина модели по ватерлинии.

Выражение $\frac{v}{\sqrt{gL}}$ называется числом Фруда. Оно определяет условия подобия явлений, происходящих под преимущественным воздействием сил тяжести, так же как число Рейнольдса определяет условия подобия явлений, возникающих преимущественно под действием сил внутреннего трения.

Предположим, мы хотим исследовать волновое сопротивление и поведение яхты с длиной ватерлинии $L_{KLW} = 10$ м на скорости хода 10 узлов и для этого изготовили модель в масштабе 1:10. Чтобы условия образования волн во время испытания модели были идентичными натуре, модель надо тянуть со скоростью x , которая вычислена по условию подобия, выраженному числом Фруда:

$$\frac{v_1}{\sqrt{gL}} = \frac{v_2}{\sqrt{gl}}; \quad \frac{10}{\sqrt{9,81 \cdot 10}} = \frac{x}{\sqrt{9,81 \cdot 1}}; \quad x = 3,17 \text{ узла.}$$

По результатам измерений, полученных в опытах при разных значениях числа Фруда (или разных скоростях модели), можно построить кривую коэффициента волнового сопротивления (рис. 171). Рассматривая эту кривую, мы заметим на ней характерный перегиб, который находится в области наибольшего взаимодействия поперечных носовых и кормовых волн. Под шкалой чисел Фруда помещена шкала скоростей швертбота класса «Н», высчитанная в м/сек. У любой плавающей яхты сильный рост коэффициента волнового

стр. 252

сопротивления начинается тогда, когда число Фруда равно 0,4, и достигает максимального значения на участке, где число Фруда составляет 0,5–0,55. Коэффициент волнового сопротивления достигает наибольшей величины в условиях, когда длина образованных яхтой волн близка к длине ватерлинии яхты. В этом случае яхта плывет, умекаясь в долине между двумя поперечными волнами, встающими перед ней и позади нее. По мере увеличения скорости яхты начинают возникать крутые носовые волны.

Классические килевые яхты не могут избавиться от сопротивления носовых волн, и это ставит известный предел практически возможной скорости хода яхты. Существует зависимость между максимальной скоростью килевой яхты и длиной ее ватерлинии: чем длиннее ватерлиния, тем больше скорость. Наибольшая скорость килевой яхты определяется так называемой «скоростью водоизмещения». Для яхт, поддерживаемых на ходу силами гидростатического давления, она и означает максимальную скорость. Другое дело с яхтами, которые на малых скоростях поддерживаются на воде силами гидростатического давления, а на больших скоростях на их корпус действуют уже не гидростатические, а гидродинамические силы. К этому роду яхт относятся современные швертботы классов «5–0–5», «Летучий голландец» и др. Более подробно этот вопрос будет рассмотрен в следующих разделах.

«Скорость водоизмещения» яхты, которая не может превзойти числа Фруда 0,55, можно вычислить приближенно по формуле:

$$v_w = 1,4-1,7\sqrt{L_{KLW}},$$

где: v_w — скорость яхты, м/сек, L_{KLW} — длина по ватерлинии, м.

стр. 253

На рис. 171 показана кривая R_f , характеризующая изменение волнового сопротивления яхты. Оно было вычислено по формуле:

$$R_f = \xi_f \cdot 51 \cdot v^2 \cdot F_{zm}.$$

где: ξ_f — коэффициент волнового сопротивления, F_{zm} — смоченная поверхность корпуса.

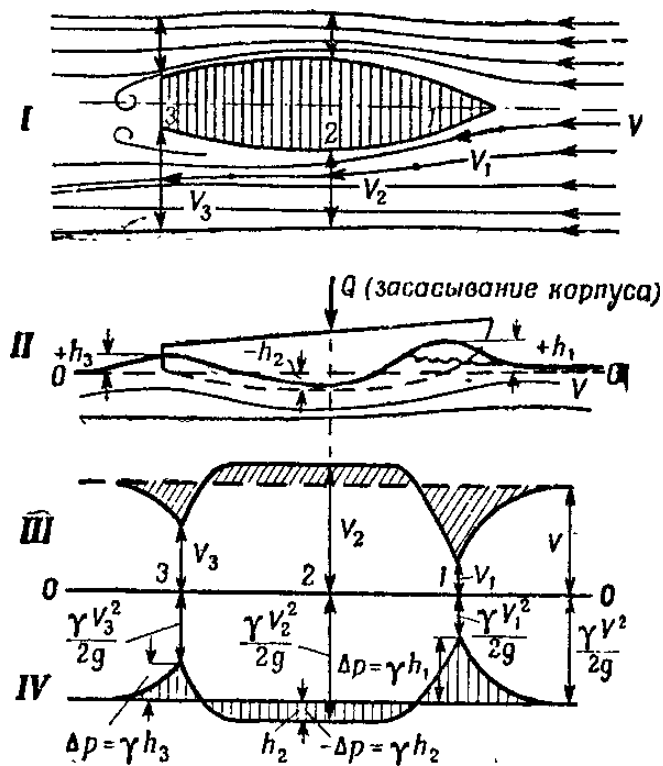


Рис. 171

Рис. 170: Изменение скорости потока и давления воды вдоль корпуса яхты

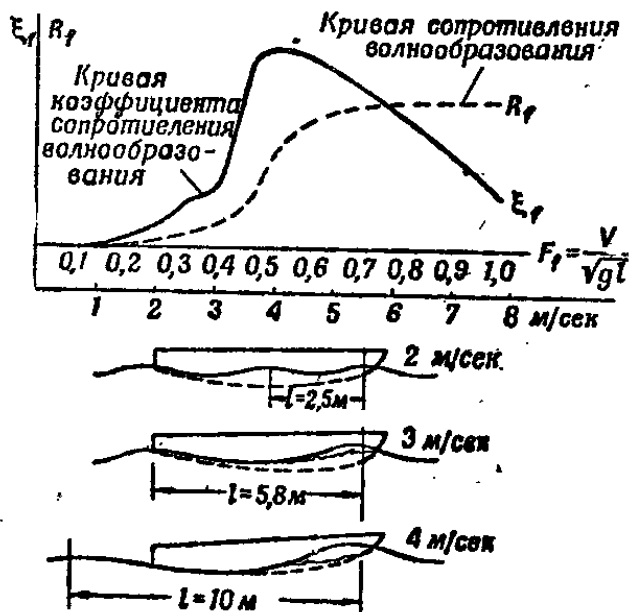


Рис. 172

Рис. 171: Кривая коэффициента волнового сопротивления и длины поперечных волн при разных скоростях

Рассматривая кривую волнового сопротивления R_f , мы видим, что сопротивление особенно сильно увеличивается на участке, где число Фруда близко к 0,5. Как только значение числа Фруда достигает 0,6, волновое сопротивление начинает расти очень медленно, практически почти оставаясь постоянным. Это может оказаться выгодным, так как открывает возможность достигнуть высоких скоростей глиссирования на яхтах определенного типа.

4.4.3 Действие гидродинамических сил

Во время исследования разных моделей в бассейне были сделаны интересные наблюдения над поведением моделей плоскодонных яхт и действием гидродинамических сил. Выяснилось, что на малых скоростях яхта поддерживается на поверхности воды силами гидростатического давления, т. е. вес уравнивается массой вытесненной ею воды. Этот род плавания можно назвать плаванием за счет водоизмещения. В границах скоростей, определяемых числами Фруда от 0 до 0,5, весь корпус яхты погружается в воду несколько выше конструктивной ватерлинии. Максимальное заглубление наступает, когда число Фруда становится равным 0,5 (рис. 172, 1); яхта плывет с приподнятым носом, помещаясь между кормовой и носовой волнами. Начиная от числа Фруда 0,5, с увеличением скорости на плоскодонный корпус действует динамическая реакция воды. Когда число Фруда станет равным 0,7, гидродинамические силы настолько возрастут, что уравнивают силу дополнительного погружения корпуса Q (сила Q возникает в результате засасывания корпуса во время движения, о чем упоминалось, когда рассматривались причины образования волн). Расположение сил, действующих на корпус при числе Фруда 0,7, показано на рис. 172, 2.

стр. 254

Сравнивая данные графика на рис. 173 с положением корпуса на рис. 172, 2, мы видим, что при числе Фруда 0,7 средняя осадка корпуса, измеренная по миделю, совпадает с осадкой, рассчитанной по теоретическому водоизмещению W_h .

С момента, когда число Фруда достигает 0,7, при последующем увеличении скорости корпус яхты время от времени будет приподниматься и выходить из воды несколько выше ватерлинии (рис. 172, 3). Из воды корпус приподнимают гидродинамические силы W_d , возрастающие с увеличением скорости хода яхты. С этого момента в движении яхты начинают преобладать элементы скольжения (глиссирования). В связи с частичным выходом корпуса из воды уменьшается сопротивление волнообразования, сокращается длина погруженной в воду части корпуса, уменьшается величина сопротивления трения, так как заметно уменьшается смоченная поверхность. Яхта еще не глиссирует в гидродинамическом смысле, но ее скорость может быть уже значительной. Истинное глиссирование появляется только тогда, когда значение числа Фруда $\cong 1,1$. При этом силы плавучести на 90–95% образуются за счет гидродинамической реакции W_d , и яхта скользит буквально по поверхности воды.

В верхней части графика (рис. 173) помещена шкала скоростей, вычисленных по соответствующим числам Фруда для швертбота класса «Н» с длиной по ватерлинии 6 м. Мы видим, что моменты глиссирования у этой яхты появляются только при скорости 5,5 м/сек, т. е. около 10,5 узлов. Истинное глиссирование наступает только после скорости 15–16 узлов. Самые современные швертботы («Летучий голландец» и «5–0–5») ходят со скоростью, близкой к указанной, но не быстрее.

стр. 255

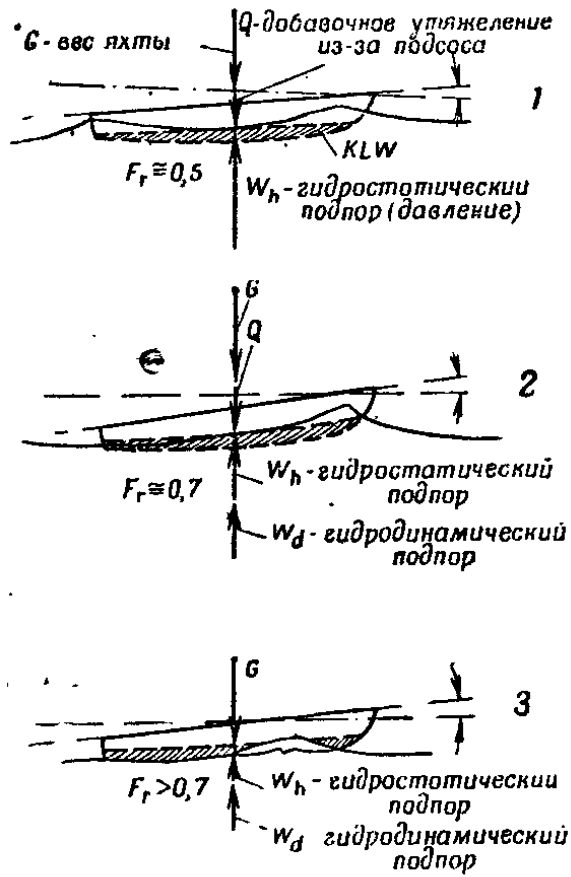


Рис. 173

Рис. 172: Положение корпуса и действующие силы при различных числах Фруда

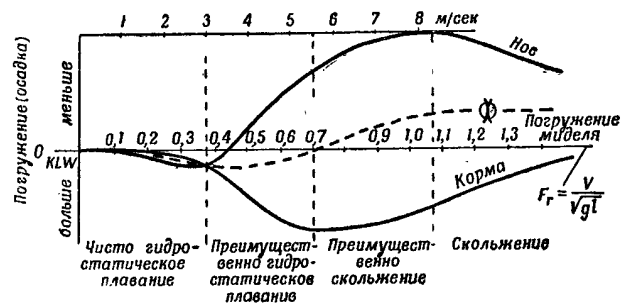


Рис. 174

Рис. 173: Погружение носа и кормы яхты в зависимости от числа Фруда и режимы плавания

Например, «Летучий голландец» при ветре 10 м/сек показывал максимальную скорость глиссирования 15 узлов. Таким образом, говоря о глиссировании с точки зрения гидромеханики, мы допускаем некоторую неточность.

Максимальная скорость самых быстроходных швертботов находится в границах $v_{\text{макс}} = 2,8-3,3\sqrt{L_{KLW}}$. Следовательно, рассуждая в дальнейшем о глиссировании яхт, мы будем понимать это явление в несколько ограниченном смысле.

4.4.4 Теоретические условия глиссирования

Чтобы парусная яхта могла глиссировать, она должна удовлетворять некоторым определенным условиям, учитываемым уже при проектировании. В отчетах об испытаниях моделей в гидродинамических бассейнах часто оперируют отношением водоизмещения к длине корпуса по ватерлинии. Его определяют по формуле:

$$\frac{D}{\left(\frac{L}{100}\right)^3},$$

где: D — водоизмещение, L — длина корпуса по ватерлинии (в английских футах).

Для морских крейсерских яхт отношение водоизмещения к длине корпуса находится в границах 350–500.

Такие яхты никакими возможностями глиссирования не обладают. Не будут глиссировать и яхты с небольшим водоизмещением, у которых это отношение находится в пределах 150–300. Наоборот, легко глиссируют яхты, имеющие отношение водоизмещения к длине 40–120. Например, отношение водоизмещения к длине у «Летучего голландца» — около 51, а у «Финна» — около 98.

Известный английский конструктор Уффа Фокс построил серию килевых яхт с плавниковым килем, которые достигают скоростей, близких к скорости глиссирования (рис. 174). В частности, яхтами этой серии «Флайинг» были достигнуты следующие скорости: «Флайинг 10» — 12 узлов, «Флайинг 15» — 14 узлов, «Флайинг 20» — 16 узлов, «Флайинг 25» — 17 узлов, «Флайинг 30» — 18 узлов.

Следующий исключительно важный фактор, определяющий возможность глиссирования, — отношение площади парусности к площади бокового сопротивления. Оно не должно быть меньше 2,3–2,6. Ясно, что увеличению площади парусности препятствует уменьшение поперечной остойчивости яхты. С этой точки зрения, однокорпусные яхты уже собственно достигли предела своих возможностей и едва ли могут увеличивать свою парусность. Поэтому они исчерпали возможность увеличить скорость. Именно этим объясняется большой интерес конструкторов быстроходных парусных судов к катамаранам, в конструкции которых кроются еще неизведанные возможности увеличения скорости парусных судов.

У глиссирующей яхты корпус должен быть определенной формы, т. е. иметь плоское днище достаточной площади, позволяющее быстро получать большую гидродинамическую подъемную силу. Как правило, современные глиссирующие швертботы делаются с широкой плоской кормой, вытянутой носовой частью и короткой, по отношению к ширине, ватерлинией.

Конструктивные требования к глиссирующим и не глиссирующим яхтам различны. Проектируя обычные яхты, скорость которых меньше скорости глиссирова-

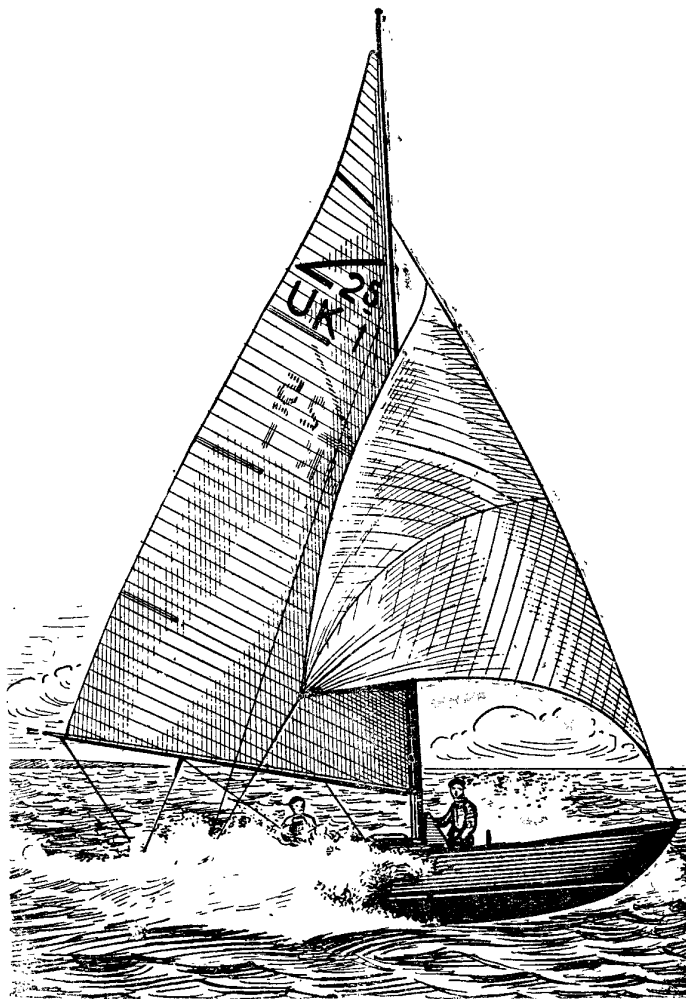


Рис. 175. Скоростная английская яхта типа „Флайинг“

Рис. 174: Скоростная английская яхта типа «Флайинг»

ния, основное внимание обращают на снижение сопротивления волнообразования, имеющего наибольшее значение в этом виде плавания, так сказать, плавания

гидростатического. Форма подводной части корпуса должна быть удлиненной, а поперечное сечение по миделю напоминать букву V . Глиссирующие яхты, поддерживаемые гидродинамическими силами, испытывают преимущественно сопротивление трения. Корпус их делают коротким, с плоским днищем и малым отношением $L : B$. Как видим, требования к этим двум типам яхт прямо противоположные. На практике яхты плавают в самых различных условиях, в сильный и слабый ветер, с большой и малой скоростью. Яхта, спроектированная из расчета на крайние условия, например на глиссирование, всегда будет проигрывать более длинным яхтам на слабых ветрах, и наоборот.

Резюмируя все сказанное о волновом сопротивлении и больших скоростях, можно установить, что только в результате действия динамических сил воды (без учета действия аэродинамических сил) положение корпуса относительно поверхности воды изменяется в зависимости от скорости яхты. Рулевой и команда должны быть очень внимательными и так располагаться на палубе и в кокпите, чтобы яхта не имела невыгодного дифферента на нос или на корму. Руководствоваться здесь следует характером образующихся вокруг корпуса волн. Искусная дифферентовка яхты и устранение вредного заглублиения носа или кормы играют большую роль в отыскании правильного положения для начала глиссирования. Очень важно также суметь добиться максимальной силы тяги парусов и сохранить минимальный общий вес яхты.

4.5 Добавочное сопротивление

Действующая на парус аэродинамическая сила не только двигает яхту вперед, но и создает момент, стремящийся развернуть корпус вокруг центра бокового сопротивления, или в сторону ветра, или, наоборот, от ветра. В первом случае говорят, что яхта склонна приводиться, а во втором — уваливаться (рис. 175). Как видно из рисунка, склонность яхты приводиться или уваливаться зависит от того, где по отношению к центру бокового сопротивления проходит линия действия аэродинамической силы.

Склонность яхты уваливаться считается серьезным недостатком, с которым борются конструкторы и рулевые. Поэтому на практике чаще встречаются яхты, склонные приводиться. Небольшая склонность приводиться на малых скоростях значительно возрастает, как только яхта пойдет быстрее. Происходит это от смещения на больших скоростях центра бокового сопротивления SBO несколько вперед. Перемещение центра бокового давления проявляется при уменьшении угла дрейфа и усиливается за счет носовой волны. Чтобы удерживать яхту на курсе, рулевому приходится держать руль под некоторым углом i к диаметральной плоскости. Чем больше приходится рулевому класть руль на борт, тем больше будет дополнительное сопротивление R_d , что ясно видно из показанных на рис. 175 положений руля. Очевидно, дополнительное сопротивление снижает скорость.

Величина и направление действия сил P_s и R_d на руль зависят от скорости хода яхты v , величины руля (его формы и профиля) F_{st} и угла отклонения руля

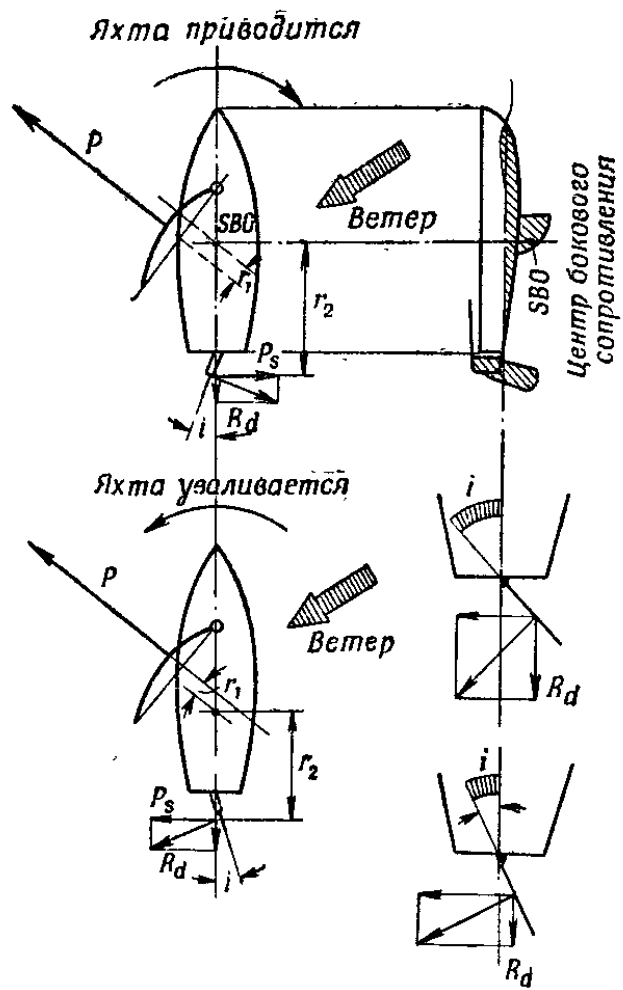


Рис. 176

Рис. 175: Склонность яхты приводиться и уваливаться; влияние положения руля на добавочное сопротивление

от диаметральной плоскости i . Силы P_s и R_d можно вычислить по формулам:

$$P_s = C_s \cdot 51 \cdot v^2 \cdot F_{st}, \quad R_d = C_r \cdot 51 \cdot v^2 \cdot F_{st},$$

где: C_s и C_r — гидродинамические коэффициенты руля.

На рис. 176 показано изменение этих коэффициентов в зависимости от угла отклонения руля i . График составлен для плоского руля с удлиненностью $\lambda = 3$, используемого на яхте класса «Н». Так, при отклонении руля на угол 15° коэффициент $C_s = 0,63$, а коэффициент $C_r = 0,18$.

стр. 260

Яхтсмену, участвующему в гонках, безусловно, интересно знать величину сопротивления и представлять, как она будет меняться в зависимости от положения руля. Сделаем соответствующие вычисления для яхты класса «Н», плывущей со скоростью 4 м/сек. Площадь руля $F_{st} = 0,25 \text{ м}^2$. Если подставить в формулу $R_d = C_r \cdot 51 \cdot v^2 \cdot F_{st}$ соответствующие величины коэффициентов C_r , взятые из графика на рис. 176, то получим (табл. 12):

Полученные величины приблизительны, но они показывают, какое большое значение может иметь дополнительное сопротивление, возникающее на руле. При достаточно большом отклонении руля это сопротивление может стать равным сумме всех остальных сопротивлений корпуса: сопротивлений трения, волнообразования и формы, вместе взятых. А ведь часто приходится наблюдать, как во время гонок рулевые с силой тянут на себя румпель, удерживая яхту на курсе. В общем, можно сказать, что яхтсмены недооценивают потерь, вызываемых добавочным сопротивлением, и поэтому не пытаются с ним бороться.

стр. 261

Как уже упоминалось, дополнительное сопротивление на руле возникает при необходимости компенсировать рулем склонность яхты приводиться. Уменьшить эту склонность можно передвижением мачты, соответствующим размещением команды, приподниманием шверта, сменой парусов и другими средствами. Чем больше крен, тем сильнее яхта приводится. Яхты класса «Н» при крене так сильно приводятся, что, удерживая их на курсе, рулевые часто ломают румпеля. Отсюда может быть только один вывод: ни при каких обстоятельствах не допускать значительного крена. Борьба с креном требует большого напряжения команды, хорошей физической подготовки ее, особенно на сильном ветре, но выигрыш в скорости хода получается значительный.

4.5.1 Влияние формы руля

Правила класса яхт «Финн» разрешают применять профилированные рули. В настоящее время больше распространены плоские металлические рули. Посмотрим, какое значение для гоночной яхты имеет профилированный руль.

На рис. 177 приведены кривые для двух гидродинамических коэффициентов: a — обычного плоского руля, b — профилированного. Внешние контуры у них одинаковые и удлиненность $\lambda = 5$.

стр. 262

График показывает, что наибольшая сила на обычном плоском руле получается при угле отклонения $i = 30^\circ$, которому соответствует коэффициент C_s , обозначенный отрезком OA . Этот же отрезок в известном масштабе представляет и величину возникающей на руле силы. Отрезок OC представляет величину возникающего на руле добавочного сопротивления.

Таблица 12: Добавочное сопротивление руля яхты класса «Н»

Положение руля под углом, град.	Сопротивление, кГ
10	18,4
15	36,8
20	57,2
25	82,0
30	102,0
35	123,0

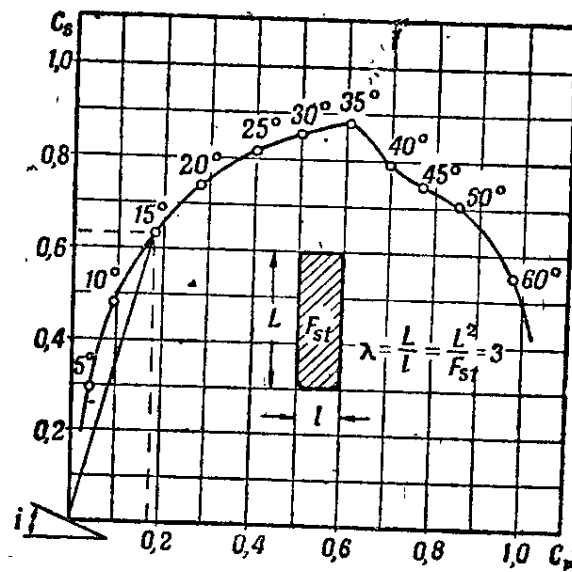


Рис. 177

Рис. 176: Гидродинамические коэффициенты руля C_s и C_t в зависимости от угла отклонения

Если теперь в таких же условиях мы применим профилированный руль с толщиной профиля 10%, то такая же сила OA будет получена при отклонении руля только на угол $i = 16^\circ$, а сопротивление руля выразится отрезком OB , меньшим, чем OC . Следовательно, профилированный руль дает большие преимущества, особенно для яхт, сильно склонных приводиться. Например, если поставить профилированный руль на яхту класса «Н», то при отклонении его на 20° мы получим дополнительное сопротивление около 28 кГ, вместо 57,2 кГ — с плоским рулем. Такая же картина наблюдалась бы и на других углах установки руля. На поворотах профилированный руль надо класть на меньший угол, и, следовательно, на каждом повороте будет меньше тратиться кинетической энергии и лучше сохраняться скорость яхты.

Наиболее эффективна работа руля тогда, когда требуемая сила P_s получена при наименьшем угле отклонения руля, т. е. при наименьшей величине дополнительного сопротивления R_d . Это зависит в первую очередь от отношения длины к ширине руля, или от его удлиненности λ . На рис. 178 даны кривые коэффициента C_s в зависимости от угла установки руля i . Они относятся к рулям прямоугольной формы с удлинением $\lambda = 1, 2$ и 5 . Нетрудно заметить, что для получения максимальной силы P_s руль с удлиненностью $\lambda = 5$ надо положить на угол $i = 16^\circ$, а руль с $\lambda = 1$ — на 30° . Следовательно, удлиненная форма руля более выгодна. Из этого же графика можно сделать еще один важный вывод — о наиболее выгодном угле отклонения руля, за который переходить нецелесообразно.

стр. 263

По мере отклонения руля сила P_s постепенно увеличивается и доходит до максимума при некотором определенном угле i для данного руля в зависимости от его формы. Увеличивая угол сверх оптимального ($i_{\text{опт}}$), мы не только не увеличим силу P_s , а, наоборот, эффективность работы руля понизится и одновременно непропорционально увеличится дополнительное сопротивление R_d . Правильное применение профилированных рулей позволит заметно понизить добавочное сопротивление.

В заключение надо заметить, что первое и самое важное средство борьбы с добавочным сопротивлением — свести до минимума склонность яхты приводиться. Нужно использовать и все прочие средства, чтобы по возможности исключить действия рулем как средства борьбы с приведением яхты.

4.6 Значение площади бокового сопротивления

Напомним, что при равномерном прямолинейном движении все действующие на яхту силы находятся в равновесии. В результате действия силы тяги P_c яхта движется вдоль оси симметрии со скоростью v_c , а под действием силы дрейфа P_d она перемещается вбок со скоростью v_d (рис. 179, I). В итоге яхта будет идти вперед со скоростью v по направлению, отклоненному от плоскости симметрии на угол δ , называемый углом дрейфа. На лавировке угол дрейфа обычно колеблется в пределах $5-10^\circ$.

стр. 264

Зададимся вопросом: почему яхта движется в направлении действия силы P_c , а не силы P_d , хотя последняя значительно больше первой? Это происходит потому, что боковое сопротивление яхты R_b во много раз больше лобового сопротивления R_{cz} . Следовательно, яхта будет «охотнее» двигаться в том направлении, на котором встречает меньшее сопротивление. Величина бокового сопротивления определяет его площадь.

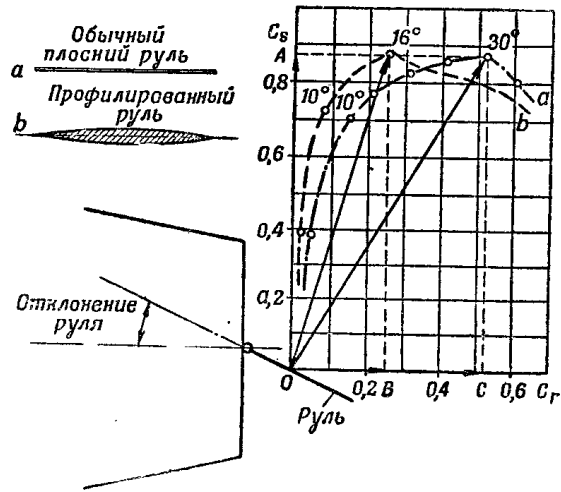


Рис. 178

Рис. 177: Сравнение гидродинамических коэффициентов обычного плоского и профилированного рулей

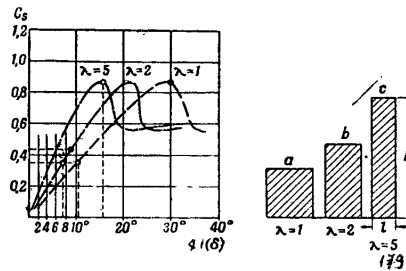


Рис. 179

Рис. 178: Коэффициент C_s руля в зависимости от угла отклонения для различных удлиненностей

Понятие «площадь бокового сопротивления» в общеупотребительном смысле не совсем точное. Например, поверхности профилированного шверта или фальш-киля яхты не будут площадями в геометрическом смысле, но в обычной парусной практике с такими неточностями не считаются.

Площадь бокового сопротивления, лобовое сопротивление и угол дрейфа δ находятся в тесной взаимозависимости. Разберем следующий интересный вопрос: какое значение имеет угол дрейфа δ и площадь бокового сопротивления для гоночной яхты?

Предположим, что две яхты соревнуются на олимпийской треугольной дистанции длиной 15 км. Угол дрейфа одной яхты равен 5° , другой — 10° (рис. 180). Спрашивается, какое преимущество будет у первой яхты, если, кроме угла дрейфа, во всех остальных отношениях они поставлены в абсолютно одинаковые условия?

стр. 265

В результате дрейфа первая яхта на участке 1000 м сносится под ветер на:

$$1000 \cdot \sin 5^\circ = 1000 \cdot 0,087 = 87 \text{ м.}$$

Вторая яхта с дрейфом 10° на том же участке будет снесена под ветер на:

$$1000 \cdot \sin 10^\circ = 1000 \cdot 0,174 = 174 \text{ м.}$$

Разница на участке дистанции 1000 м составляет 87 м.

На олимпийской дистанции лавировка занимает примерно 50% всей длины дистанции, т. е. около 7,5 км, и, следовательно, первая яхта выиграет у второй на протяжении всей дистанции $87 \cdot 7,5 \approx 650$ м.

Попробуем теперь определить: какая связь существует между углом дрейфа δ и силой бокового сопротивления, возникающей на площади бокового сопротивления, т. е. на шверте или на подводной поверхности корпуса килевой яхты?

Гидродинамическое действие шверта аналогично действию руля. Чтобы на шверте могла возникнуть сила, перпендикулярная его оси симметрии (сила, уравновешивающая силу дрейфа P_d), шверт должен быть установлен под некоторым углом к направлению движения яхты. Этот угол равен углу дрейфа яхты δ . Не нарушая основных принципов движения, можем принять, что шверт, расположенный по оси симметрии яхты, неподвижен, а вода течет в направлении, противоположном скорости движения яхты v (рис. 180, II). Тогда на шверте возникает сила R_b , величину которой можно подсчитать так же, как мы это делали для руля:

$$R_b = C \cdot 51 \cdot v^2 \cdot F_m,$$

где: C — гидродинамический коэффициент, v — скорость движения яхты, м/сек, F_m — поверхность шверта.

стр. 266

На малых углах дрейфа с достаточной точностью можно принять, что коэффициенты C и C_s равны (см. рис. 178). Величину коэффициента C_s можно определить, зная величину силы P_d , которой должна противодействовать такая же по величине и обратно направленная сила R_b , поверхность шверта F_m и скорость яхты v :

$$C_s = \frac{R_b}{51 \cdot v^2 \cdot F_m}.$$

Допустим, что, лавируя, яхта движется со скоростью 3 м/сек; сила, вызывающая дрейф $P_d = R_b = 80$ кГ, поверхность шверта — $0,5$ м². Подставляя эти

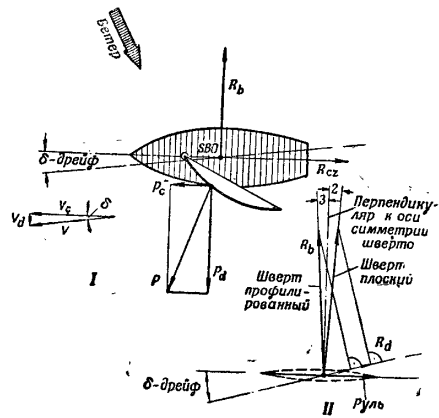


Рис. 180

Рис. 179: Силы, действующие на яхту при движении с дрейфом; профилированный и плоский шверт

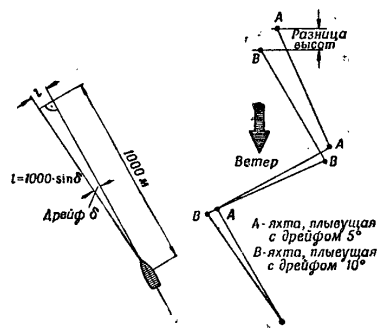


Рис. 181

Рис. 180: Влияние угла дрейфа на выигрыш высоты при лавировке

величины в формулу, получим:

$$C_s = \frac{80}{51 \cdot 3^2 \cdot 0,5} = 0,35.$$

Теперь попробуем найденный таким методом коэффициент $C_s = 0,35$ нанести на график (см. рис. 179). В результате убедимся, что такой коэффициент будет получен на шверте с отношением $\lambda = 1$ при угле дрейфа 11° , на шверте с отношением $\lambda = 2$ — около 7° , а на шверте $\lambda = 5$ — при угле дрейфа 5° .

Отсюда следует вывод, что угол дрейфа в сильной степени зависит от формы поверхности бокового сопротивления. Чем более удлинен шверт, тем при меньшем угле δ наступает уравнивание силы P_d , вызывающей дрейф яхты. Иными словами, чем больше отношение длины шверта к ширине, тем он эффективнее в гидродинамическом отношении и тем острее может идти яхта. Вот почему в самых модернизированных конструкциях стали применять шверты такой формы, как на рис. 182, 1. Подобные тенденции наблюдаются при создании не только швертботов, но и килевых яхт.

стр. 267

Направление действия силы бокового сопротивления R_b при плоском шверте проходит позади перпендикуляра к оси симметрии шверта (см. рис. 180, II). Для профилированного шверта эта линия проходит впереди перпендикуляра. Проецируя силу R_b на направление движения, получим составляющую, которая является мерой добавочного сопротивления шверта. Пользуясь простейшими тригонометрическими зависимостями, можем по рисунку определить, что добавочное сопротивление плоского шверта будет:

$$R_d = R_b \cdot \sin(\delta + 2^\circ),$$

добавочное сопротивление профилированного шверта будет:

$$R_d = R_b \cdot \sin(\delta - 3^\circ).$$

Считая, что $R_b = 80$ кГ, а угол дрейфа $\delta = 6^\circ$, найдем добавочное сопротивление плоского шверта:

$$R_d = 80 \cdot \sin 8^\circ = 80 \cdot 0,14 = 11 \text{ кГ},$$

а сопротивление профилированного шверта будет:

$$R_d = 80 \cdot \sin 3^\circ = 80 \cdot 0,05 = 4 \text{ кГ}.$$

Очевидно, профилированный шверт имеет большие преимущества по сравнению с обычным плоским. У него значительно меньше сопротивление движению, и поэтому профилированный шверт меньше тормозит ход яхты, чем обычный плоский.

Последние формулы показывают также, что гидродинамические сопротивления яхты увеличиваются с увеличением угла дрейфа. Испытаниями установлено, что увеличение или уменьшение угла дрейфа на 1° вызывает увеличение или уменьшение сопротивлений яхты на 7–8%. Если бы, например, удалось уменьшить дрейф килевой яхты с 6 до 4° , гидродинамические сопротивления уменьшились бы примерно на 15%. Яхта не только могла бы идти острее на 2° , но и скорость ее увеличилась бы примерно на 6%.

стр. 268

Уменьшая поверхность шверта сравнительно с принятой в примере на 20%, т. е. принимая $F_m = 0,4 \text{ м}^2$ вместо $0,5 \text{ м}^2$ и задаваясь прежними величинами $R_b = 80 \text{ кГ}$ и $v = 3 \text{ м/сек}$, получим:

$$C_s = \frac{80}{51 \cdot 3^2 \cdot 0,4} = 0,435.$$

Перенеся эту величину в график на рис. 179, убедимся, что у шверта, имеющего отношение $\lambda = 2$, угол дрейфа равен примерно 9° (на 2° больше, чем у шверта с площадью $0,5 \text{ м}^2$). Яхта с такой уменьшенной площадью бокового сопротивления будет лавировать менее остро и с меньшей скоростью (рис. 182). В достижении высоты яхта с меньшим швертом также уступит примерно на 6% яхте, имеющей шверт с большей площадью. Сила гидродинамического бокового сопротивления R_b , возникающая на шверте или на фальшкиле, более всего зависит от скорости яхты. В формулу, по которой вычисляется величина бокового сопротивления R_b , скорость входит во второй степени. Отсюда ясно, что чем больше скорость, тем меньше угол дрейфа.

На графике (рис. 183) показана зависимость между скоростью дрейфа v_d , скоростью поступательного движения v_c и углом дрейфа δ в первое время (от начала движения и до разгона) для килевой яхты. Для разгона килевой яхты, обладающей значительной инерцией, требуется больше времени, чем для швертбота. Но независимо от инерции яхты в любом случае для полного разгона, т. е. для достижения наибольшей скорости хода, нужно затратить какое-то время. В этот период в результате большого начального дрейфа теряется набранная «высота», что особенно важно на лавировке.

стр. 269

Период разгона будет больше, если рулевой по неопытности станет перебирать шкоты. На малом ходу вымпельный ветер становится более полным. Перебранные шкоты дают большую силу дрейфа P_d и в то же время небольшую слагаемую P_c (силу тяги). Яхта с перебранными шкотами будет упорно дрейфовать и очень мало двигаться вперед. С этим надо считаться особенно в предстартовое время.

Желая уменьшить угол дрейфа, конструкторы и строители пытаются применять шверты специальных конструкций. Примером может служить одна из самых быстроходных яхт — яхта американского класса «Скоу».

Плоскодонный корпус этой яхты снабжен соответственно выгнутыми швертами (рис. 184). Шверты поставлены под некоторым углом к оси симметрии, так что их плоскости пересекаются где-то на продолжении оси симметрии впереди яхты. На лавировке наветренный шверт поднимается. Когда убирается шверт B , то на подветренном шверте A , установленном под углом δ может возникать достаточная сила бокового сопротивления даже тогда, когда яхта идет с некоторой скоростью вовсе без дрейфа. Аналогичное действие можно получить, применяя шверт, установленный в плоскости симметрии яхты, если его можно будет поворачивать на некоторый желательный угол δ . Таковы возможности устранения дрейфа яхты.

стр. 270

Заканчивая изложение вопросов, относящихся к гидродинамическим сопротивлениям яхты, отметим, что примеры вычислений сопротивлений трения, волнообразования, сопротивления формы и добавочного сопротивления руля и шверта, т. е. суммарное вычисление общего лобового сопротивления яхты, имеют скорее поучительный характер. Они не представляют собой точных количественных определений величины гидродинамических сопротивлений какой-нибудь определенной яхты. Такие определения можно делать или в гидроканалах на моделях, или в на-

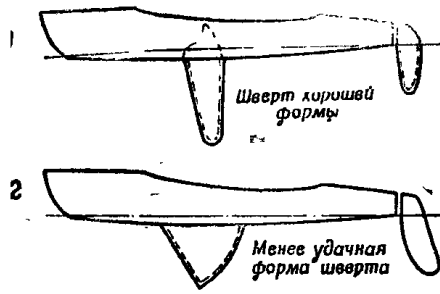


Рис. 182

Рис. 181: Плоский и профилированный шверт

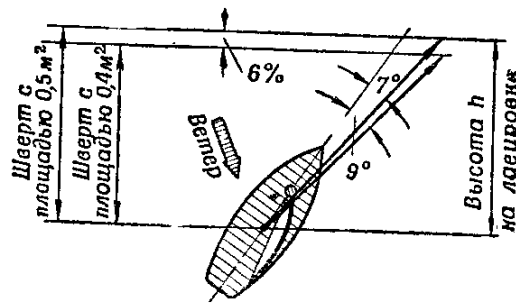


Рис. 183

Рис. 182: Влияние площади шверта на высоту лавировки

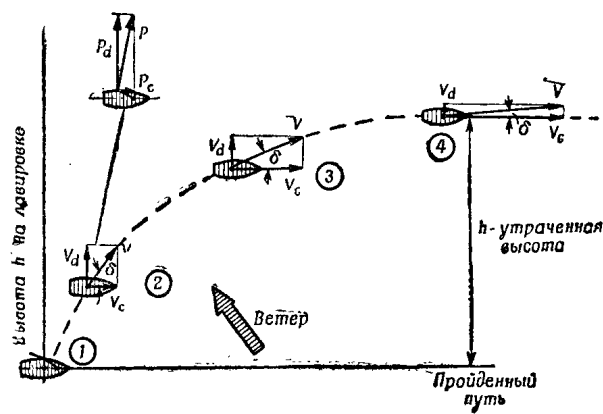


Рис. 184

Рис. 183: Изменение скорости дрейфа, поступательной скорости и угла дрейфа при разгоне яхты

туре с помощью специальных методов и приборов. Положения этой главы только частично основывались на экспериментальных данных. Приведенными примерами преследовалась цель показать многообразие гидродинамических сопротивлений корпуса, облегчить понимание их действия на движение яхты.

4.7 Равновесие яхты

стр. 270

Вспомним, что равновесие яхты может быть нарушено в плоскости мидельшпангоута, в плоскости ватерлинии и, наконец, в плоскости симметрии (диаметральной плоскости). Соответственно различают три вида равновесия яхты: поперечное, равновесие направления (курсовое) и продольное, или дифферент яхты.

Для безопасности плавания важнее всего сохранять поперечное равновесие яхты. Этот вопрос уже рассматривался в предшествующих главах; теперь мы попытаемся установить, какое влияние оказывает поперечное равновесие, или, иначе говоря, крен яхты, на скорость хода.

Все три вида равновесия яхты тесно связаны между собой и часто проявляются одновременно. Нарушение, например, поперечного равновесия немедленно вызывает изменение условий равновесия направления и дифферента. Рулевому для сохранения определенных условий равновесия и курса яхты приходится постоянно быть начеку и регулировать натяжение шкотов и положение руля.

стр. 271

В полном согласии с прежними выводами, касающимися сопротивлений, которые яхта испытывает на ходу, можно принять, что для любой яхты есть какое-то оптимальное положение равновесия, обеспечивающее максимальную скорость. Исходя из проектных положений, можно утверждать, что самым выгодным будет такое положение, когда действительная и конструктивная ватерлинии совпадают или почти совпадают. Во время гонки условия волны и ветра меняются; от рулевого требуется большое умение, чтобы держать яхту в наивыгоднейшем положении равновесия. Такое умение — один из важнейших показателей гоночного искусства рулевого.

4.7.1 Поперечное равновесие

Возникающая на парусе аэродинамическая сила двигает яхту вперед, сносит ее под ветер и создает бортовой крен. Остойчивость однокорпусных, обычных, парусных яхт в плоскости шпангоутов минимальна, поэтому они легко поддаются крену, заметно влияющему на скорость хода яхты.

Определенный крен устанавливается тогда, когда кренящий момент M и восстанавливающий момент M_p равны (рис. 185).

Для швертбота кренящий момент равен:

$$M = P_d \cdot h,$$

где: P_d — аэродинамическая сила паруса, h — плечо пары сил P_d и R_b .

Восстанавливающий момент равен:

$$M_p = G_j \cdot l_1 + G_z \cdot l_2,$$

где: G_j — вес яхты, l_1 — плечо пары сил W и G_j , G_z — вес команды, l_2 — плечо действия пары сил G_z и W .

стр. 272

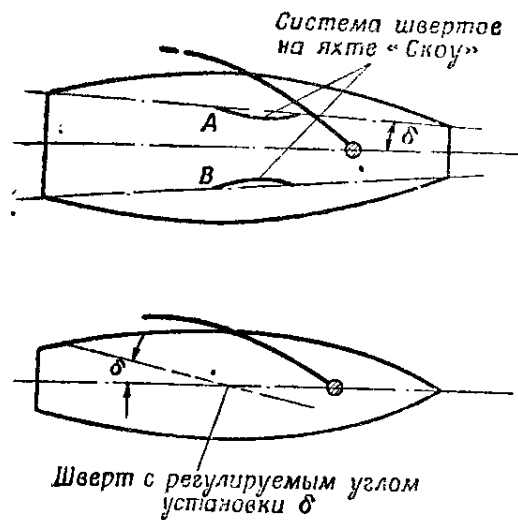


Рис. 185

Рис. 184: Система швертов на яхте «Скоу»; шверт с регулируемым углом установки

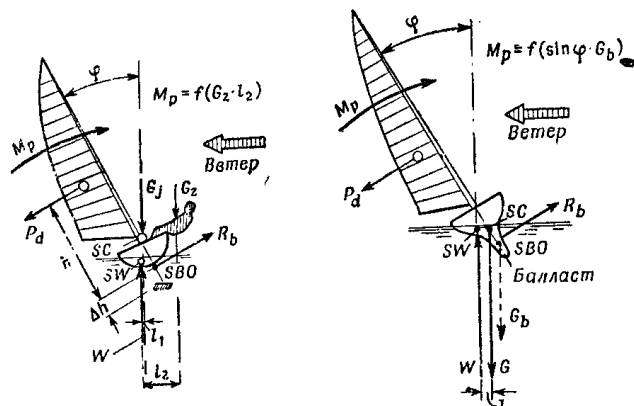


Рис. 185: Поперечное равновесие швертбота и килевой яхты

При установившейся, постоянной скорости ветра кренящий момент M с увеличением угла крена φ уменьшается, так как уменьшается и сила P_d на парусе. Величина аэродинамической силы пропорциональна рабочей поверхности паруса, проекция которой относительно ветра, т. е. на горизонтальную плоскость, изменяется приблизительно одинаково с $\cos \varphi$ угла крена. Но кроме крена, большое влияние на величину аэродинамической силы, а следовательно, и на силу тяги P_c и силу дрейфа P_d оказывает курс яхты, в зависимости от которого один и тот же крен по-разному влияет на ее ход. Сильнее всего крен отражается на ходе яхты при курсе 90° по отношению к направлению ветра; чем курс острее, тем меньше влияние крена. Но тогда появляется другой неблагоприятный фактор — уменьшение угла атаки α (рис. 186), который под действием крена меняется так же, как угол между диаметральной плоскостью и направлением ветра. В результате крена парус начинает заполаскивать, а рулевой почти инстинктивно стремится подбирать шкоты. Это вызывает дальнейшее уменьшение силы тяги P_c и увеличение силы дрейфа P_d , вызывающей крен яхты и снос ее под ветер. Кроме того, дрейф возрастает еще и потому, что скорость движения яхты вперед v_c уменьшится. Наконец, при некотором определенном угле крена φ восстанавливающий момент M_p равен кренящему моменту M и наступает равновесие.

стр. 273

Величина кренящего момента зависит от величины плеча h пары сил, одна из которых R_b , противодействующая дрейфу, проходит через центр бокового сопротивления.

Стоит отметить один интересный, практически возможный случай. На лавировке величина кренящего момента может внезапно сильно увеличиться, если швертбот коснется швертом дна и шверт несколько приподнимется. При этом плечо силы P_d увеличится на Δh , и если все возможности для откренивания уже исчерпаны, швертбот может опрокинуться. Это тем более вероятно, так как никаких признаков внезапного роста кренящего момента M , как это бывает в случае приближающегося шквала, в данном случае нет. Очевидно, рулевому будет легче удерживать яхту в положении наиболее выгодного равновесия, когда яхта обладает большим восстанавливающим моментом M_p .

На швертботе величина восстанавливающего момента зависит от двух факторов.

Первый из них — момент силы G_j на плечо l_1 , зависящий от конструкции яхты, т. е. от остойчивости корпуса. Оснащая яхту, рулевой в некоторой степени может воздействовать на этот фактор. Для этого ему нужно добиваться максимального снижения веса всего снаряжения яхты, находящегося выше ватерлинии, чтобы, насколько возможно, понизить положение центра тяжести яхты.

стр. 274

Но для увеличения восстанавливающего момента важнее другой фактор — действие живого балласта G_z на плечо l_2 .

Попробуем хотя бы приближенно подсчитать, как будет меняться крен яхты «Финн» в зависимости от степени откренивания и как это отразится на скорости хода. Допустим, что «Финн» идет курсом бейдевинд с креном 45° . Для упрощения пренебрежем остойчивостью корпуса и будем считать, что восстанавливающий момент создается только за счет откренивания. Соответствующие величины сил и длину плеч берем из рис. 187.

Движение яхты будет установившимся, когда кренящий момент $M = 45 \cdot 3 =$

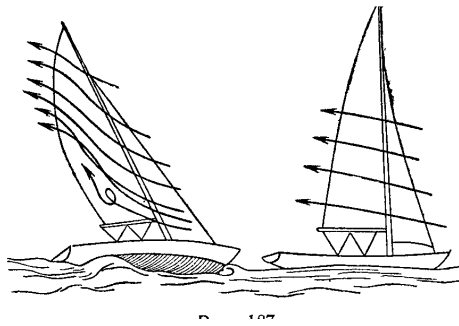


Рис. 186: Влияние крена на угол атаки паруса

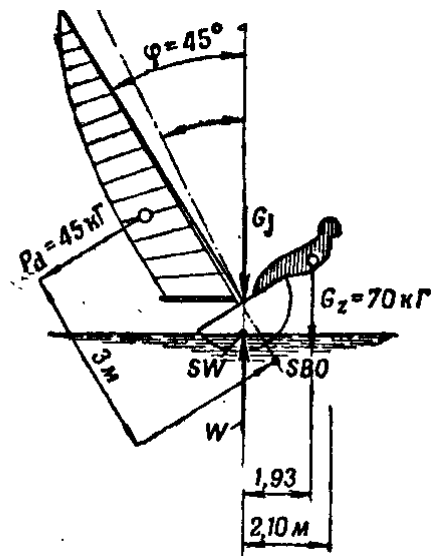


Рис. 188

Рис. 187: Поперечное равновесие яхты «Финн» при крене 45°

135 кГм равен восстанавливающему моменту

$$M_p = 70 \cdot 1,93 = 135 \text{ кГм.}$$

Если бы рулевому удалось увеличить плечо на откренении только на 17 см (это можно сделать, немного дальше выкинувшись за борт), то восстанавливающий момент увеличился бы до 147 кГм, а крен уменьшился. Известно, что возникающая на парусе сила пропорциональна $\cos \varphi$. На этом основании можно определить, что новое положение равновесия наступит при угле крена $\cong 39^\circ$. Действующая на парус сила P_d возросла бы в отношении к прежней как $\frac{\cos 45^\circ}{\cos 39^\circ}$, т. е. примерно на 10%. Настолько бы увеличилась и сила тяги. Так как сопротивление движению пропорционально квадрату скорости, то скорость яхты увеличится не на 10%, а только на 3,15%. Отсюда ясно, какое значение имеют физические данные (рост, вес) команды для откренения. Если бы в рассмотренном примере физические данные рулевого позволяли держать «Финн» с креном не более 10° , сила тяги на парусе возросла бы приблизительно на 42%. Скорость при этом увеличилась бы примерно на 6,5%, что на дистанции 1000 м дало бы преимущество около 15 длин корпуса яхты.

стр. 275

Чем больше собственный вес команды относительно общего веса яхты на ходу, тем сильнее его влияние на ход. На яхтах «Финн», «Летучий голландец» и «5-0-5» доля собственного веса команды доходит до 50% общего веса яхты. На олимпийских играх в Хельсинки в 1952 г. вес рулевых в классе «Финн» колебался от 65 до 105 кг. Можно себе представить, какое это имеет значение для гонок, особенно при довольно свежих ветрах, если мастерство рулевых одинаково.

Возвращаясь к рис. 186, заметим, что у швертботов сравнительно большая начальная остойчивость; поэтому откренение посредством «живого» балласта особенно выгодно в начальные моменты при небольших углах крена. Обратная картина наблюдается на килевых яхтах. Здесь вес балласта на малых углах крена играет незначительную роль, так как восстанавливающий момент является функцией синуса угла крена φ . Наиболее эффективен вес тяжелого фальшкиля на больших углах крена, т. е. в положении, когда действуют вредные, снижающие скорость яхты силы, вызванные креном.

Отношение веса команды к общему водоизмещению килевой яхты слишком мало, и поэтому проблема откренения здесь не стоит так остро, как на швертботе. Тем не менее и на яхтах малого водоизмещения искусное расположение команды и регулирование крена и дифферента яхты этим приемом могут быть очень полезными.

4.7.2 Влияние крена на сопротивление корпуса

Помимо изменения тяги P_c , крен вызывает изменение общего сопротивления корпуса движению яхты. Рост гидродинамических сопротивлений при увеличении угла крена φ наступает вследствие изменения поверхности и формы погруженной части корпуса. У яхты, идущей с креном, гидродинамическое обтекание подводной части корпуса менее благоприятно, чем у яхты, идущей на ровном киле. Но этого мало, с увеличением крена все больше дают себя знать другие вредные явления, например дифферент на нос и склонность яхты приводиться, на чем мы более подробно остановимся в следующих разделах.

стр. 276

На рис. 188 приведен график сопротивления корпуса килевой яхты в зависимости от скорости хода и угла крена φ . Он построен на основании исследований в гидродинамическом канале. Легко заметить, что на малых углах крена сопротивление корпуса увеличивается очень немного. С ростом скорости и при больших углах крена сопротивление уже заметно увеличивается, а при крене $\varphi = 35^\circ$ сопротивление увеличивается почти на 30%, и ясно видна тенденция к дальнейшему росту.

Учитывая, что при крене сила тяги уменьшается, а сопротивление корпуса растет, можно считать, что скорость яхты, идущей с креном 35° , будет примерно на 20% меньше скорости яхты, идущей без крена (это справедливо при средних скоростях движения).

Приведенные примеры ясно показывают, какое большое значение имеет крен для гоночной яхты. Команда должна приложить все усилия, чтобы крен во время гонки не превышал $10\text{--}15^\circ$. При переходе за эти границы яхта заметно теряет свои гоночные качества. Если физические данные команды недостаточны для эффективного откренивания, надо брать рифы.

Можно привести интересные данные, полученные во время испытаний на английской яхте класса «Виктори»: на свежем ветре под полными парусами скорость по лагу была 2,5 узла, а после взятия рифов, хотя оно не вызывалось необходимостью, скорость увеличилась почти на один узел, или на 40%. Отсюда следует один вывод: никогда не нужно нести полные паруса, если это вызывает чрезмерный крен, с которым не удастся справиться. Это одинаково относится и к швертботам и к килевым яхтам.

Из всего, что было установлено относительно крена, скорости и сопротивления яхты, можно сделать еще один существенный практический вывод: в первоначальном обучении яхтсмена и в тренировочных занятиях гонщика-разрядника часто не обращают внимания на потери, которые возникают от ошибок в управлении яхтой. Примером такой ошибки может быть манера перебирания шкотов и плавание на яхте с большим креном. Эта, может быть внешне эффектная, манера часто вызывается не сильным ветром, а излишним выбором шкотов. Недостаточно же опытному рулевому кажется, будто яхта идет с наибольшей скоростью, а он сам и команда — «удалые» моряки, отлично управляющие яхтой.

На основании всего сказанного об остойчивости яхты можно сформулировать два противоречивых положения: 1) сильный ветер и большая площадь парусности дадут большую аэродинамическую силу и большую скорость хода яхты; 2) сильный ветер и большая площадь парусов вызывают такой крен, при котором уничтожаются вышеупомянутые выгоды. Хорошей иллюстрацией такого противоречия служит приведенный на рис. 189 график зависимости скорости яхты от силы ветра. График относится к килевой яхте водоизмещением около 10 т, но качественная сторона вопроса остается одинаковой и для других яхт. Вначале, при сравнительно небольших скоростях ветра, скорость яхты растет почти пропорционально скорости ветра. После того как скорость ветра доходит до 12 узлов и увеличивается дальше, скорость яхты возрастает незначительно.

Для увеличения поперечной остойчивости яхты (и за этот счет увеличения скорости) некоторые конструкторы стали устраивать специальные приспособления. Одно из них применяется в классе «международных каноэ» (рис. 190), популярном в Англии и Америке. В конструкции этой яхты все подчинено интересам скорости:

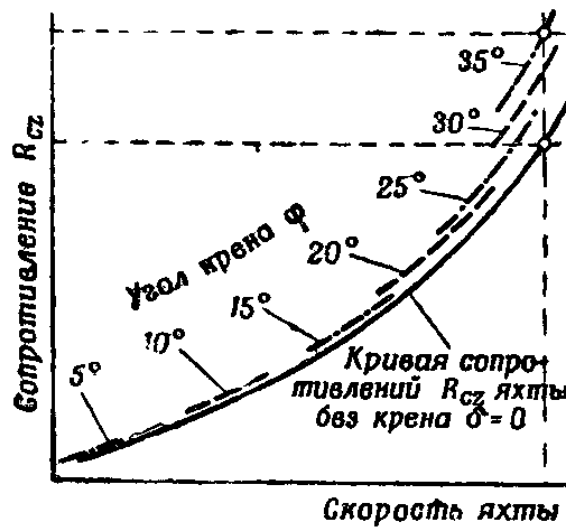


Рис. 188: Сопротивление корпуса килевой яхты при различных углах крена

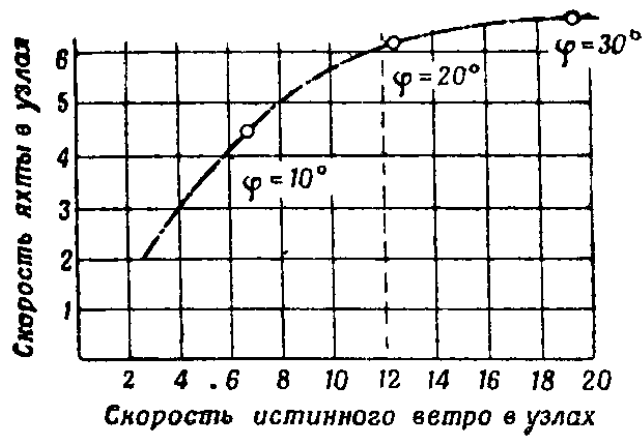


Рис. 190

Рис. 189: Зависимость скорости яхты от скорости ветра при различных углах крена

рулевой с помощью полутораметровой доски выносятся далеко за борт, корпус — очень легкий, незатопляемый, яхта легко поднимается после опрокидывания. Яхты этого класса ходили со скоростью до 16 узлов.

На яхтах «5–0–5» и «Летучий голландец» для откренивания используется специальная оттяжка, названная «трапецией», на которой шкотовый полностью вывешивается за борт (см. рис. 126). Поиски способов увеличения поперечной остойчивости однокорпусных яхт свидетельствуют о некотором кризисе, о «скоростном тупике» современного парусного спорта.

4.7.3 Динамическая остойчивость

В рассуждениях об остойчивости мы до сих пор принимали, что кренящий момент M действует в статических условиях. Такое допущение правильно, когда на парус непрерывно действует ветер, имеющий постоянную скорость и направление. В этих условиях равновесие наступает, когда кренящий и восстанавливающий моменты M и M_p уравновесят друг друга (рис. 191, I).

Угол крена φ будет определяться абсциссой точки пересечения кривой остойчивости, выражающей величину восстанавливающего момента M_p , с кривой, выражающей величину кренящего момента M . На швертботе команда может, откренивая, несколько уменьшить крен, т. е. уменьшить на ΔM величину кренящего момента. Чем тяжелее команда и чем лучше она обучена, тем эффективнее будет ее откренивание. Величина восстанавливающего момента является мерой статической остойчивости яхты.

Однако очень редко ветер дует с постоянной силой. Практически скорость и направление ветра заметно меняются и во времени, и в пространстве, иногда приобретая шквалистый характер. В результате характер действующих на парусе моментов будет не статическим, а динамическим.

Внезапный порыв ветра, ударяющий в парус, старается повернуть яхту вокруг центра водоизмещения, отчего яхта приобретает некоторую угловую скорость. Мачта яхты будет перемещаться в плоскости шпангоутов с возрастающей скоростью до тех пор, пока кренящий M и восстанавливающий M_p моменты не окажутся равными (рис. 192, II).

В положении φ_{st} , где наступает равновесие в условиях статического действия кренящего момента M , мачта еще будет двигаться с некоторой угловой скоростью. Перемещаясь по инерции дальше, она увеличит угол крена φ . Но так как, начиная с положения φ_{st} , восстанавливающий момент M_p становится больше кренящего, угловая скорость мачты, постепенно уменьшаясь, доходит до нуля. Равновесие установится тогда, когда работа восстанавливающего момента M_p полностью поглотит кинетическую энергию, приобретенную яхтой в первом периоде. Другими словами, угловая скорость уменьшится до нуля, когда работа восстанавливающего момента будет равна работе кренящего момента. При вращательном движении работа L обозначается произведением момента M на угловой путь, выраженный в радианах, т. е. $L = M \cdot \varphi$.

Графически работа кренящего момента показана заштрихованной площадью OMA на рис. 192, II. Динамический угол крена $\varphi_{дин}$ можно найти, восстанавливая перпендикуляр BC таким образом, чтобы площадь ABC была равна площади OMA . Этим достигается выполнение основного условия: работа кренящего и вос-



Рис. 191. Откренивание на международном каное

Рис. 190: Откренивание на международном каное

становливающего моментов равна. Таким образом, мерой динамической устойчивости будет величина работы восстанавливающего момента.

Величина угла $\varphi_{\text{дин}}$ может быть в два раза больше величины φ_{st} , а это значит, что при шквалистом ветре крен яхты будет в два раза больше, чем при ветре той же силы, но дующем равномерно.

Из рис. 192, II можно сделать еще один вывод: если порыв ветра столь сильный, что условие равенства работы моментов не может быть соблюдено, яхта опрокинется. На рис. 192, II, где площадь M_1A_1O выражает работу кренящего момента, а площадь A_1BC_1 — работу восстанавливающего, — первая больше второй.

стр. 281

Динамическое действие шквалистого ветра может быть усилено волнением воды. Как влияют волны на устойчивость, наглядно показано на рис. 192. При определенных условиях здесь тоже может наступить вредное взаимодействие крена яхты под действием ветра с креном от волны.

Динамическое действие ветра, волны и, наконец, «самовозбужденные раскачивания» яхты могут в сумме привести к опасному крену. Незнание или недооценка факторов равновесия часто ведет к опрокидыванию яхты, особенно у рулевых, слабо подготовленных теоретически. Знание этого раздела теории особенно необходимо для безопасного плавания на швертботах и килевых яхтах малого водоизмещения. Несоблюдение рассмотренных условий равновесия на больших килевых яхтах не угрожает безопасности плавания, но вредно отражается на скорости хода яхты.

4.7.4 Равновесие направления

Рассматривая равновесие яхты в горизонтальной плоскости (в плоскости ватерлинии), надо различать три вида равновесия: устойчивость на курсе, поворотливость и маневренность, или управляемость.

Устойчивостью на курсе называют способность яхты сохранять определенное направление движения вопреки действию внешних сил. Решающее значение для курсовой устойчивости имеет взаимное расположение линии действия аэродинамической силы паруса и центра бокового сопротивления подводной части корпуса.

Поворотливость — свойство яхты произвольно поворачиваться в горизонтальной плоскости вокруг так называемой оси вращения. Она зависит от двух факторов: формы подводной части корпуса и расположения массы яхты относительно центра тяжести. Чем больше сосредоточена подводная часть яхты около вертикали, проходящей через центр тяжести яхты, тем поворотливость больше. Так же влияет на поворотливость и сосредоточение массы вокруг центра тяжести.

стр. 282

На горизонтальной проекции корпуса яхты ось вращения находится между центром тяжести SC и центром бокового сопротивления SBO . Поскольку положение центра тяжести и центра бокового сопротивления непостоянно и меняется в зависимости от многих факторов, должно меняться и положение оси вращения (рис. 193).

Маневренность, или *управляемость*, — способность яхты не только сохранять курс, но и легко его менять по воле рулевого. Чем дальше расположен руль от оси вращения, чем размеры руля больше и лучше форма, тем лучше управляемость яхты. Принимая во внимание все сказанное о равновесии направления, поворотливости и управляемости яхты, не трудно убедиться в некоторой противоречивости требований, предъявляемых к конструкторам с точки зрения этих трех видов

стр. 283

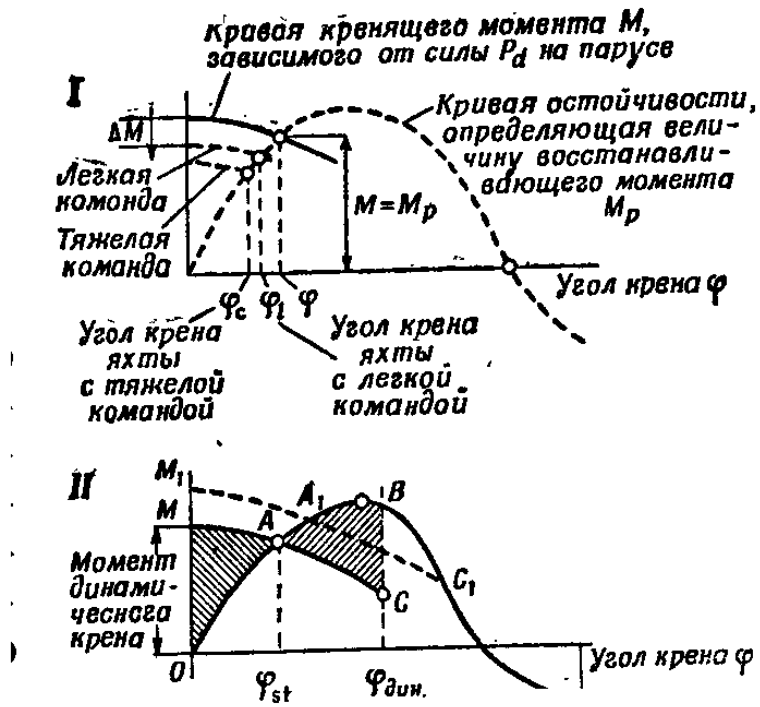


Рис. 192

Рис. 191: Статическая (I) и динамическая (II) остойчивость яхты

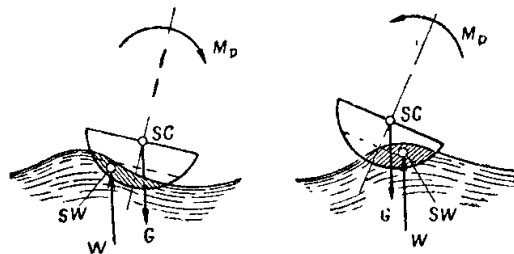


Рис. 193

Рис. 192: Влияние волн на остойчивость яхты

равновесия. Очевидно, яхта с большой устойчивостью на курсе была бы неповоротлива и плохо слушалась руля. Поэтому яхты обычно строят с ограниченной устойчивостью на курсе, чтобы легче было маневрировать.

4.7.5 Склонность яхты приводиться

Склонность яхты приводиться или уваливаться зависит от положения линии действия аэродинамической силы относительно центра бокового сопротивления. Об этой зависимости уже упоминалось в предыдущих главах. Яхта приводится потому, что на корпус действует определенный вращающий момент, пытающийся повернуть корпус вокруг оси вращения. Величина этого момента вычисляется по формуле:

$$M_s = P \cdot r,$$

где: P — равнодействующая аэродинамическая сила, r — плечо действия силы P .

Сравнивая систему сил, действующих на яхты 1 и 2 (см. рис. 193), мы видим, что первая больше склонна приводиться, чем вторая, потому что она идет с большим креном. Яхта будет устойчивой на курсе, если соблюдено следующее условие:

$$P \cdot r_1 = P_s \cdot r_2,$$

т. е. склонность яхты приводиться, определяемая моментом силы P , действующей на плечо r_1 , должна уравниваться другим моментом, а именно — моментом силы P_s с плечом r_2 .

Как видим, руль яхты выполняет две задачи: помогает сохранить устойчивость направления движения яхты и одновременно обеспечивает управление ею. Рассматривая рис. 193, можно убедиться в существовании тесной зависимости между креном и устойчивостью направления. Чем больше крен, тем сильнее яхта стремится уклониться от курса, так как с увеличением угла крена увеличивается плечо действия аэродинамической силы. Вращающий момент возрастает с увеличением угла крена φ и расстояния h между линией действия аэродинамической силы P и центром бокового сопротивления. Без заметной ошибки можно считать, что величина момента меняется в функции $h \cdot \sin \varphi$.

стр. 284

При сильных порывах ветра и очень большом крене вращающий момент может стать столь значительным, что рулевому не удастся рулем удержать яхту и она может привести до левентика. На рис. 194 показана яхта, идущая с большим креном. Насколько сильно она приводится, видно по положению руля.

стр. 285

Обратясь к расчетам, приведенным в разделе о гидродинамических сопротивлениях, можно установить, что добавочное сопротивление руля R_d , отклоненного на 30° , равно примерно 550% сопротивления руля, отклоненного только на 10° .

Уравнивать склонность яхты приводиться, или, иными словами, уравнивать действие вращающего момента посредством руля очень нежелательно. При всех условиях надо стараться свести величину вращающего момента до минимума, чтобы рулем приходилось работать как можно меньше.

Добавочное сопротивление руля приобретает особенно большое значение на скоростях, близких к скорости глиссирования. Вспомним, что на глиссировании корпус почти выходит из воды, сопротивление трения и волнообразования становится

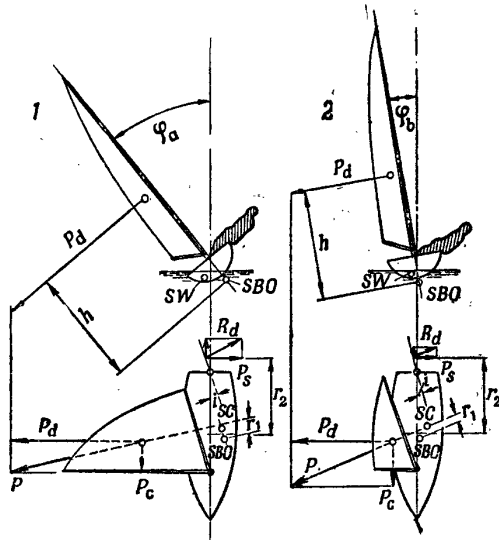


Рис. 194

Рис. 193: Равновесие яхты на курсе; силы, действующие на яхту в горизонтальной плоскости



Рис. 194: Чтобы яхта, идущая с креном, не приводилась, приходится класть руль под ветер

незначительным, а сопротивление руля будет почти что главным, противодействующим движению яхты. Вот почему его уменьшение важно для увеличения скорости глиссирования.

Некоторые рулевые, несмотря на удержание яхты без крена на ровном киле, все же испытывают трудности при введении яхты в режим глиссирования. В большинстве случаев это происходит от большого вращающего момента в горизонтальной плоскости, борясь с действием которого рулевой должен «класть руль под ветер» и сильно увеличивать сопротивление. Следовательно, возникает серьезный вопрос: какими путями можно бороться с вредным действием вращающего момента, т. е. со склонностью яхты приводиться?

4.7.6 Уменьшение вращающего момента

На рис. 108 было показано, что положение центра давления аэродинамических сил на парус меняется в зависимости от угла установки паруса относительно направления ветра. Форма паруса, его «пузатость» тоже влияют на положение центра аэродинамических сил. Для наглядности на рис. 195 эти зависимости показаны графически. Для вооружения типа шлюп положение центра давления аэродинамических сил будет меняться в границах между точками *A* и *B*.

В пределах курсов от острого бейдевинда до острого бакштага линия действия аэродинамических сил проходит через точку *B*. При переходе к более полным курсам центр давления перемещается к точке *A*. Чем более перебраны шкоты, тем ближе к центру парусности SO_z перемещается точка приложения аэродинамической силы *P*.

Подобные изменения происходят и с положением центра бокового сопротивления SBO (см. позиции 1, 2 и 3). Приподниманием шверта можно перемещать центр бокового сопротивления в сторону кормы. Этим путем можно значительно уменьшить величину вредного вращающего момента. О правильном расположении центра бокового сопротивления можно судить по ощущению, насколько яхта «лежит на руле». Следует добиваться такого положения, чтобы яхта заметно не «лежала на руле». Рулевой должен выработать у себя «чувство руля», которое подсказывало бы ему правильные решения. Многие рулевые в гоночной нервной обстановке совершенно забывают о необходимости контролировать положение шверта и в результате много теряют.

На скоростях, близких к скорости глиссирования, достигаемых на курсе бакштаг, желательно максимальное перемещение центра бокового сопротивления к корме. В этих условиях точка приложения аэродинамической силы *P* тоже перемещается к корме. Кроме значительного приподнимания шверта, полезно переместить команду ближе к корме.

Чрезвычайно полезной может быть тренировка с целью определить усилие, с которым надо держать румпель в зависимости от положения команды на палубе и степени поднятия шверта. Такое испытание надо проделать, перемещая команду от бака до самой кормы и регулируя степень опускания шверта.

На маленьких яхтах, например на «Финне», легко убедиться, что опускание шверта всего на несколько сантиметров во время глиссирования может прекратить скольжение.

Существенное влияние на величину вредного вращающего момента оказывает

стр. 286

стр. 287

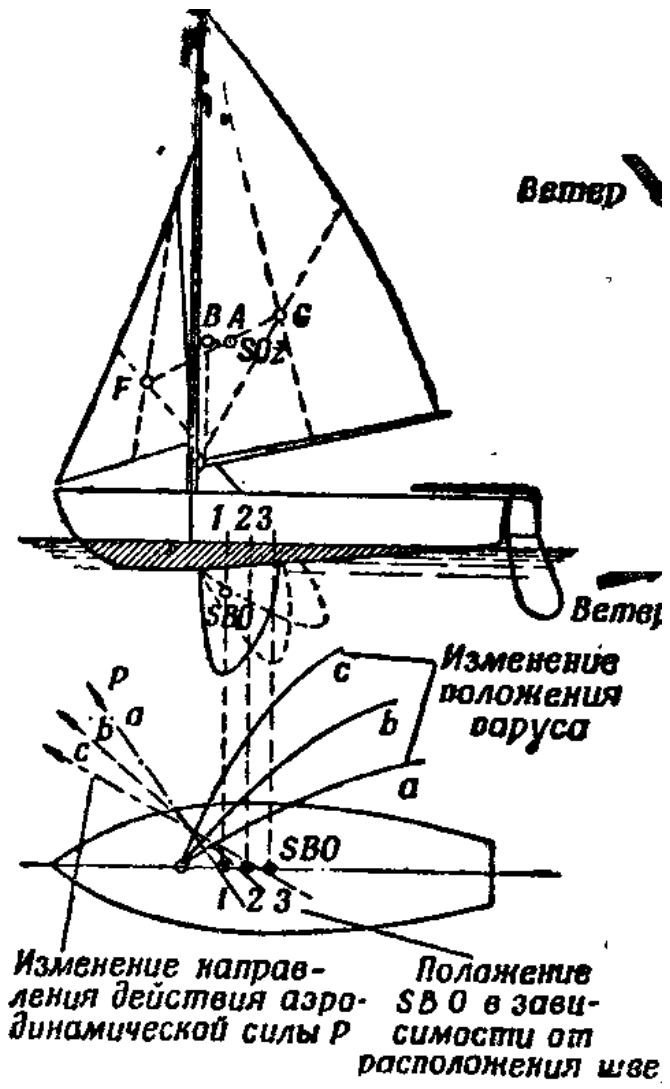


Рис. 196

Рис. 195: Изменение направления действия аэродинамической силы P и положения SBO в зависимости от расположения шверта

взаимное расположение парусов на яхтах, вооруженных несколькими парусами (рис. 196). Меняя на таких яхтах паруса или беря рифы, надо всегда учитывать возможность нежелательного роста вредного вращающего момента.

Определенное влияние на величину вращающего момента имеет положение мачты (см. рис. 196). В зависимости от положения мачты яхта может приводиться, но, наклонив мачту вперед, можно добиться того, что яхта не только перестанет приводиться, но даже начнет уваливаться.

Если на яхте поставить более «пузатый» грот, она будет сильнее приводиться.

На двухмачтовых яхтах при определенных условиях выгоднее, вместо того чтобы взять рифы, совершенно убрать некоторые паруса, оставив только те, при которых яхта сохраняет устойчивость на курсе.

4.7.7 Управляемость, маневренность яхты

Допустим, что на прямом курсе на яхте руль отклонен на некоторый угол i . Яхта тотчас изменит направление и пойдет по дуге круга с радиусом r . Теперь в любой момент движения яхты по окружности направление ее будет соответствовать касательной к окружности, проходящей через центр тяжести яхты. Разложим гидродинамическую силу сопротивления руля S по двум направлениям (параллельному и перпендикулярному к движению яхты) и получим две слагающих силы P и R_d (рис. 197).

Центробежной силе Q , приложенной в центре тяжести яхты, противодействует сила бокового сопротивления R_b , которая возникает на подводной части корпуса, движущегося с некоторым дрейфом δ .

Следовательно, истинное движение яхты складывается из нескольких отдельных перемещений: поступательного движения, дрейфа и поворота вокруг оси вращения, проходящей, как известно, вблизи центра тяжести яхты. Нос яхты будет находиться на внутренней стороне циркуляционной кривой, а корма — отбрасываться на ее внешнюю сторону. Характерное явление отбрасывания кормы при повороте яхты наружу легко может послужить причиной возникновения опасных ситуаций в гонках, особенно во время огибания знаков. Поэтому опасно делать повороты слишком близко к набережным, пирсам и т. п. Надо помнить, что только центр тяжести яхты движется точно по кривой циркуляции, корма же всегда выносится наружу. Однако об этом забывают иногда не только новички.

Радиус r циркуляционной кривой, по которой яхта движется на повороте, с достаточной степенью точности можно вычислить по формуле:

$$r = \frac{D \cdot v^2}{9,81 \cdot P_s},$$

где: D — водоизмещение яхты, кг, v — скорость яхты, м/сек, P_s — сила на руле, кГ.

Таким образом, радиус циркуляции яхты на повороте прямо пропорционален водоизмещению и скорости яхты и обратно пропорционален гидродинамической силе, возникающей на руле.

В предыдущих разделах было установлено, что каждое отклонение руля сопровождается одновременным образованием добавочного сопротивления R_d . Следовательно, при каждом повороте надо учитывать некоторую определенную потерю

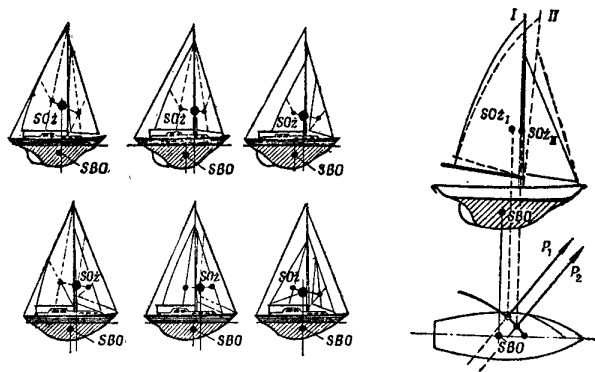


Рис. 197

Рис. 196: Влияние взаимного расположения парусов и наклона мачты на вращающий момент

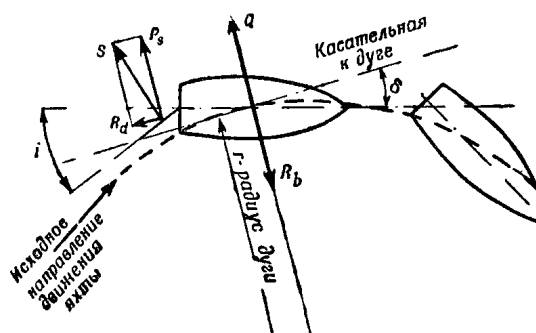


Рис. 197: Силы, действующие на яхту при повороте

скорости хода яхты. На поворотах оверштаг торможение яхты увеличивается во время перехода через линию ветра с хлопающими парусами.

В гонках, на лавировке, приходится часто делать повороты оверштаг. Рулевой и команда, недостаточно внимательно и четко работающие во время поворота, много теряют по сравнению с более опытными и внимательными конкурентами. Автор этой книги, наблюдая на тренировках за яхтами класса «Звездный», убедился, что разница во времени поворота у разных рулевых достигает 4—5 сек. Если средняя скорость яхты 3 м/сек, то при десяти поворотах более искусный рулевой выигрывает только на поворотах 40—50 сек., или около 120—150 м (около 20 длин корпуса яхты).

Следовательно, на технику поворота оверштаг надо обращать серьезное внимание и в совершенстве овладеть ею путем длительной и настойчивой тренировки. Следует выработать такую технику, чтобы поворот занимал как можно меньше времени и требовал минимального отклонения руля.

стр. 290

Вспомним, что существует оптимальный угол отклонения для каждого руля, при котором гидродинамическая сила P_s будет наибольшей, а добавочное сопротивление R_d — наименьшим. Поэтому начинать поворот нужно, отклоняя руль на угол не более оптимального угла i_{opt} (рис. 198). Когда яхта начнет движение по кривой, угол отклонения руля i уменьшится; плавным действием руля его надо поддерживать на оптимальном значении. Величина отклонения руля i_s при движении яхты по кривой зависит от радиуса этой кривой.

На килевых яхтах большого водоизмещения оптимальный угол отклонения руля сравнительно мал, так как у таких яхт большой радиус циркуляции.

На швертботах, поворачивающих, как говорят, «на шверте», т. е. с очень крутой циркуляцией, угол отклонения руля может достигать до 60—70°.

Умело используя паруса, можно заметно сократить продолжительность поворота оверштаг и помочь действию руля. Для этого надо сознательно использовать склонность яхты приводиться и, насколько возможно, сократить время полоскания грота при переходе линии ветра.

На рис. 199 схематически показано выполнение поворота оверштаг. Кривая циркуляции разделена на три участка, проходимые яхтой в интервалы времени t_1 , t_2 и t_3 . В интервале t_1 одновременно с отклонением руля энергично выбираем грот втугую, т. е. до линии симметрии. При полощущем стакселе возникает вращающий момент, который помогает действию руля. Благодаря такому маневру с гротом вредный период t_2 (когда грот полощет) сокращается до минимума. После перехода линии ветра в начале участка t_3 на гроте возникает аэродинамическая сила P (когда грот наполняется ветром), приводящая яхту к ветру и препятствующая чрезмерному уваливанию на новом галсе. Благодаря этому сдерживается инерция яхты, и небольшого отклонения руля достаточно, чтобы лечь на желаемый курс. Под конец периода t_3 шкоты грота потравливаются так, чтобы грот правильно стоял на новом курсе. Одновременно прекращается заполаскивание стакселя, и приводимость яхты уменьшается. Не следует слишком растревливать стаксель-шкоты. После перехода линии ветра стаксель должен начать работать раньше грота. Потравливание стаксель-шкотов в начале поворота помогает яхте приводиться и ускоряет поворот.

стр. 291

На тяжелых, малоповоротливых яхтах иногда для маневра оверштаг приходится выносить передние паруса на ветер, иначе поворот может не получиться.

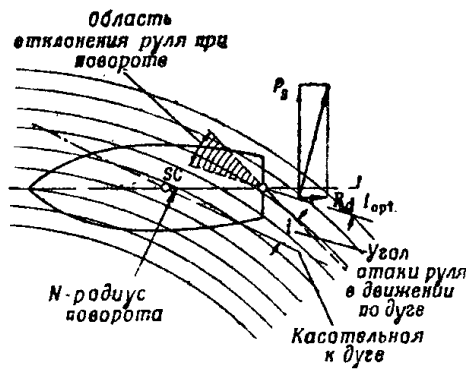
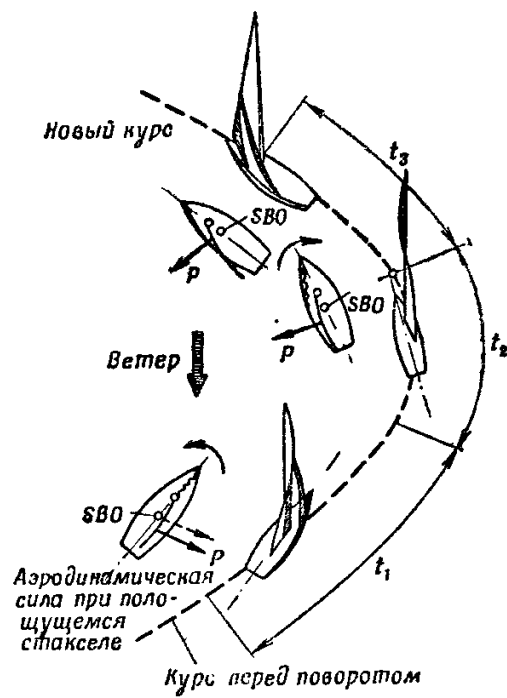


Рис. 198: Оптимальный угол отклонения руля при повороте



Дис 900

Рис. 199: Схема поворота оверштаг

Облегчает выполнение поворота оверштаг сосредоточение команды ближе к центру тяжести яхты.

Насколько поворот оверштаг выполняется легко и безопасно, даже на сильном ветре, настолько же фордевинд труден и небезопасен. Опасность и трудность его увеличиваются с силой ветра. Даже опытные рулевые иногда не рискуют делать поворот фордевинд на слишком сильном ветре, особенно на швертботе.

В чем же, собственно, трудность этого поворота? Представим себе, что мы идем фордевиндом правого галса (положение O на рис. 200) и намерены сделать поворот фордевинд. Выбираем грот до линии симметрии и постепенно делаем поворот. По мере подхода к линии ветра скорость падает, и яхта начинает заметно приводиться в направлении, противоположном задуманному повороту. Нужно пустить в ход руль и команду, чтобы этому воспрепятствовать. В положении 2 грот стремительно перебрасывается с левого борта на правый. Несмотря на быстрое потравливание шкотов, на гроте возникают большие силы, вызывающие: а) резкое изменение склонности яхты приводиться (теперь она приводится в противоположном направлении, т. е. действует одинаково с рулем); б) сильный крен динамического характера (от изменения силы $+P_d$ до $-P_d$).

стр. 292

Все эти явления особенно опасны, поскольку с уменьшением скорости руль действует не так эффективно, а давление ветра относительно возрастает. Теперь если в положении 3, действуя рулем и размещая команду на левом борту, не удастся удержать яхту на курсе A , она с все возрастающим креном будет быстро приводиться, резко стремясь встать против ветра (см. курс B . — *Прим. перев.*). Крен яхты на приведении сильно увеличен за счет действия центробежной силы криволинейного движения. Центробежная сила может быть столь большой, что команда, не успевшая перебраться на наветренный борт, так и не сможет этого сделать. Все это часто приводит к опрокидыванию.

Наиболее трудный момент поворота — положение в позиции 2 и момент перехода от позиции 2 к позиции 3. В это время яхта подвержена действию резко меняющихся сил, а команда вынуждена выполнять работу, требующую исключительного внимания, физического напряжения, быстроты и ловкости.

Поворот фордевинд значительно облегчается применением оттяжки для гика или жесткого крепления гика в мачте, как это сделано на швертботе «Финн». Оттяжка предохраняет грот от внезапной перекидки с очень большим размахом (из-за чего случаются забрасывание паруса за краспицу и повреждение паруса). Широко используют способ переброски грота руками за взятые вместе шкоты, не ожидая прихода кормы на линию ветра. Этот способ сокращает время поворота, скорость яхты снижается незначительно, и действие руля проявляется эффективнее. Но и здесь динамическое действие аэродинамической силы остается, и его надо вовремя уравновесить действием руля и открениванием силами команды, в чем, в сущности, и заключаются основные трудности поворота фордевинд.

стр. 293

Особый вид управления яхтой — самоуправление, т. е. автоматическое сохранение яхтой определенного курса по отношению к ветру. Яхты с вооружением типа иол или кэч легче других склонны к самоуправлению благодаря разделению всей площади парусности между передними парусами, гротом и бизанью. С целью самоуправления паруса на кэче устанавливаются следующим образом (рис. 201). Грот ставится так, чтобы выгодно работал для выбранного курса. Стаксель выбирается значительно туже, а бизань недобирается и оставляется на грани полоскания. При

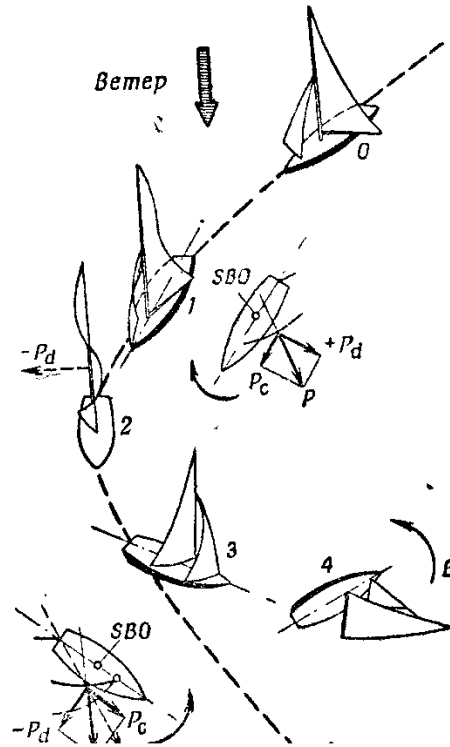


Рис. 200: Схема поворота фордевинд

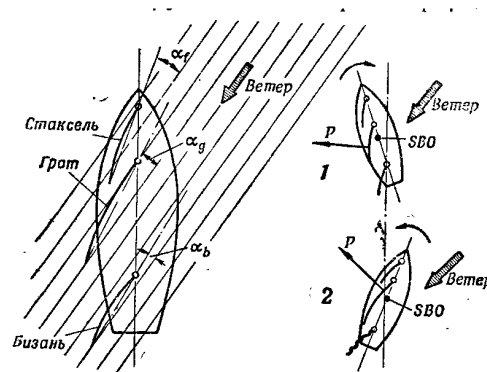


Рис. 202

Рис. 201: Самоуправление яхтой типа кэч

таким расположении парусов, если яхта станет приводиться, бизань совсем перестанет работать, и яхта начнет уваливать (положение 2), пока бизань не начнет снова работать.

Яхта с парусами, поставленными в такое положение, будет самостоятельно сохранять курс между точками 1 и 2. С хорошо отрегулированными парусами отклонение от прямого курса может быть очень незначительным. Автор ходил на 13-тонном кэче, который, управляясь без руля, только за счет правильно отрегулированных парусов, при умеренном ветре отклонялся от прямого курса не более чем на 2° в ту или другую сторону.

Добиться самоуправляемости на яхтах с вооружением типа шлюп или тендер сложнее, чем на кэче, но все же возможно. Принцип расположения отдельных парусов остается таким же, как в рассмотренном выше случае. Поскольку паруса, поставленные в положение для самоуправления, не работают с полной отдачей, скорость самоуправляемой яхты несколько меньше, чем управляемой посредством руля.

Способность яхты самоуправляться зависит в большей или меньшей степени от ее поворотливости и состояния моря. Чем более поворотлива яхта, тем труднее заставить ее сохранять курс. На волне яхта тоже хуже держит курс. Устойчивее всего идет она без руля на курсе бейдевинд. Если на бакштаге поставить спинакер так, чтобы он при уваливании попадал в тень грота, то можно добиться самоуправления. На курсе фордевинд самоуправление возможно при использовании сдвоенного спинакера, о чем уже говорилось прежде.

Особый случай «самоуправления» — так называемое лежание в дрейфе, применяемое, когда надо переждать шторм. Задача команды — удержать яхту в наиболее безопасном положении по отношению к сильной волне, с небольшим ходом против волны, т. е. вполне управляемой. Яхта, лежащая в дрейфе, движется со скоростью 1,5—2,5 узла под ветер, но движется не прямо, а по ломаной кривой (рис. 202). Паруса устанавливаются так, чтобы передние двигали яхту назад, а задние — вперед. Стаксель, вынесенный несколько на ветер, заставляет яхту уваливать под ветер и одновременно двигаться кормой назад. В положении 1 начинает работать задний парус, двигая яхту вперед и ближе к ветру. В положении 2 условия будут такими же, как в самом начале, и цикл снова повторится. Руль должен быть положен на ветер.

В зависимости от соотношения поверхности передних и задних парусов можно заставить яхту двигаться против волны или вместе с ней. Чтобы яхта двигалась вперед, задний парус должен быть больше переднего. Во время дрейфа угол между диаметральной плоскостью яхты и направлением ветра держится около $50\text{--}60^\circ$ и зависит от площади парусов и взаимного их расположения.

Несколько слов о поведении яхты при неудавшемся повороте оверштаг, когда она начинает «забирать задний ход». Часто рулевые, желая добиться поворота, усиленно работают рулем, выбирают грота-шкот (чтобы грот скорее заработал), но это не дает хороших результатов: яхта сильно приводится и не уваливается на новый галс, несмотря на все старания. Это положение наглядно показано на рис. 203. Момент силы P , поворачивающий яхту к ветру, сводит на нет все усилия рулевого, действующего рулем, да и руль здесь малоэффективен. Радикальным средством для выхода из «заднего хода» будет подъем шверта, вследствие чего центр бокового сопротивления переместится назад, и момент силы P вместо при-

ведения начнет, наоборот, уваливать яхту. На яхтах, имеющих несколько парусов, наиболее простым приемом, помогающим на повороте оверштаг, является вынесение на ветер переднего паруса с потравливанием шкотов заднего.

4.8 Продольное равновесие, или дифферент

Д. Конрад написал в «Зеркале моря» следующие строки: «Некоторые корабли имели лучший ход на ровном киле, другие — с осадкой на корму на целый фут, а однажды я слышал о судне, у которого наивысшая скорость была при дифференте на нос в пару дюймов». Слова Конрада, касающиеся крупных парусных кораблей, могут быть с успехом отнесены к спортивным парусным судам. Особенно большое значение дифферент имеет для швертботов, так как здесь величина сил, изменяющих дифферент корпуса (аэродинамическая сила, вес команды и сила гидродинамического сопротивления), весьма велика по отношению к водоизмещению яхты. Заглубление носа или кормы швертбота может сильно меняться, а вместе с ним изменится эффективность работы руля и величина гидродинамических сопротивлений.

Принимая во внимание действие силы тяги P_c , можно сказать, что влияние этой силы на продольное равновесие яхты зависит от ее курса и скорости ветра (рис. 205, I). Сила P_c , действующая на плечо h , дает некоторый момент, вызывающий углубление носа и перемещение центра водоизмещения SW вперед. Новое положение равновесия установится тогда, когда создадутся условия для соблюдения равенства:

$$P_c \cdot h = G \cdot l.$$

Перемещение центра водоизмещения вперед будет тем значительнее, чем меньше запасное водоизмещение носовой части корпуса яхты.

Желая сохранить корпус в выгодном положении $O—O$ (выгодном с точки зрения сопротивления движению), следовало бы переместить команду ближе к корме так, чтобы центр тяжести оказался в точке SC_1 . При этом плечо действия силы тяжести G увеличилось бы на Δl . В случае если $l = \Delta l$, центр водоизмещения переместился бы на место, где прежде находился центр тяжести. Создались бы такие условия равновесия корпуса, какие существуют, когда на яхту не действуют никакие аэродинамические силы.

Сравнивая рис. 205, I и 205, II, можем установить, что величина момента, вызывающего углубление носа, переменна, что требует соответствующего удифферентования яхты. Чем сильнее ветер, тем, очевидно, больше надо перемещать команду вдоль борта с носа на корму. На острых курсах команда должна сидеть в крайнем переднем положении и, по мере уваливания от ветра, передвигаться к корме. На курсе острый бакштаг, когда на парусе образуется максимальная аэродинамическая сила, команда должна находиться в крайнем заднем положении. На фордевинде нет необходимости держать команду в крайнем заднем положении.

Однако нам известно, что на больших скоростях на яхту действуют силы гидродинамического давления. Эти силы поднимают носовую часть корпуса яхты и направлены обратно действию момента аэродинамической силы. Вследствие этого для сохранения продольного равновесия не требуется перемещать команду в таких широких пределах от бака до кормы. Дифферентование яхты на ходу путем перемещения команды должно носить характер необходимого вмешательства только

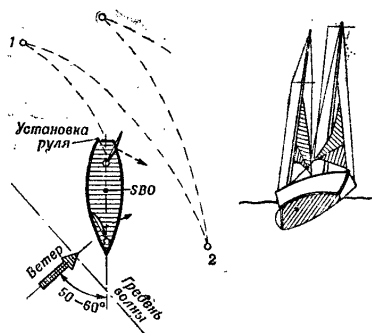


Рис. 203

Рис. 202: Лежание в дрейфе

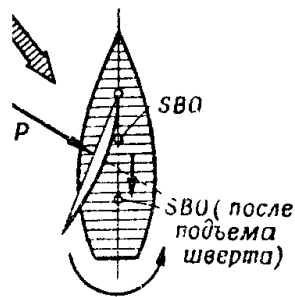


Рис. 204

Рис. 203: Выход из «заднего хода» подъемом шверта

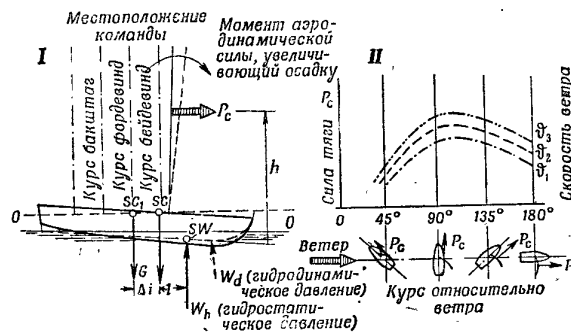


Рис. 205

Рис. 204: Равновесие дифферента яхты

с целью уравнения аэродинамических и гидродинамических воздействий в любых изменяющихся условиях плавания.

На килевых яхтах влияние гидродинамических сил проявляется мало. Решающим фактором для продольного равновесия яхты здесь будет величина аэродинамического момента. Случается, что яхта, идущая со спинакером, сильно зарыва-ется носом. Устранить это можно, если несколько уменьшить дифферент на нос, чего можно достигнуть, выпустив спинакер кверху, чтобы он тянул за собой нос яхты.

Дифферент яхты меняется одновременно с креном. Так как запасное водоизме-щение носовой части корпуса меньше, чем кормы, то осадка на нос увеличивается, а корма приподнимается. Это особенно ярко проявляется на небольших швертботах. В результате поднятия кормы и крена руль начинает работать с малой эффек-тивнойностью, а склонность яхты приводиться, наоборот, увеличивается, и, наконец, швертбот ставится в положение левентик. Рулевой в таком случае жалуется, что яхта «не слушается руля».

Дифферентование яхты посредством перемещения команды влияет и на устой-чивость судна на курсе. Чтобы убедиться в этом, достаточно проделать следующий опыт. На курсе бейдевинд, закрепив шкоты и руль, переместим команду вдоль ях-ты. Мы убедимся, что при перемещении команды вперед яхта уваливает, а при перемещении назад — приводится. Влияние веса команды тем больше, чем больше его отношение к водоизмещению яхты.

Заканчивая рассмотрение вопросов равновесия яхты, можем сказать, что под-держание во время гонки оптимальных условий равновесия имеет большое зна-чение и совершенно необходимо для достижения хороших результатов. Понятие равновесия недостаточно сводить только к одному виду его — в плоскости шпан-гоутов. Все три вида равновесия яхты надо рассматривать совместно, так как они тесно связаны между собой.

4.9 Новые тенденции в парусном спорте

Исключительно интересные и многообещающие опыты проводятся в последние го-ды с катамаранами, построенными на принципах двухкорпусных лодок давних жителей Полинезии. Выше уже отмечалась большая остойчивость катамаранов и возможность достижения на них высоких скоростей.

Попытки применения катамаранов в парусном спорте делались еще в прошлом столетии. Они оказались неудачными из-за конструктивных ошибок, допущенных конструкторами того времени. Катамараны стали переворачиваться «через голо-ву», т. е. вперед, чем совсем не страдали катамараны древних полинезийцев.

Разница в остойчивости классической яхты и катамарана показана на рис. 205. Плечо остойчивости корпуса килевой яхты, стоящей на ровном киле, равно нулю. Это плечо медленно растет с ростом крена. Сле-довательно, вообще нельзя получить более или менее значительную аэродинамиче-скую силу на парусе, чтобы не вывести яхту из поперечного равновесия. Обратная картина наблюдается у катамарана. При вертикальном положении мачты здесь су-ществует плечо остойчивости, примерно равное половине расстояния между двумя поплавками катамарана, т. е. половине его ширины. Когда один из поплавков под-нимается из воды, плечо остойчивости увеличивается вдвое. Значит, поперечная

остойчивость катамарана исключительно велика. Такая большая стойчивость может достигаться за счет очень легких, широко расставленных поплавков. Наконец стойчивость катамарана может быть еще увеличена в результате применения балласта на наветренном поплавке.

Конструкция катамарана позволяет получать на парусе большую аэродинамическую силу при сравнительно малом водоизмещении корпуса. Как это влияет на скорость хода, показано на графике (рис. 206). График построен Г. Барклом для яхт разных размеров и свойств. На оси ординат отложены величины отношения общего сопротивления (или, что одно и то же, — силы тяги) к весу яхты (водоизмещению), а на оси абсцисс — величины отношения $\frac{v}{\sqrt{L_{KLW}}}$. Припомним, что аналогичные графики уже рассматривались, когда разбирался вопрос влияния формы корпуса на скорость яхты. Тогда на оси ординат располагалась величина общего сопротивления, а на оси абсцисс — скорость хода модели яхты. На графике Г. Баркла сопротивление дано не в абсолютных величинах, а в его отношении к водоизмещению, скорость же — в ее отношении к $\sqrt{L_{KLW}}$.

Соотношение $\frac{v}{\sqrt{L_{KLW}}}$ также уже встречалось в предыдущих разделах книги.

Возвращаясь к графику Баркла, заметим, что, когда отношение сопротивления корпуса или силы тяги к водоизмещению равно 0,1—0,2, на кривых возникает характерный излом. Он показывает, что на совершенно определенном участке скоростей от $\frac{v}{\sqrt{L_{KLW}}} = 3$ до $\frac{v}{\sqrt{L_{KLW}}} = 6$ общее (или лобовое) сопротивление остается почти постоянным, а потом опять увеличивается. Этот участок скоростей характерен для явлений глиссирования. Известно, что максимальная скорость яхты определяется формулой $v = 1,7\sqrt{L_{KLW}}$, средняя же скорость крейсерских яхт доходит до $v \cong 1\sqrt{L_{KLW}}$. Так получается потому, что отношение силы тяги паруса к водоизмещению яхты не превышает 0,05. У швертботов с малым водоизмещением можно получить скорость $v = 3,3\sqrt{L_{KLW}}$, но дальнейшее ее увеличение, как известно, по многим причинам ограничено.

Высокое отношение силы тяги к водоизмещению сравнительно легко можно получить у катамарана, и это, собственно, и открывает перед ним широкие перспективы. Теоретически максимальная скорость катамарана может быть равной $6\sqrt{L_{KLW}}$. В ряде стран с развитым парусным спортом уже проводятся океанские гонки с участием катамаранов. Познакомимся с впечатлениями одного из участников гонки катамаранов, проведенной в 1955 г. на Тихом океане, рулевого 40-футового (12,2 м) катамарана «Waikiki Surf».

Вот что он пишет: «Во время гонки скорость ветра доходила до 40 узлов, а высота волн была 15—18 футов. Заплески волн высотой до 8 футов влетали на палубу, разбивались и стекали обратно в океан. Часто нас несло вместе с волной. Это требовало специальной техники управления, чтобы использовать скольжение на волне для повышения скорости хода.

Я совершенно убежден, что в тяжелых морских условиях катамаран несколько не уступает никакой другой яхте подобной длины. Он не представляет себе более удобного плавания при скорости 25—30 узлов. Часто мне были близки и ощущения, но для более безопасного плавания могли взять рифы. Временами на лавировке и на галфвинде поднимало наветренный корпус, однако это не было опасно. Никаких трудностей с парусами и такелажом мы не испытывали».

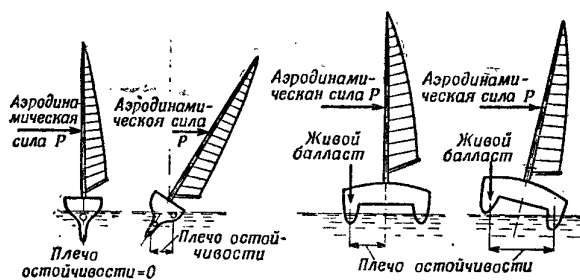


Рис. 206

Рис. 205: Сравнение остойчивости килевой яхты и катамарана

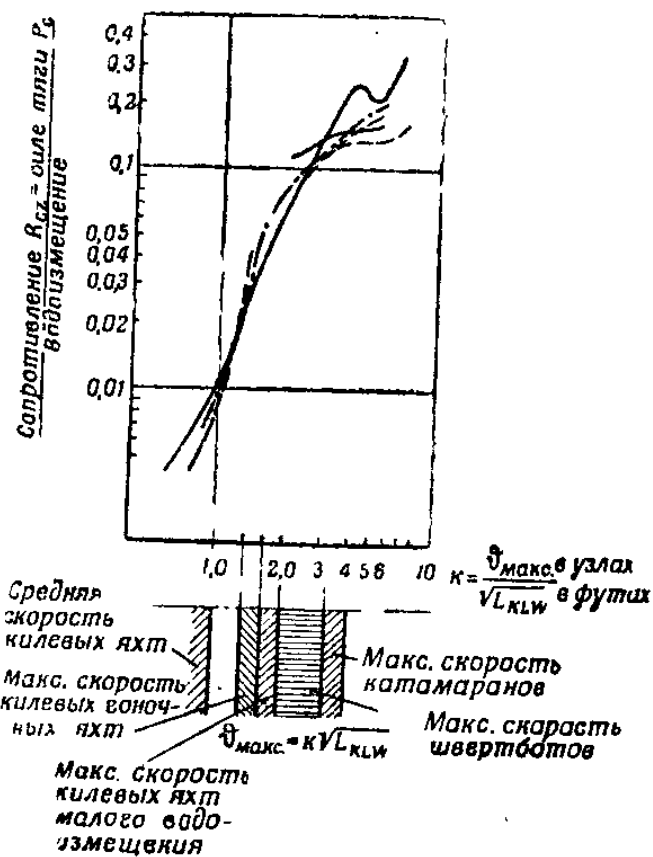


Рис. 207

Рис. 206: Зависимость относительного сопротивления яхты от относительной скорости (график Баркла)

Для полноты описания катамаранов следует добавить, что плавание на режиме глиссирования — совершенно обычное у полинезийцев, для среднего европейского яхтсмана — мало изученная область.

Кроме катамаранов экспериментальных и гоночных, появились уже катамараны для туризма и дальних плаваний. Примером такого катамарана может служить «Ярро», спроектированный известным австралийским конструктором И. Шабо. Этот катамаран (его общий вид дан на рис. 207) имеет следующие размеры:

Общая длина	8,7 м
Длина по ватерлинии	7,15 м
Максимальная ширина	4,5 м
Осадка	0,56 м
Водоизмещение	1300 кг
Площадь парусности	55 м ²

Без риска опрокинуться можно получить на парусах силу тяги более 500 кг. Максимальная скорость — около 25 узлов. Характерная особенность катамарана «Ярро» — полное отсутствие шверта. Подобно тому как было у старинных полинезийских катамаранов, роль шверта выполняют специально профилированные несимметрично расположенные корпуса (рис. 208, 1). Достаточное боковое сопротивление R_b , противодействующее силе дрейфа P_d , возникает на несимметричном подветренном корпусе, погруженном глубже наветренного. Такая форма корпусов обеспечивает уменьшение дрейфа до минимума. Чрезвычайно интересно устроено рулевое управление.

В первом варианте (рис. 208, 2) роль руля выполняла подвижная часть вытянутого корпуса. Такое устройство оказалось предпочтительнее, чем обычный, висящий за кормой руль. Сопротивление руля было значительно меньше, и его эффективность такова, что отклонение только на 1° давало такой же результат, что и отклонение обычного руля на 5°.

Вариант 3 представляет собой дальнейшее усовершенствование рулевого устройства. Здесь руль совсем неподвижен: между ним и корпусом имеется профилированная щель, открываемая или прикрываемая с помощью специального устройства. Регулируя протекание воды через щель, добиваются возникновения желаемых гидродинамических давлений. В результате разности гидродинамических давлений по обеим сторонам руля образуется сила P , поворачивающая катамаран.

В настоящее время катамаранами занимаются наиболее известные конструкторы, но их работа находится еще в начальной стадии. Много опытов проводится с жесткими парусами, тщательно профилированными мачтами. Большие перспективы могут открыться для катамаранов, особенно с широким применением легких и прочных синтетических материалов.

В последнее время появились суда, плавающие на совершенно новых принципах. Эти суда используют силу гидростатического давления только на стоянке или в самом начале своего движения. Достигнув некоторой скорости, корпус поднимается над водой и поддерживается на поверхности ее только так называемыми гидрокрыльями. Пропадают все вредные сопротивления: трения, волнообразования, формы. Остается сравнительно незначительное сопротивление крыльев, имеющих очень небольшую площадь. Гидродинамические силы образуются здесь подобно тому, как на парусе образуются аэродинамические силы.

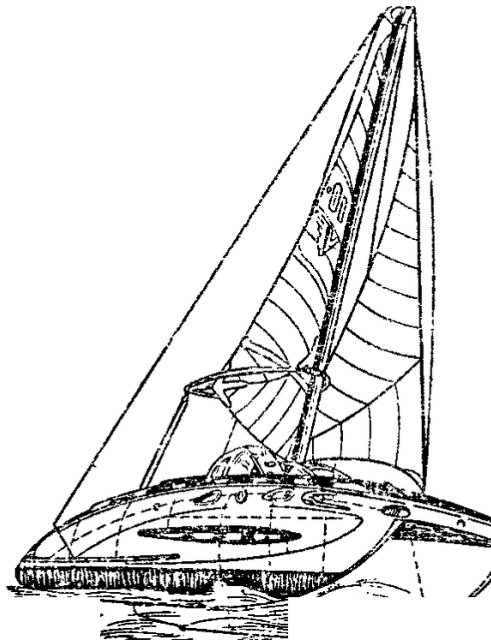


Рис. 207: Катамаран «Яро»

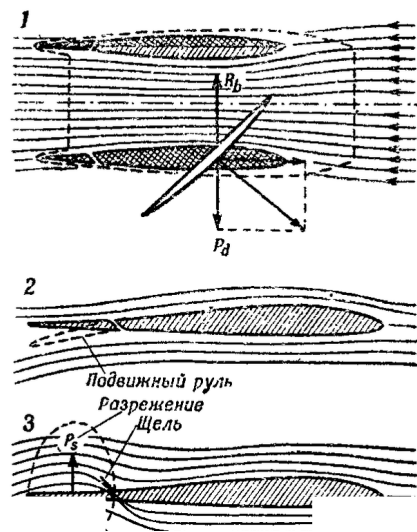


Рис. 208: Рулевое устройство катамарана

На рис. 209 показаны различные способы размещения гидрокрыльев.

На рис. 210 приведен пример применения так называемой системы Грюнберга на парусной яхте. Величину гидродинамического давления можно определить по формуле:

$$P_h = 51 \cdot C_z \cdot v^2 \cdot F,$$

где C_z — коэффициент гидродинамического давления, v — скорость движения яхты, F — поверхность гидрокрыла, м². стр. 304

Правильно сконструированные крылья могут дать до 40 кГ гидродинамического давления при 1 кГ силы тяги. При удлинённости крыла $\lambda = 5$, в среднем, можно считать, что крылья имеют 20—25 кГ давления на каждый килограмм силы тяги.

На рис. 211 дан график коэффициентов C_z и C_x крыла профиля, указанного на рисунке. Самое выгодное отношение силы давления P_h к силе сопротивления R_{cz} получается, как видим, в границах углов атаки $\alpha = 1—5^\circ$. Принимая, что когда угол $\alpha = 3^\circ$, коэффициент $C_z = 0,4$, попробуем вычислить величину гидродинамического давления на площади 1 м². Допустим, что скорость яхты $v = 10$ м/сек и удлинённости формы крыла $\lambda = 5$. Следовательно стр. 305

$$P_h = 51 \cdot C_z \cdot v^2 \cdot F = 51 \cdot 0,4 \cdot 10^2 \cdot 1 = 2040 \text{ кГ.}$$

Возникающее одновременно общее сопротивление в 20 раз меньше, т. е.

$$R_b = \frac{2040}{20} = 102 \text{ кГ.}$$

Желая, например, поднять с помощью гидрокрыла маленький швертбот, весящий 200 кг, достаточно взять крыло площадью 0,1 м². При скорости 10 м/сек гидродинамическое сопротивление крыла было бы около 10 кГ. Следовательно, теоретически такую силу тяги надо было бы получить на парусе. Этот беглый подсчет показывает, какие огромные возможности открываются с применением гидрокрыльев в парусном спорте.

С большим успехом гидрокрылья используются в конструкциях небольших моторных судов. Использование их в парусном спорте встречает ряд трудностей в области остойчивости. Сложность состоит в необходимости обеспечить постоянное положение крыльев относительно поверхности воды и постоянный угол атаки, независимо от условий плавания. Заметим, что в зависимости от скорости яхты будет меняться величина давления на крыльях. Это может привести к выходу верхней части крыльев на поверхность воды, что вызовет резкое уменьшение давления и быстрое погружение крыла в воду. В результате возникнут сильные, стремительные раскачивания яхты в диаметральной плоскости. Другой род трудностей возникает в связи с необходимостью найти средства, противодействующие дрейфу и крену яхты. Специально применяемые для этого приспособления вызывают сильное волнообразование, особенно на больших скоростях, которое, в свою очередь, требует устройства автоматического контроля установки крыльев по отношению к волнам. Насколько велико и опасно может быть рыскание ускорений при движении яхты на крыльях, можно судить по тому, что однажды на гонках в Швейцарии команда яхты во время такого резкого изменения была выброшена за борт, несмотря на закрытую кабину. стр. 306

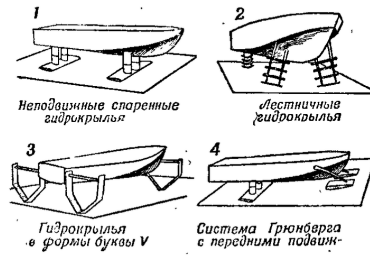


Рис. 209: Различные способы размещения гидрокрыльев

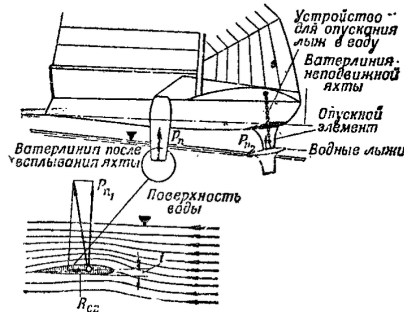


Рис. 211

Рис. 210: Система Грюнберга на парусной яхте

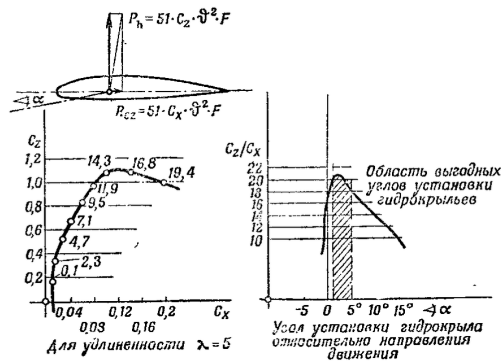


Рис. 212

Рис. 211: График коэффициентов C_z и C_x гидрокрыла

Невзирая на указанные трудности, экспериментальные яхты на крыльях уже ходят со скоростью до 30 узлов. Удачная система крыльев одной американской яхты изображена на рис. 212. С ростом скорости хода крыло здесь поднимается не все целиком, а только частично. Крыло имеет несколько ступеней, что дает некоторую амортизацию тряски, ударов и раскачиваний. Косым расположением ступеней достигается возникновение горизонтальных сил, противодействующих дрейфу, и широкий разнос крыльев обеспечивает достаточную поперечную остойчивость.

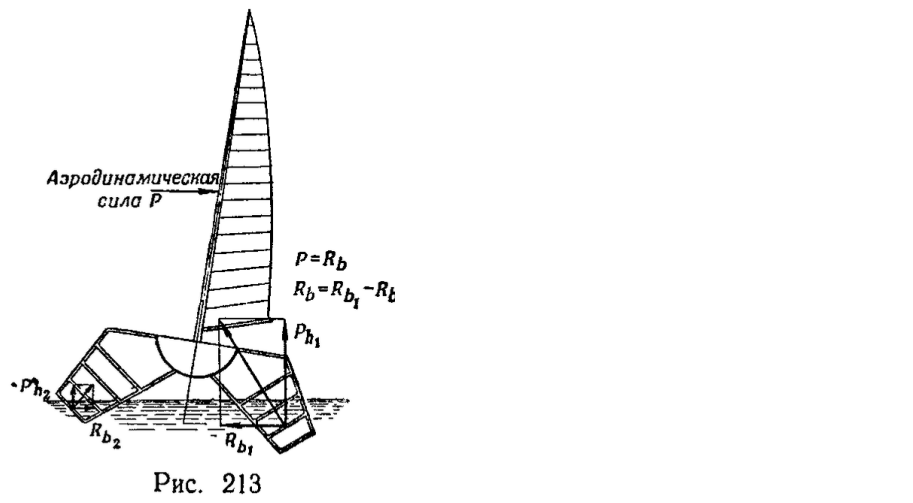


Рис. 212: Яхта на гидрокрыльях

5 Ветер и вода

5.1 Ветер

Направление и сила ветра меняются в зависимости от многих причин, изучением которых занимается метеорология. В наших дальнейших рассуждениях на эту тему обратим внимание только на факторы, имеющие основное значение в парусном плавании вообще и в парусных гонках в частности, т. е. такие, от которых зависит достижение яхтой максимальной скорости.

Перед выходом в плавание или на гонки каждый яхтсмен обязательно задается вопросом: какая в ближайшее время будет погода, как будут меняться сила и направление ветра?

Не только выбор парусов, но и выбор трассы зависит от ответа на этот вопрос. Верное в этом смысле «предсказание погоды» может сыграть решающую роль в достижении поставленных перед собой целей.

В продолжительных гонках на большие дистанции надо изучить состояние и прогноз погоды большого района, а для небольших гонок основное внимание придется уделить изучению местных ветровых условий и особенностей данной небольшой акватории.

5.1.1 Использование области низкого давления

На большей части обширных пространств морей и океанов погода, а значит и ветер, устанавливается в зависимости от постоянно перемещающихся с запада на восток областей низкого барометрического давления. Из метеорологии известно, что область низкого давления представляет собой огромный вихрь — циклон, в котором потоки воздуха движутся по спирали внутрь к центру области, где наблюдается самое низкое барометрическое давление.

Несмотря на то, что циклон перемещается по земной поверхности с небольшой скоростью, в среднем 5—7 узлов, внутри его скорость ветра может достигать 200 км/час и даже больше. Такие значительные скорости бывают не столь часто, но вообще характерной чертой областей с низким барометрическим давлением являются сильные ветры. В свое время капитаны парусных кораблей умели искусно использовать эту особенность областей низкого давления. Они прокладывали путь таким образом, чтобы плыть краем движущегося циклона, используя его попутный ветер, и благодаря этому достигали больших скоростей. В начале XVIII в. путь из Англии в Австралию продолжался около 200 дней. В половине XVIII в. американский моряк Маури определил наиболее выгодные пути между различными портами земли с учетом метеорологических условий. В результате время на рейс из Европы в Австралию сократилось до 80 дней!

Известно, что в северном полушарии воздушные массы в области циклона движутся сгибаясь к его центру против часовой стрелки. На рис. 213 показано, как в зависимости от положения яхты в той или другой части циклона ветер может быть и попутным, и даже встречным. Рассмотрим курс, проходящий через IV, I и II четверти циклона. В положении 1 яхта идет курсом почти галфвинд левого галса. В точке 2, чтобы продолжать плавание по курсу, яхта должна идти острым бейдевиндом левого галса. Очевидно, скорость ее при этом будет меньше, чем в

положении 1.

Чем ближе яхта ко II четверти, тем труднее идти левым галсом и, наконец, придется переменить галс. Новый курс тоже менее выгоден, чем тот, который был в точке 1.

Приведенный пример убедительно показывает, что искусство парусного плаванья состоит не только в умелом использовании аэродинамических и гидродинамических свойств яхты, но также в использовании существующих метеорологических факторов. Действие их особенно сильно проявляется в дальних морских походах или гонках. Для примера разберем, как прошли Атлантические гонки в июне 1955 г.

Главная задача экипажей в этих гонках заключалась в использовании Гольфстрима и метеорологических условий. На результаты гонки решающее влияние оказала встретившаяся два раза штилевая полоса и, наоборот, счастливое использование группой из трех яхт ветровой полосы; как говорят на языке парусников, эти яхты «подхватили ветер».

Часть яхт, среди которых была и победительница гонок «Карина», воспользовавшись ветровой полосой, ушла вместе с ней на восток. Остальные потеряли контакт с ветровой полосой, а потом дважды попадали в области слабых ветров. В результате разница во времени прибытия в порт Мастранда (Швеция) составила 5 дней.

В первом периоде гонки задача заключалась в том, чтобы, максимально форсируя паруса, сохранить яхты на краю области циклона, т. е. заставить яхты двигаться вместе с ним. Яхты, скорость которых позволяла им двигаться вместе с циклоном, прошли расстояние от Нью-Йорка до Мастранда за 20 дней, используя всю дорогу только одну область низкого давления.

Решающими в этой гонке оказались характерные величины и особенности яхт, которые уравниваются гандикапной формулой.

Вспомним, что наибольшая скорость, которую яхта может развить в благоприятных условиях, определяется по формуле так называемой скорости водоизмещения:

$$v_{\text{макс.}} = 1,4 - 1,7\sqrt{L_{KLW}}.$$

При средних условиях ветра и волны на курсе фордевинд максимальная скорость будет достигать:

$$v_{\text{макс.}} = 1 - 1,1\sqrt{L_{KLW}}.$$

Для яхты с длиной ватерлинии $L_{KLW} = 12$ м (яхта «Корморан» — второе место в атлантических гонках)

$$v_{\text{макс.}} = 1 - 1,1\sqrt{12} = 3,46 - 3,8 \text{ м/сек} = 6,7 - 7,4 \text{ узла.}$$

Следовательно, яхта с длиной ватерлинии 12 м могла удержать свое место в радиусе действия циклона (и полосы сильных ветров) только в случае, если собственная скорость перемещения циклона с запада на восток не превышала 7,4 узла.

Для яхты с длиной ватерлинии $L_{KLW} = 9,5$ м («Шлюссель фон Бремен» — четвертое место в гонках) максимальная скорость могла быть следующей:

$$v_{\text{макс.}} = 1 - 1,1\sqrt{9,5} = 3,8 - 3,38 \text{ м/сек} = 6 - 6,6 \text{ узла.}$$

Эта яхта по сравнению с более длинными имела меньше шансов удержаться в районе циклона, так как ее скорость меньше. Таким образом, на результаты гонок могут влиять метеорологические факторы, которые, однако, никак не принимаются в расчет при вычислении гоночного балла яхты.

Конечно, при отличной команде, наилучшем использовании парусов, наиболее выгодной прокладке курсов гонку может выиграть и не лучшая в техническом смысле яхта. Но тем не менее даже самая хорошая команда не сможет использовать метеорологические условия, если по своим гоночным качествам, определяющимся понятием «скорость водоизмещения», яхта сама по себе не в состоянии этого обеспечить. На основании практического опыта можно считать, что для участия в гонках по Атлантическому океану оптимальной будет яхта с длиной ватерлинии около 12 м.

В разобранный случай направление перемещения циклона совпадало с направлением движения яхт от старта до финиша. Теперь разберем случай, когда курс яхты проходит под некоторым углом к направлению перемещения циклона (рис. 214). Путь циклона показан на рисунке. Старт гонки в пункте *A*. На высоте г. Хоборга (Швеция) расположен поворотный буй. Принимая во внимание только ветер, дующий в районе пункта *A*, можно считать, что самым выгодным будет курс *AB*, тем более, что он самый короткий. Но, учитывая надвигающийся циклон с центром в точке *N*, нетрудно видеть, что примерно в пункте *O* яхте пришлось бы начать лавировку при постоянно возрастающем ветре и волнении. Ветер, дувший во время старта с южных направлений, постепенно во время гонки переходил бы на запад-северо-запад и, наконец, на север.

стр. 311

В предвидении таких изменений ветра наиболее выгодно было бы взять со старта курс *AC*, а затем *CB*. Яхта всю гонку шла бы с попутным ветром и с большей, понятному, средней скоростью.

Области высокого барометрического давления также характерны переменой направления ветров, которые здесь направлены по спирали, но не к центру, а от центра области к периферии. Однако перемещения воздушных масс в антициклонических областях происходят далеко не так интенсивно, как в областях с низким барометрическим давлением. Отсюда можно сделать вывод, что в парусном спорте более выгодно могут быть использованы условия, существующие в области низкого барометрического давления.

Перед любым более или менее длительным плаванием, чтобы оно было успешным, необходимо тщательно ознакомиться с метеорологической обстановкой в районе акватории. Для этого можно воспользоваться синоптическими картами, выпускаемыми службой погоды, или самостоятельно составленными по сообщениям радиослужбы синоптическими картами. В основном задача состоит в нанесении на карту изобар в интересующем нас районе, что можно выполнить на основании наблюдений барометрического давления и ветра. Затем, в плавании, наблюдая за давлением и ветром, можно установить, в какой четверти или половине циклона (или антициклона) находится яхта в данный момент. Все это позволит, конечно с некоторым приближением, определить направление перемещения циклона, его скорость и ожидаемые изменения ветра.

стр. 312

Заметим, что быстрое изменение направления ветра свидетельствует о небольшом радиусе кривизны изобар над данной областью. Это будет признаком того, что или размеры циклона невелики, или яхта находится в его центральной части.

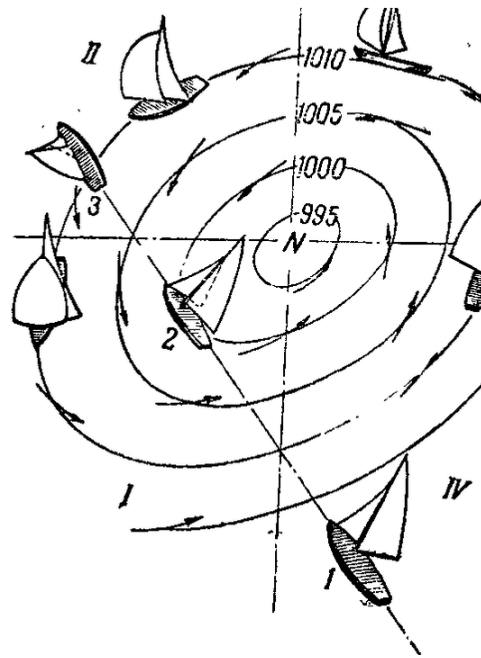


Рис. 213: Использование ветра в области циклона

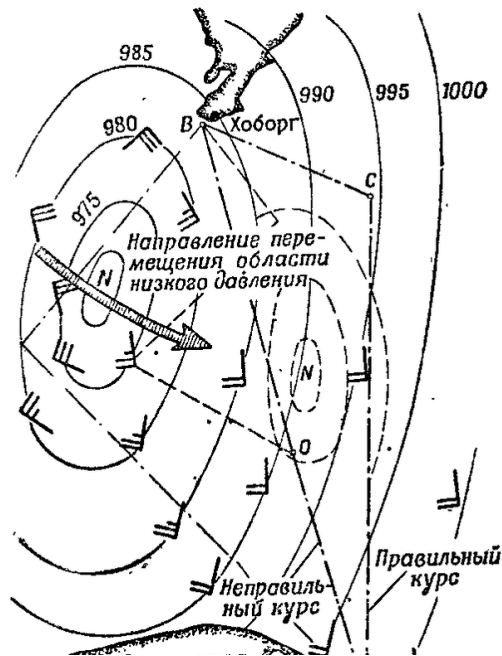


Рис. 214: Использование циклона при выборе курса гонки

Установить направление движения циклона помогает то, что циклоны движутся прямо с запада на восток, и существуют определенные преимущественные пути движения циклонов для каждого района земного шара. Такие преимущественные направления циклонов для Северного и Балтийского морей показаны на рис. 215. Следует подчеркнуть, что характер дующих в области циклона ветров зависит главным образом от того, по какому пути перемещается центр циклона. Подробные сведения по этому вопросу приводятся в лоциях морей и океанов.

Прогнозы погоды, сделанные на основании наблюдений изменения ветра и давления, можно корректировать различными приметам, основанными на многолетних наблюдениях явлений природы. Цвет неба, утренняя и вечерняя зори, форма, вид и линии облаков, поведение птиц и животных и другие приметы подскажут ближайшее изменение погоды.

5.1.2 Ветры местного значения

У всех народов, жизнь которых связана с морем, существует много остроумных, рифмованных предсказаний погоды, основанных на многолетнем опыте поколений моряков парусного флота. В общем, все такие предсказания касаются перемен ветра на ближайшее время, так как ветер — самое главное для парусника.

Ветер, дующий вблизи поверхности земли, значительно отличается от ветра, который можно наблюдать по движению высоких облаков. Так называемый барический ветер возникает в результате движения воздушных масс из области высокого барометрического давления в область низкого барометрического давления. Под влиянием вращения земли движущиеся воздушные потоки отклоняются в северном полушарии вправо, а в южном — влево. С достаточной степенью достоверности можно считать, что на высоте 1000 и существует только барический ветер. Направление его вдоль изобар таково, что, глядя вслед ветру, область низкого давления мы увидим слева. Наблюдения за барическим ветром необходимы, так как с его изменениями связаны изменения погоды, но яхту движет не барический, а сильно отличающийся от него наземный местный ветер.

У поверхности земли скорость и направление ветра никогда не бывают столь устойчивыми, как на высоте. Характер земной поверхности, топография, растительный покров, наконец, характер застройки — все оказывает влияние на скорость и направление барического ветра у поверхности земли. В результате местных специфических условий могут возникать перемещения воздушных масс на более или менее ограниченных пространствах; появляются так называемые местные ветры, характерные только для данного района. Для успешного плавания знание и умелое использование местных ветровых условий имеет огромное значение.

5.1.3 Структура ветра

Многочисленные исследования показали, что большое влияние на скорость и направление ветра имеет трение частиц воздуха о земную поверхность. Результаты некоторых исследований в этой области даны на рис. 81. Они показывают, что скорость ветра меняется в зависимости от высоты замера. На основании исследований Г. Хельмана и других ученых можно считать, что в пределах до 16 м над уровнем

земли скорость ветра изменяется по формуле:

$$v = v_1 \left(\frac{z_1}{z} \right)^\alpha,$$

где: z_1 — высота над уровнем моря в пределах до 16 м, v_1 — соответствующая для этой высоты скорость ветра.

Наблюдается зависимость скорости ветра и от времени года. Приняв скорость ветра на уровне 2 м за единицу, можно вычислить скорость ветра на других высотах для летнего времени. Результаты вычислений даны в табл. 13.

Таблица 13: Скорость ветра на разных высотах

Высота над уровнем моря, м	2	3	4	5	8	10	15	20
Скорость ветра	1	1,1	1,16	1,22	1,34	1,41	1,53	1,64

Отклонение ветра у поверхности земли относительно направления барического ветра зависит от характера земной поверхности и ее тормозящего влияния. Если допустить, что барический ветер в верхних слоях атмосферы дует в направлении вдоль изобар, то наземный ветер будет отклоняться от этого направления, как показано на рис. 216. Можно установить, что ветер тем больше отклоняется влево, чем больше тормозящее действие земной поверхности. Кроме того, можно заметить определенную закономерность между направлением и изменением скорости ветра: с увеличением ее он поворачивает вправо, а с уменьшением — наоборот, влево.

Чем сильнее барический ветер, т. е. чем с большей скоростью он дует в верхних слоях атмосферы, тем слабее тормозящее действие земной поверхности и тем менее наземный ветер отличается по направлению от барического. Изменение направления ветра особенно четко можно наблюдать вблизи береговой линии. Независимо от того, дует ветер с моря на землю или наоборот, его направление при переходе береговой линии стремится приближаться к перпендикулярной линии берега (рис. 217, 1).

Это свойство ветра менять направление около берега можно и нужно использовать, если дистанция гонки проходит вблизи берегов. На рис. 217, 2 показана возможность выгодно использовать прибрежный ветер в гонках. Допустим, что яхты *A* и *B* стартовали одновременно, но рулевой яхты *A*, выбрав наиболее выгодный путь относительно берегового ветра, придет к знаку *I* раньше, чем рулевой яхты *B*, и, очевидно, будет впереди и при огибании буя *II*.

Влияние берега на направление ветра особенно ярко проявляется, когда яхта приближается к берегу курсом бейдевинд.

Допустим, что, находясь в положении x , мы делаем поворот, чтобы подойти к бую *I* правым галсом. Судя по направлению ветра в точке x , делаем вывод, что, держа курс $x-y$, мы подойдем к бую *I* левым бортом. Однако по мере приближения к берегу мы убеждаемся, что курс становится все острее, вследствие чего приходится увалить до курса $x-z$ во избежание полоскания парусов. Вот типичный пример неожиданного действия отклонения ветра вдоль береговой линии.

Другим проявлением влияния поверхности на характер движения воздушных масс будет изменение порывистости ветра, образования шквалов и т. п. Подобно потоку воды, воздушный поток будет сохранять спокойное, слоистое течение только



Рис. 216

Рис. 215: Преимущественные направления циклонов для Северного и Балтийского морей

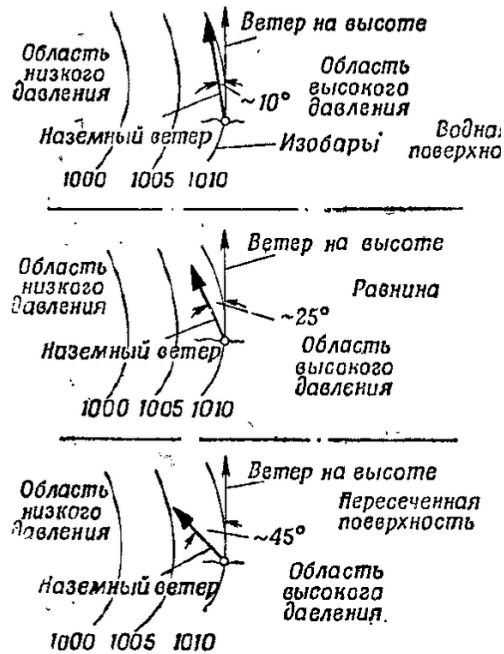


Рис. 216: Отклонение направления ветра от барического у поверхности земли

при небольших скоростях и спокойной, ровной подстилающей поверхности. Наоборот, всякие неровности земной поверхности, а также вертикальные перемещения воздушных масс, возникающие вследствие неравномерного нагрева подстилающей земной поверхности, вызывают постоянное изменение скорости и направления ветра. Установлено, что, когда скорость ветра достигает примерно 4 м/сек, движение становится беспокойным, вихревым. Второй границей вихревого движения воздушных масс является скорость 9—10 м/сек. При скорости ветра менее 4 м/сек, направление и сила ветра, в общем, сохраняются стабильными.

Большое влияние на характер ветра оказывает температура земной поверхности. Когда поверхность земли холоднее воздушных масс, направление ветра стабилизируется, а скорость ослабевает. Наоборот, поверхность земли, нагретая сильнее, чем воздух, вызывает в относительно холодных массах воздуха сильные циркуляции, увеличение скорости и порывистость ветра. Охлаждение поверхности земли и ветра в вечерние часы служит основной причиной ослабления ветра вечером. Парусникам, между прочим, хорошо известно, что весной, когда температура моря еще низка, ветер на море обычно спокойный и мало порывистый. В это время года, вопреки сильному ветру, волнение остается очень незначительным, так как образование волн зависит не только от силы, но и от характера ветра. Порывистый, непостоянный ветер вызывает значительно более сильное волнение, чем спокойный, ровный, хотя и сильный ветер. Именно этой особенностью объясняется то обстоятельство, что в океанах в районе постоянных пассатов, отличающихся своей стабильностью, при силе ветра примерно 6 баллов по шкале Бофорта волнение менее сильное, чем на закрытых морях при ветре 4 балла.

стр. 317

В море, чем дальше от берегов, тем постояннее ветер. При беспокойном ветре его направление обычно меняется в пределах около 10° в ту или другую сторону и даже до 45° от своего основного направления. Многочисленные исследования показали, что порывы ветра бывают двух родов. Кроме порывистости, проявляющейся в секундных интервалах, наблюдается порывистость или периодичность изменения интенсивности ветра с интервалом от нескольких минут до нескольких десятков минут. Колебания скорости порывистого ветра находятся в пределах от 20 до 180% величины средней скорости ветра. Так, например, при средней скорости порывистого ветра 5 м/сек можно ожидать изменения скорости от 1 до 9 м/сек.

На рис. 218 приведена запись скорости порывистого ветра, сделанная анемометром. Запись показывает, что в одном случае скорость меняется периодически с интервалом около 20 мин, а в другом — примерно 15 мин.

Периодические изменения скорости действительного ветра обязательно вызывают изменения скорости, а еще важнее — направления вымпельного ветра, которой, собственно, и используется рулевым. Посмотрим, каким образом в парусных гонках можно использовать порывы ветра.

Допустим, что мы плывем курсом бейдевинд (рис. 219). В положении I парус яхты по отношению к вымпельному ветру OB установлен под углом α . Отрезок AB обозначает скорость яхты, а отрезок OA — скорость истинного ветра. Если скорость истинного ветра возрастет до величины O_1A (положение II a), то первое время яхта вследствие инерции не изменит своей скорости. Однако направление вымпельного ветра изменится с OB на O_1B , что вызовет увеличение угла установки паруса на величину $\Delta\alpha$. Если прежде парус стоял под оптимальным углом α , при котором достигалась наивысшая аэродинамическая сила, то, желая сохранить

стр. 318

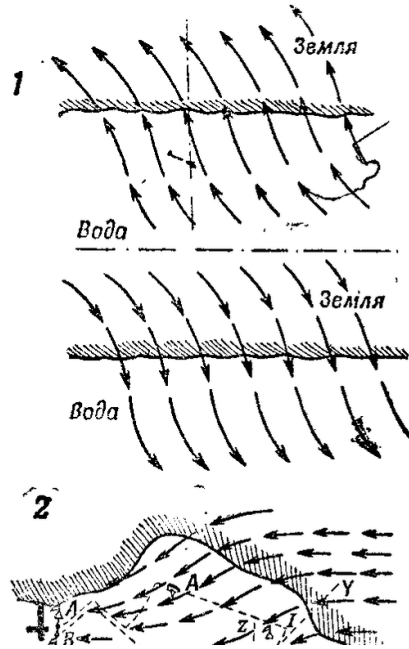


Рис. 217: Использование прибрежного ветра в гонках

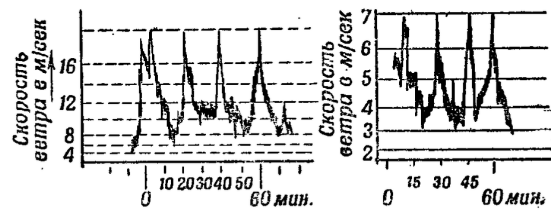


Рис. 218: Запись скорости порывистого ветра

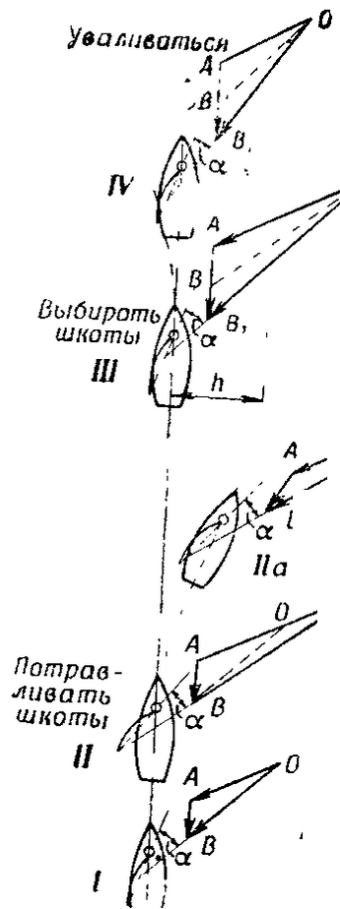


Рис. 219: Использование порывов ветра при плавании курсом бейдевинд

высокий аэродинамический коэффициент полезного действия паруса, надо сохранить наивыгоднейший угол атаки α . Это можно сделать или потравив шкоты, или приведясь к ветру (положение *I* или *IIa*). Приведение к ветру (как видно из рисунка) вполне возможно, поскольку вымпельный ветер O_1B стал полнее по сравнению с прежним OB .

В период действия порыва ветра яхта начнет разгоняться, что вызовет изменение направления вымпельного ветра от O_1B на O_1B_1 , т. е. вымпельный ветер станет острее (положение *III*). Теперь, чтобы парус не запласкивал, придется выбирать шкоты до того момента, пока опять не будет получен желательный угол атаки α . Для яхты в положении *II* такой маневр (выбирание шкотов) был бы невыгоден. В этом случае нужно увалиться на прежнее направление, а приобретенная выгода заключается в набранной высоте h .

Наконец, порыв ветра прекратился. Яхта, набрав скорости, по инерции идет хорошим ходом. При этом направление вымпельного ветра стало OB_1 (еще острее по сравнению с прежними направлениями OB и O_1B_1). Теперь, если рулевой уже не может больше выбирать шкоты (потому что этого не позволяет оптимальное положение гика относительно диаметральной плоскости яхты), он должен будет уваливаться от надлежащего курса. Когда условия плавания вновь восстановятся и будут такими, как в положении *I*, яхта сможет вернуться на прежний курс.

Следовательно, порыв ветра, длящийся 1–2 мин, можно использовать двояко: 1) сохраняя неизменным курс яхты, увеличить скорость хода; 2) приведясь к ветру, выиграть в высоту положения. Что выгоднее, надо решать на основании конкретной обстановки в каждой гонке. Иногда выгоднее набрать большую высоту, а иногда, наоборот, место не играет роли, а в первую очередь необходимо повысить скорость.

То или иное решение зависит также от силы ветра и порыва. При сильных порывах более выгодно сохранять курс без изменения и потравливанием шкотов.

Увеличение скорости ветра на порывах происходит внезапно, часто в течение долей секунды. Поэтому команда должна обладать специальной техникой управления яхтой на шквалистом ветре. Задачей тренировки экипажа будет достижение почти инстинктивной, рефлекторной работы со шкотами, соответствующей изменениям ветра. Она должна быть такой, чтобы ни допуская чрезмерного полоскания парусов, ни слишком большого крена.

Одновременно с колебаниями скорости происходят изменения направления действительного ветра. В этих изменениях наблюдается примерно такая же ритмичность, какая проявляется и в образовании шквалов.

В общем, можно принять следующее правило: каждый день наблюдается какая-то определенная тенденция изменения направления ветра, а на порывах, при возрастании скорости, направление ветра обычно меняется.

Умелое использование заходов ветра в гонках исключительно важно и особенно эффективно на лавировке. Возьмем для примера две яхты, которые после отдания буйа *I* идут в лавировку на буй *II* (рис. 220). Осмотрительный рулевой яхты *B*, идя левым галсом, в какой-то момент убедится, что ветер «зашел», и, поскольку он не может удержаться на прежнем курсе, должен несколько уваливать. Вместо того чтобы уваливать, он делает поворот и на правом, теперь выгодном, галсе, выходит на буй *II* одним галсом. Менее внимательный рулевой яхты *A* делает поворот без учета захода ветра и значительно проигрывает яхте *B*.

Можно подсчитать, что при лавировке без учета заходов ветра под углом 45° к фактическому ветру (это общий случай для швертботов) — путь яхты от *I* до *II* будет равен 1,41 расстояния между ними по прямой линии (рис. 221). На основании данных, приведенных на рис. 221, легко установить, что рулевой, сумевший использовать заходы ветра в пределах 5° , проведет свою яхту от буя к бую по пути, длина которого равна только 1,3 расстояния между буями по прямой линии. Если бы удалось использовать заходы ветра до 15° , то путь яхты сократился бы на 26% по сравнению с яхтой, рулевой которой совершенно не обращает внимания на заходы ветра. При расстоянии между буями *I* и *II* в 2 км плохой рулевой проиграет на этом отрезке дистанции около 500 м.

Однако своевременная и правильная реакция на заходы ветра — задача трудная. Рулевой во время гонки должен держать под несколькими вниманием много одновременно действующих факторов, а не только направление ветра. Большое облегчение в поимке и выгодном использовании заходов ветра может дать постоянное наблюдение за пеленгами предметов, находящихся на большом расстоянии от яхты, например далеких буев, береговых предметов, других яхт и т. п. Выгоды использования заходов ветра так велики, что каждому рулевому следует специальной тренировкой вырабатывать у себя умение быстро разгадывать наступающее изменение направления ветра.

стр. 321

Добавим, что, когда скорость ветра увеличивается, на яхте кажется, что немного изменилось и направление ветра. Вымпельный ветер становится полнее. Очевидно, при этом не может быть и речи о перемене галса. Отсюда следует важный вывод: надо ветра отчетливо различать, что же изменилось — сила или направление ветра.

Возможности часто делать повороты и менять галсы у разных яхт далеко не одинаковые. Современные швертботы поворачиваются в несколько секунд, а потери на поворотах настолько малы, что покрываются выгодами, получаемыми за счет использования каждого захода ветра. Тяжелые килевые яхты много теряют на поворотах, на переходе линии ветра и на разбеге на новом галсе. Поэтому только более или менее значительное изменение направления ветра будет выгодно использовать на килевой яхте, но оно настолько существенно, что пренебрегать им нельзя.

В ночных гонках особое значение приобретает наблюдение за правильной постановкой парусов, поскольку она сильно затруднена плохой видимостью. В некоторых странах стали употреблять специальные указатели направления вымпельного ветра, облегчающие рулевому управление ночью.

5.1.4 Бриз

Разница в нагревании различных частей земной поверхности служит основной причиной образования циркуляционных движений в атмосфере, в том числе и горизонтального перемещения воздушных масс, называемого ветром. Примером легко наблюдаемого явления циркуляции воздушных масс может быть ночной и дневной бриз.

стр. 322

Для поддержания циркуляционного движения необходима затрата некоторого количества тепловой энергии. Поскольку наибольшее количество ее земля получает в полуденные часы, к этому времени должно быть приурочено возрастание

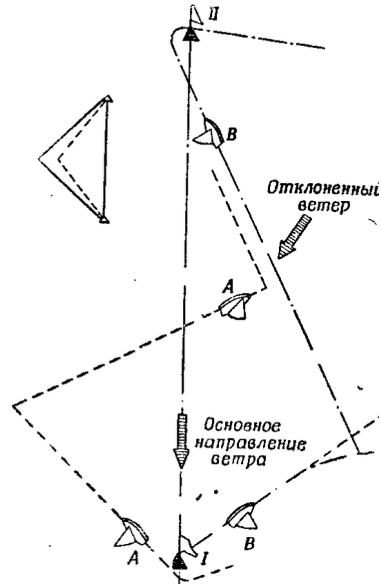


Рис. 220: Использование заходов ветра на лавировке

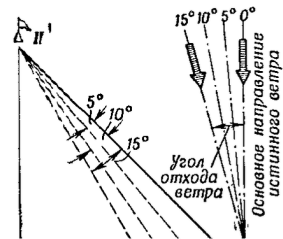


Рис. 221: Выигрыш в высоте при использовании заходов ветра

интенсивности циркуляционного движения. Иначе говоря, интенсивность термических перемещений воздушных масс в атмосфере зависит от количества поглощенной этими массами тепловой энергии, преобразованной затем в энергию кинетическую.

Многочисленные измерения показали, что скорость термического ветра — бриза тем больше, чем больше перепад температуры на поверхности, где он образуется. Следовательно, наибольшей скорости бризов можно ожидать вблизи береговой линии, когда температура соседних воздушных масс над землей и водой наибольшая.

Подобно скорости, и радиус действия бриза будет тем больше, чем больше разница в нагреве поверхности земли и воды. Например, обширный песчаный берег, сильно нагреваемый на солнце, в соседстве с холодной поверхностью воды дает сочетание, благоприятное для возникновения сильных бризов. Наоборот, заболоченный, поросший лесом берег не способствует образованию заметных бризов.

Дневной морской бриз начинается примерно в 9—10 час. и заканчивается с заходом солнца. Скорость ветра постепенно возрастает и доходит до 4—7 м/сек, или около 4 баллов Бофорта, в полуденные часы. Бриз не вызывает большого волнения на море, так как имеет довольно ограниченный радиус действия. Они редко заходят в море далее 8—10 км.

При некоторых обстоятельствах, принимая во внимание малое образование волн, на сильном бризе яхта может развить максимальную скорость. Признаком существования в атмосфере циркуляционных течений являются кучевые облака, которые можно наблюдать в солнечные безветренные дни над полуостровом Хель, несмотря на то, что над Гданьским заливом небо ясное, безоблачное. Они служат наглядным свидетельством существования морского бриза.

стр. 323

Полнее всего действие бриза может проявиться, когда нет сильного барического ветра. Барический ветер, в свою очередь, может усилить или ослабить действие бриза в зависимости от того, совпадает направление того и другого или нет. В результате взаимодействия этих двух ветров образуется некий результирующий ветер, скорость и направление которого меняются в зависимости от удаления от береговой линии. На рис. 222 приведены два случая взаимодействия бриза и барического ветра. Не трудно видеть, что скорость и направление результирующего ветра в такой степени отличаются от скорости и направления слагаемых, в какой скорость и направление бриза (перпендикулярное берегу) отличается от барического ветра. Кроме того, скорость бриза меняется по мере удаления от берега, и, следовательно, в прибрежных районах ветровая картина может сильно меняться в зависимости от характера берега, времени суток и т. п.

Если учесть все эти обстоятельства во время гонки, можно много выиграть по сравнению с тем, кто бездумно правит с буй на буй, не учитывая условий, в которых проходит гонка. Всесторонний учет всех условий — не простое дело. Рулевых, овладевших таким искусством, часто называют «хитрыми», хотя никакой хитрости здесь нет.

стр. 324

В наших довольно высоких географических широтах регулярные и постоянные бризы — явление редкое. Их постоянству мешает мощное влияние барических ветров, возникающих из-за постоянно перемещающихся областей низкого атмосферного давления. В более низких широтах, например в Италии, интенсивные бризы действуют с точностью часов, возникая и затихая в совершенно определенное время. Случай выбора нужного курса по отношению к ветру, меняющему направление

около берега, мы разбирали в примере, показанном на рис. 217. Таким же образом следует учитывать и влияние бриза.

Чрезвычайно сложные и интересные ветровые условия могут возникнуть в предвечерние часы, когда сила барического ветра ослабевает, а вечерний бриз только образуется и постепенно усиливается. В прибрежном районе в эти часы происходит борьба двух часто противоположных ветров, сильно усложняющая ветровые условия для соревнующихся яхт.

Именно такие условия можно было наблюдать в одной из гонок международной регаты в Сопоте в 1956 г. Яхты, шедшие от берега в море, вначале держали курс фордевинд. На некотором расстоянии от берега, пройдя район неустановившихся ветров, они попали в полосу путин или прямо противоположных ветров и должны были сменить курс фордевинд на бейдевинд. После огибания буя на подходе к финишу суда попали в полосу почти полного штиля. С безветренных раскачивающихся на мертвой волне яхт можно было видеть, как на берегу весело треплет флаги. Самым выгодным оказался не прямой, а окружной путь, проходящий в полосе ветра вдоль берега, хотя он был значительно длиннее. Первая яхта финишировала примерно на час раньше следующей при общей продолжительности гонки около 3,5 часа.

Местные бризы с суточным ритмом — так называемые озерные бризы — возникают также на больших озерах. Они значительно слабее морских бризов, но в штилевую погоду или в период слабых барических ветров могут иметь большое значение для соревнующихся яхт. Подобно морским, озерный бриз дует перпендикулярно берегу, а сила и радиус его действия зависят от характера данного района.

стр. 325

Пример действия дневного озерного бриза показан на рис. 223. В солнечный безветренный день или при слабом ветре радиус действия озерного бриза можно проследить по ряби на поверхности воды, поднимаемой им. Остальная часть озера в это время остается зеркально гладкой. Соревнуясь при слабых ветрах, необходимо стремиться использовать такие местные, хотя и слабые, ветерки. На рис. 223 показано, что с буя I на буй II можно плыть или прямо, по самому короткому пути, или вдоль берега, более длинным путем. Второй путь, хотя и длиннее, но значительно выгоднее, так как на яхту действует барический ветер и бриз одновременно, в результате увеличение скорости хода с избытком компенсирует лишнее расстояние.

Совсем не следует бояться более длинного пути, если его можно пройти в лучших ветровых условиях. Посмотрим, насколько примерно удлиняется путь, если яхта отклоняется от прямого направления в цель на угол:

Угол отклонения, град.	Удлинение пути, %
10	1,5
15	3,5
20	6,4
25	10,3
30	15,5
35	22

Отсюда можно сделать вывод, что боязнь некоторых рулевых отказаться от прямого, самого короткого, пути для поисков более выгодных ветровых условий

не может быть оправдана. Некоторое отклонение от прямого пути не связано с риском, из-за которого надо было бы отказываться от поисков самостоятельных путей. Между прочим, хорошо известно, что опытные рулевые охотно идут на поиски ветра, если для этого и приходится отклониться от прямого пути. На больших реках, как и на озерах, в жаркие дни можно использовать ветер, или абриз берегов. Вечерами, после захода солнца, скорее всего можно получить ветер, держась вблизи безлесных сухих берегов.

Местные ветры, возникающие в результате неодинакового прогрева земной поверхности, наибольшей силы достигают в летние месяцы. Весной и осенью, когда разница в температуре земной поверхности и воды уменьшается, интенсивность местных ветров слабеет.

5.1.5 Порыв, шквал

Одной из наиболее важных причин, вызывающих порывистость ветра, т. е. воздушного потока, движущегося горизонтально, параллельно земной поверхности, является образование восходящих или нисходящих термических потоков в атмосфере. О вертикальной циркуляции воздуха уже упоминалось при рассмотрении условий возникновения бризов. Теперь рассмотрим другой вид термической циркуляции, также имеющий большое значение в технике плавания на парусных яхтах.

В отличие от кругооборота воздушных масс при бризе этот вид циркуляции назван подоблачным. Кучевые облака, служащие признаком определенной погоды, одновременно являются показателем существования вертикальной циркуляции воздушных масс, благодаря которой они и возникают. Как вертикальная циркуляция влияет на барический ветер, показано на рис. 224. На рисунке видно, что горизонтальная слагающая циркуляционного движения меняет свое направление на 180° в зависимости от того, к какой ветви циркуляционного потока мы ее относим. Принимая скорость циркуляционного движения равной 2 м/сек, а скорость основного ветра — 5 м/сек, нетрудно установить, что в районе действия циркуляции скорость ветра может изменяться от 3 до 7 м/сек.

Особенно резко влияние вертикальной циркуляции воздушных масс может проявиться при слабом ветре: возникая в разных местах акватории в форме неожиданных порывов ветра, она может спутать все расчеты и полностью изменить шансы участвующих в гонке яхт.

Действие порыва ветра на группу яхт, находящихся не так далеко друг от друга, может быть совершенно различным. На рис. 224 видно, что яхта *a*, «получив» ветер 7 м/сек, может сильно поправить свои позиции по сравнению с яхтой *c*, находящейся в полосе ветра, дующего со скоростью 3 м/сек. Подоблачная циркуляция меняет не только скорость, но и направление основного ветра, причем изменения эти заметнее, чем слабее основной ветер.

Обратимся теперь к рис. 225, на котором показано действие поднимающихся и опускающихся потоков воздуха непосредственно у поверхности воды. При косом ударе опускающихся воздушных масс о поверхность воды (рис. 225, 3) местный ветер имеет склонность распространяться в стороны и, воздействуя на основной ветер, в большей или меньшей степени меняет его направление и скорость. Результирующий ветер можно определить сложением соответствующих векторов скоро-

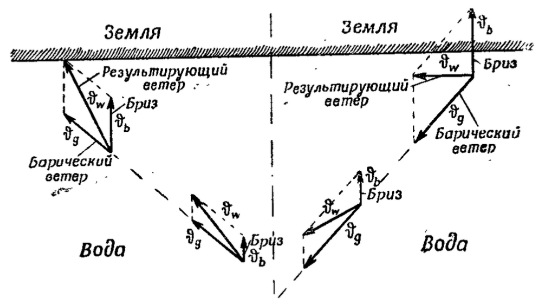


Рис. 222: Взаимодействие бриза и барического ветра

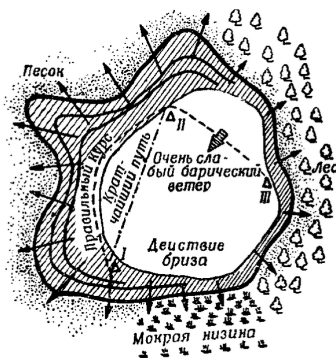


Рис. 223: Действие дневного озерного бриза

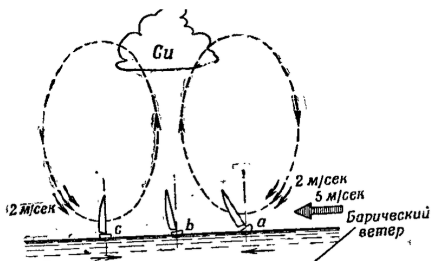


Рис. 224: Влияние подоблачной циркуляции на барический ветер

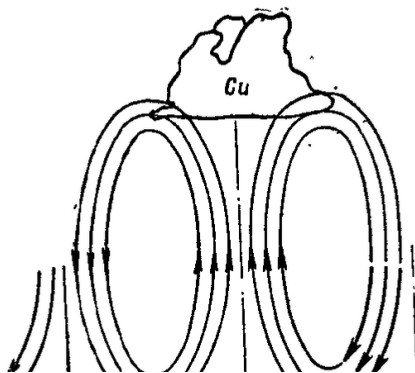


Рис. 225: Восходящие и опускающиеся потоки воздуха у поверхности воды

сти того и другого ветра.

Влияние восходящего потока (рис. 225, 2) проявляется несколько иначе. Рассмотрим для примера действие опускающегося потока, обозначенного на рис. 225 жирными стрелками. На рис. 226, I показано, что под действием невидимого глазом опускающегося вследствие подоблачной циркуляции потока воздуха может образоваться порыв ветра, при котором две яхты будут идти курсом фордевинд, но в противоположных направлениях. Такого характера порывы ветра, как правило, можно ожидать в районах, окруженных возвышенностями, где состояние атмосферы благоприятно для образования сильных вертикальных потоков.

На поверхности воды порывы ветра оставляют полосы ряби, движущиеся вместе с порывом. Они появляются неожиданно, подхватывают одну или несколько яхт-«счастливец» и несут их вперед на зависть неудачникам, оставшимся в полосе безветрия.

Когда яхта приближается к заштилевшей на воде полосе ряби ветра под углом, близким к прямому (рис. 226, II), то, как правило, можно ожидать следующих изменений ветра: в первое время (положение I) ветер усиливается и заходит, курс яхты становится острее. Паруса, стоявшие перед тем хорошо, начинают заполаскивать. Нужно энергично выбирать шкоты, а если этого недостаточно, то несколько увалиться от курса $K-K$. Плывая далее курсом $K-K$, мы убедимся, что в положении 2 ветер отходит и курс становится полнее. Можно потравить шкоты и получить большую скорость хода. Чем ближе к точке 3, тем полнее ветер, но после выхода из района действия порыва яхта опять попадает в область действия слабого основного ветра. Направление его изменится на более острое, и вновь придется подбирать шкоты.

стр. 329

Плавание на слабых ветрах и наличие местных порывов требуют от рулевого применения особой тактики, которую можно назвать «погоней за ветром». В такую погоду нельзя держаться только кратчайшим путем с буй на буй. Как только появляется возможность, надо стараться ловить порывы ветра. Подхватив порыв ветра, нужно держаться за него как можно дольше, двигаясь в направлении следящего буй.

Правильное и неправильное поведение яхт, находящихся в выше описанных условиях, показано на рис. 227. Конечно, на рисунке невозможно показать все особенности, которые могут возникнуть при плавании на порывах ветра. Их надо учиться наблюдать на практике и использовать в гонках.

Летом, в особые солнечные дни, могут создаваться благоприятные условия — температурные, влажности воздуха и прочие, которые облегчают возникновение термических бурь, характерных внезапными подоблачными циркуляциями воздушных масс. Термические бури случаются во второй половине дня. Крупные кучевые или грозовые облака, клубящиеся и заканчивающиеся наверху более или менее плоской поверхностью (облака, напоминающие наковальню), могут быть далеко видимой приметой приближения термической бури (рис. 228). Сильная вертикальная циркуляция воздуха, которая обычно сопровождает грозовые облака (Cb), вблизи земной поверхности проявляется в виде шквалов, иногда чрезвычайной силы.

стр. 330

В погоды, когда появляются термические бури, характерно то, что обычно дует легкий ветерок и ничто не предвещает бурю. В районе бури следует ожидать внезапного порыва ветра, скорость которого во много раз превзойдет скорость ветра,

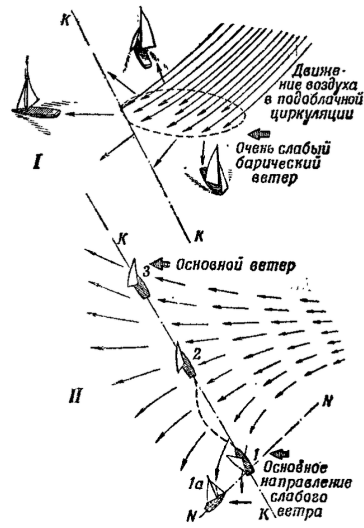


Рис. 226: Порывы ветра и их влияние на яхты

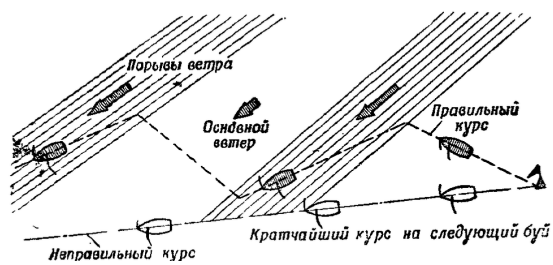


Рис. 227: Использование порывов ветра

дувшего до шквала. Обратим внимание на график в нижней части рис. 228. Во время первого шквала скорость ветра с 6 м/сек подскочила почти до 20 м/сек. Сравнивая нижнюю часть рисунка с верхней, можно заметить, что первый шквал — это сухой, не приносящий дождя. Вскоре за первым, сухим, шквалом налетает второй, сопровождаемый ливнем (поэтому он называется мокрым).

Одновременно с мокрым шквалом направление ветра обычно меняется на 180° относительно ветра, дувшего до прихода бури. Постепенно, по мере уменьшения ливня, успокаивается и ветер. После короткого затишья со сравнительно слабым ветром может прийти новый шквал, но уже значительно меньшей силы, чем первый. Затем буря проходит, и ветер становится слабым или умеренным.

В вечернее время термические бури распыляются и исчезают, не достигая заметной силы.

В подавляющем большинстве случаев изменение скорости и направления ветра во время бури происходит так, как описано выше и показано на рис. 228. В связи с этим можно установить совершенно определенный порядок действия экипажа в ожидании приближающейся бури.

Характер, силу шквала, который принесет с собой буря, можно определить по некоторым признакам (например, по степени потемнения горизонта, степени клубления облаков, обширности района, охваченного бурей, времени дня, времени года и т. п.). В любом случае при встрече с термической бурей нельзя пренебрегать мерами безопасности. Небольшие швертботы должны убрать паруса, более крупные яхты — тщательно зарифиться. Если возможно, швертботы должны уйти в защищенную бухту или гавань. После первых шквалов не надо спешить отдавать рифы, так как возможен по меньшей мере еще один шквал.

Термические бури имеют как бы излюбленные места, где они бывают наиболее часто. Например, сильные бури и шквалы часто наблюдаются в районе озера Снярдвы, и объясняется это плоской равниной вокруг.

Заканчивая рассмотрение вопроса о влиянии тепла на природу и характер наземного ветра, вспомним хорошо известный яхтсменам скоростной ветер, усиливающийся в полуденные часы. Мы уже выяснили, что основная причина возникновения ветров — солнечная радиация. Отсюда как будто напрашивается вывод, что чем сильнее греет солнце, например в ясный день, тем сильнее должен быть ветер к полудню. Однако путем замеров установлено, что возрастание скорости ветра в течение дня зависит от распределения температур на различных уровнях атмосферы по высоте. В метеорологии такие изменения выражаются посредством температурного градиента ветра. Установлено также, что прирост скорости ветра в течение дня пропорционален температурному градиенту ветра. Эта зависимость скорости ветра от температурного градиента приведена на рис. 229. Числа на кривых показывают величину вертикального градиента температур, который, как известно, равен уменьшению температуры, выраженной в градусах, на каждые 100 м высоты от какого-то определенным исходным уровнем.

Кривая градиента $0,7-1^{\circ}/100$ м характеризует воздушные массы арктического происхождения или холодные полярные ветры, наступающие на теплый район. Крайняя, самая низкая кривая с градиентом $0,2$ характерна для устойчивых, сухих, теплых масс, например в областях высокого барометрического давления.

Этот вопрос имеет практическое значение в гонках, когда старт дается утром, а гонка будет продолжаться несколько часов. Тогда рулевому надо угадать, какой

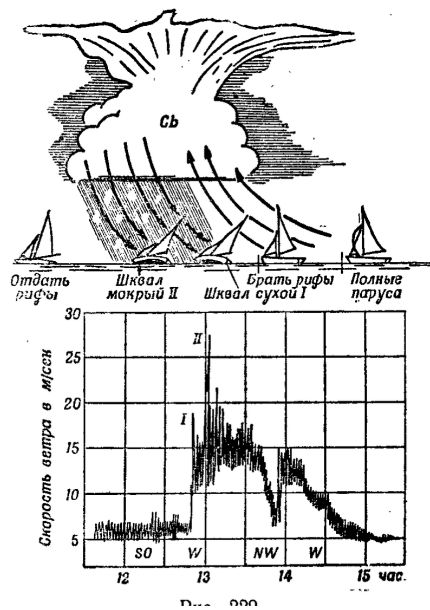


Рис. 228: Термическая буря

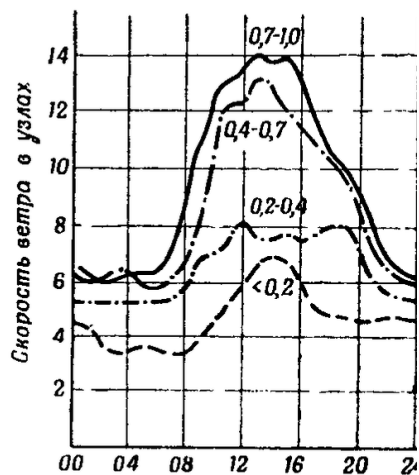


Рис. 229: Зависимость скорости ветра от температурного градиента

поставить парус — плоский или «пузатый», а для этого надо знать, усилится ли ветер и насколько.

Наверняка можно рассчитывать на усиление ветра к полудню, если находишься в районе, на который надвигаются новые холодные массы воздуха. И наоборот, даже при ясной солнечной погоде в районе установившегося высокого барометрического давления полуденное усиление ветра маловероятно.

стр. 333

На рис. 229 видно, что ветер дует с наибольшей силой между 10 и 16 час. Следовательно, если стартовать приходится утром, надо считаться с возможностью усиления ветра и возможной необходимостью брать рифы. Стартуя после полудня, можно, наоборот, ожидать ослабления ветра: значит, здесь больше подойдет «пузатый» парус. Эти рассуждения правильны для установившейся погоды, а не при прохождении метеорологического фронта, когда приходится считаться с иными причинами изменения силы и направления ветра.

Одновременно с усилением ветра в полуденные часы меняется и его направление. Ветер поворачивает вправо (по солнцу), и этот поворот иногда доходит даже до угла 60° . При выборе парусов следует учитывать не только изменение силы, но и перемену направления ветра. После полудня затихающий ветер будет отходить влево, т. е. в противоположном направлении.

5.1.6 Ветер в районе дистанции

На основе предыдущих рассуждений вообразим, что над районом дистанции простирается ветровое поле, характеризуемое: 1) скоростью ветра, 2) его направлением, 3) характером — порывистостью, шквалистостью и т. п. Желая дополнить ветровую обстановку в районе дистанции, следует учесть еще два фактора: береговые препятствия, присутствие и близость других соревнующихся яхт. Оба эти фактора оказывают большое влияние на характер возникающих на парусе аэродинамических сил.

5.1.7 Береговые препятствия

Насколько влияние тепловых факторов на ветер меняется во времени и почти не поддается предварительному выяснению, настолько береговые препятствия совершенно определенно действуют на ветер определенного направления. Поэтому в зависимости от очертания и топографии берега можно заранее определить для данного места ветровые условия.

стр. 334

Так, известно влияние перевалов, дующих над горным озером. На рис. 230 показаны примерные пути ветров, дующих на озере Махов в Чехословакии при основном северо-западном ветре. Мы видим, что путь ветра *A* проходит почти перпендикулярно пути ветра *C*. Кроме того, рядом с местами, в которых держится постоянный устойчивый ветер, есть места со слабым, непостоянным ветром, места вовсе без ветра и даже места, где ветер сильно и беспорядочно завихряется. В приведенном примере воздушные массы перемещаются в основном по перевалам, играющим в данном случае роль направляющих для ветра. Вzgорья, окружающие озеро, образуют аэродинамические тени, в районе которых преобладают слабые и неопределенные ветры. Яхтсмены, изучившие свою акваторию, хорошо знают, какое многообразие ветровых комбинаций существует на ней в зависимости от

направления основного ветра. Обычно знание местных ветров дает заметное преимущество яхтсменам перед участниками, прибывшими из других мест. Последним полезно понаблюдать за водой с какого-нибудь пригорка, откуда открывается широкий вид на акваторию. Волнение, рябь на поверхности воды могут дать некоторое представление о местных ветрах. Свои наблюдения следует затем проверить в тренировочном выходе. Во всяком случае в первой гонке нужно присматриваться и держаться ближе к местным рулевым, знающим свою воду, а не рисковать в поисках лучших путей.

Сильно изрезанные берега и расщепленные озера лакируют на ветер, и горные перевалы. Например, хорошо известно, как много сюрпризов таит для новичков озеро Кеки под Познанию или озеро Кисайно на Мазурах.

Несмотря на то, что береговые препятствия оказывают серьезное и довольно сложное действие на ветер, они могут быть сведены к двум сравнительно простым типам:

1) препятствия, вызывающие сужение ветрового потока, отчего может значительно увеличиться скорость ветра, а направление его не изменится или изменится незначительно;

2) препятствия, вызывающие завихрения воздушного потока, отчего сильно изменяется направление ветра с одновременным снижением скорости.

Первый случай схематически показан на рис. 231. Плывя в тени высокого берега, яхта (положение *a*) использует только слабый ветер, главным образом верхней частью паруса. Как только она выйдет на траверз низины (положение *b*), она получит внезапный сильный ветровой порыв. Ветровой удар будет тем сильнее, чем больше отличаются между собой сечения f_1 и f . Зачастую встречается такая топография берегов, что образуются естественные сопла, в которых скорость ветра повышается в два раза сравнительно с его скоростью перед этим соплом. Припомним, что когда скорость ветра возрастает в два раза, эффективность действия его на парус увеличивается в четыре раза. Если принять во внимание, что внезапное динамическое действие ветра гораздо опаснее постепенного нарастания его силы, не трудно удивляться, когда яхта, рулевой которой не успел быстро потравить шкоты, опрокинется под действием такого удара. Поэтому, приближаясь на яхте к берегу, топография которого резко меняется (овраги, ущелья и т. п.), надо готовиться к внезапным изменениям ветра и его действию на поперечное равновесие яхты.

На рис. 232 приведен другой случай перемен в движении воздушных масс, происходящих под действием препятствия. На рис. 232, I мы видим завихрение, возникающее за рядом растущих на берегу высоких деревьев. Влияние такого препятствия распространяется на подветренной стороне на расстояние, равное примерно 4–6 высотам самого препятствия. При малых скоростях ветра район действия завихрений укорачивается. В зависимости от расстояния, на котором яхта находится от препятствия, действие ветра может быть различным, вызывая, как иногда кажется со стороны, совершенно непонятное поведение парусов.

С завихрением ветра следует считаться не только тогда, когда приходится плыть по подветренной стороне препятствия, но и когда приходится идти на небольшом расстоянии от препятствия с его наветренной стороны, например перед высоким, обрывистым берегом (рис. 232, II). Протяженность полосы завихрений, очевидно, зависит от высоты препятствия (рис. 232, II).

стр. 335

стр. 336

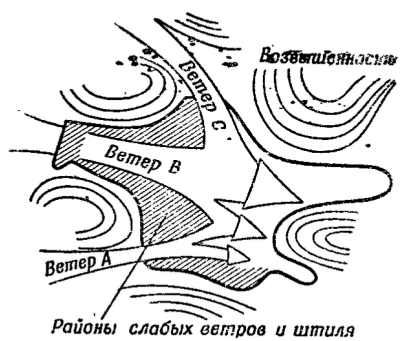


Рис. 230: Рябь следов ветра и штиля

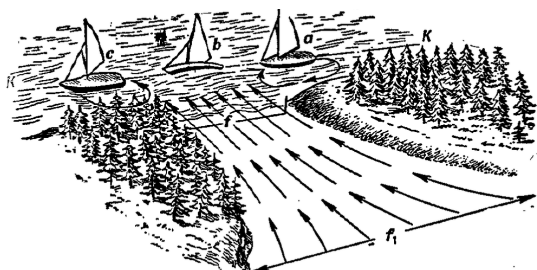


Рис. 231: Ветровая тень и «ветровой удар»

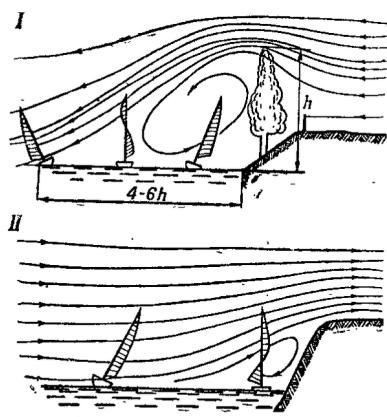


Рис. 232: Завихрение ветра за препятствием

5.1.8 Влияние других соревнующихся яхт

Во время гонки надо учитывать еще одно обстоятельство, вызывающее изменение скорости и направления ветра: взаимодействие парусов яхт, находящихся в непосредственной близости друг к другу.

стр. 337

Такое взаимодействие схематически показано на рис. 233. Посредством аэродинамических измерений установлено, что вследствие взаимного воздействия двух рядом стоящих парусов они будут работать в несколько различных условиях. Вокруг парусов идущих рядом яхт образуются ветровые условия, отличные от условий, создаваемых непосредственно только основным ветром.

Парус яхты N на некотором расстоянии перед собой вызывает поворот ветра влево (смотря по ходу яхты). Измерения скорости ветра в точках 1 и 2 показали бы, что скорость ветра, действующего на парус подветренной яхты Z , больше скорости ветра, действующего на парус наветренной яхты N , на величину Δc . Кроме того, ветер, действующий на яхту Z , отклонен на угол $\Delta\alpha$, что выгодно для этой яхты. Короче говоря, у подветренной яхты ветер будет полнее и сильнее, а следовательно, рулевой может получить на парусе большую силу тяги.

Можно сказать, что яхта N в данном случае помогает своему конкуренту яхте Z увеличить скорость хода.

Объяснение этого хорошо известного гонщикам явления не представляет труда для тех, кто досконально разобрался в основах аэродинамики паруса. Здесь мы считаем необходимым только отметить широко распространенный, но все же ошибочный взгляд, что между парусами яхт N и Z якобы образуется подобие сопла, действием которого и объясняется преимущество подветренной яхты. На самом деле никакого сопла не образуется, так как паруса обеих яхт параллельны и расстояние между ними сохраняется одинаковым. Существо явления объясняется более интенсивной циркуляцией ветра вокруг паруса подветренной яхты. Позиция яхты Z называется «безопасной подветренной позицией». Яхта Z может выгодно ее использовать, выйдя вперед яхты N , а затем, будучи свободной, пойти более острым курсом. Этот маневр относится к классическим средствам гоночной тактики.

стр. 338

«Безопасная подветренная позиция», выгодная вообще, может дать наибольшие преимущества в гонках с умеренными ветрами, когда команда без труда откренивает яхт.

Если ветер настолько сильный, что команда с трудом борется с креном, то в «безопасной подветренной позиции» эти трудности станут еще большими. Крен яхты увеличится. Рулевому придется скорее всего несколько потравить шкоты и поставить парус в менее выгодное положение. Очевидно, в таких условиях не удастся использовать выгодные возможности «безопасной подветренной позиции». Если яхта будет идти с сильным креном, то аэродинамические и гидродинамические условия меняются настолько неблагоприятно, что все преимущества этой позиции также теряются.

Рассматривая рис. 233, можно заметить, что плывущие фронтом яхты образуют перед собой как бы «лобовую волну», в пределах которой несколько увеличивается скорость и меняется направление ветра.

Когда строем фронта идет группа яхт, то явление «лобовой волны» проявляется таким образом, что на самую подветренную яхту будет действовать наиболее силь-

ный и полный ветер. Справедливость этого подтверждается гоночной практикой. Во многих случаях можно видеть, что крайняя подветренная яхта, находящаяся в «безопасной подветренной позиции», идет с заметно большим креном, чем яхты наветренное, и крен является верным показателем величины аэродинамических сил, возникающих на парусе (рис. 234).

Принимая во внимание сказанное относительно преимущества «безопасной подветренной позиции», можно было бы пересмотреть классическое правило тактики на старте, по которому все преимущества отдаются самой наветренной яхте. Оказывается, точный, по времени старт, даже на середине стартовой линии, дает заметные преимущества подветренной яхте, которой находящиеся «на ветру» яхты создают более благоприятные ветровые условия. Но для этого надо стартовать пунктуально, без опоздания.

Допустим, что рулевой яхты, находящейся в «безопасной подветренной позиции», не делает ошибок и обе яхты — однотипны с одинаковыми парусами, т. е. с равными ходовыми качествами. Тогда подветренная яхта должна обогнать наветренную и выйти чисто вперед. Наветренная яхта окажется в положении, которое М. Карри определил как «безнадежное». Посмотрим, почему эта позиция названа «безнадежной» (рис. 235). Парус яхты можно рассматривать как своеобразный руль, отклоняющий поток масс воздуха. Согласно теории аэродинамики, в первом приближении можно принять, что аэродинамический импульс P , образующийся на парусе в единицу времени, равен приросту количества движения масс воздуха, отбрасываемых парусом в направлении, противоположном P .

Обозначая массу воздуха, отбрасываемую парусом, буквой m , скорость, с которой она отбрасывается от паруса — ω , можно составить следующую формулу:

$$P = m \cdot \omega.$$

Отсюда ясно, что чем больше величина силы P , возникающей на парусе, тем сильнее воздушные струи будут отбрасываться парусом в сторону.

Складывая скорость ω со скоростью ветра перед парусом v , можно убедиться, что, пройдя парус, ветер будет отклоняться так, что идущая сзади яхта попадет в полосу чрезвычайно острого ветра v_2 .

Попавшая в такое положение яхта должна или увалиться, или переменить галс, поскольку идти тем же курсом, что и передняя яхта, она не может. Уваливаясь, она попадет в область завихренного ветра после прохода передней яхты и на этом теряет еще больше.

Направление области завихрений, тянущейся за парусом, при острых курсах отклоняется к «на ветру» от направления вымпельного ветра. Протяженность завихренной полосы зависит от угла установки паруса относительно вымпельного ветра. Она невелика на курсах от бейдевинда до острого бакштага и постепенно увеличивается с полнотой курса вплоть до фордевинда. Протяженность и направление так называемого «конуса покрытия» приведены на рис. 236.

Изменение направления ветра, а также завихрения можно обнаружить за яхтой на расстоянии от 2–3 до 20 и более длин самой яхты. Это зависит от скорости ветра, курса и количества яхт, вызывающих изменение ветра. В особенно невыгодном положении находится яхта, идущая сзади нескольких яхт на курсе бейдевинд

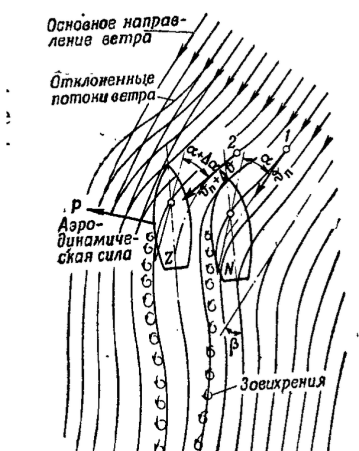


Рис. 233: Взаимодействие парусов яхт *N* и *Z*

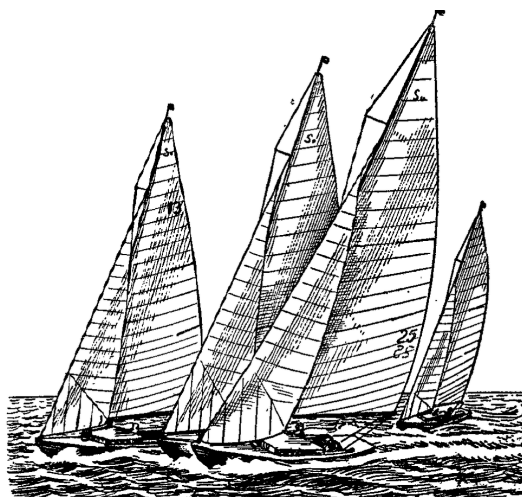


Рис. 234: «Безопасная подветренная позиция» (обратите внимание на наклон мачт, указывающий на величину сил на парусах яхт)

(см. рис. 235, а). Рулевой ее встречает отклоненный и завихренный ветер, уже потерявший часть своей энергии. Чем теснее, ближе друг к другу расположены яхты по фронту, тем более невыгодное изменение ветра происходит за ними.

Если в результате неудачного старта яхта оказалась в «безнадежной позиции», да и вдобавок еще позади большой группы яхт, надо как можно скорее выйти за черту невыгодного ветра. Если этого не сделать, то через некоторое время можно оказаться далеко позади и поправлять положение будет трудно, а может быть, и поздно.

«Безнадежная позиция», как и «безопасная подветренная позиция», относится к известным средствам гоночной тактической борьбы. Оба приема применяются во время лавировки. На других курсах средством тактической борьбы является покрытие парусов противника аэродинамической тенью своих парусов (рис. 237). Мы не будем останавливаться здесь на отдельных примерах использования этих средств тактической борьбы, так как это дело чистой тактики, обратим только внимание на взаимное влияние парусов на курсе фордевинд.

Интересные опыты в этой области были проведены Эйфелем. Он исследовал аэродинамические силы, возникающие на одинаковых пластинках, поставленных друг за другом на одной оси, но на разных расстояниях. Результаты исследований приведены на рис. 238. На вертикальной оси отложены величины сил в кГ, а на горизонтальной — расстояние между пластинками,

стр. 342

выраженное через ширину пластинки. Эти результаты можно отнести к случаям, встречающимся в гоночной практике.

Величину силы одиночного паруса, на который не влияют никакие другие паруса, примем равной P . В исследованиях Эйфеля эта сила равнялась 6,8 кГ. Если парус 1 на расстоянии, равном 1,5 его ширины, перекрывает парус 2, то аэродинамическая сила на первом парусе возрастает примерно на 10%. Одновременно на парусе 2 будет действовать сила, противодействующая движению яхты и равная примерно 30% силы P .

В положении II (см. рис. 238) достигается наибольший тактический эффект покрытия парусов противника. По мере увеличения расстояния между яхтами на парусе 2 появляются аэродинамические силы, действующие в направлении движения яхты, которые все же меньше сил, образующихся на покрывающем парусе. Когда расстояние между яхтами станет равным или больше пятикратной ширины паруса, практический эффект покрытия сведется к нулю. Передняя яхта вырвется из аэродинамической тени покрывающей яхты, т. е. из «конуса покрытия».

В связи с возможностью взаимного покрытия парусов на фордевинде стоит привести интересные опыты, проведенные шведским яхтсменом М. Линдстремом. Он установил, что невыгодно идти чистым фордевиндом,

стр. 343

особенно при слабых ветрах. Из проведенной Линдстремом серии опытных плаваний на яхте класса «R—5,5» вытекает, что выгоднее, вместо чистого фордевинда, идти двумя курсами бакштаг (рис. 239). Яхта проходит более длинный путь, но с большей скоростью. Существенно, что, плывя курсами бакштаг, рулевой избавляется от опасности попасть под покрытие своих противников и вместе с тем добивается выгодного положения при проходе к поворотному бую. При скорости ветра 1 м/сек и отклонении от курса фордевинда на 40° скорость яхты была на 60% больше, чем на курсе чистый фордевинд. Так как путь D_d в этом случае был длиннее пути D_k только на 30%, получался чистый выигрыш также в 30%.

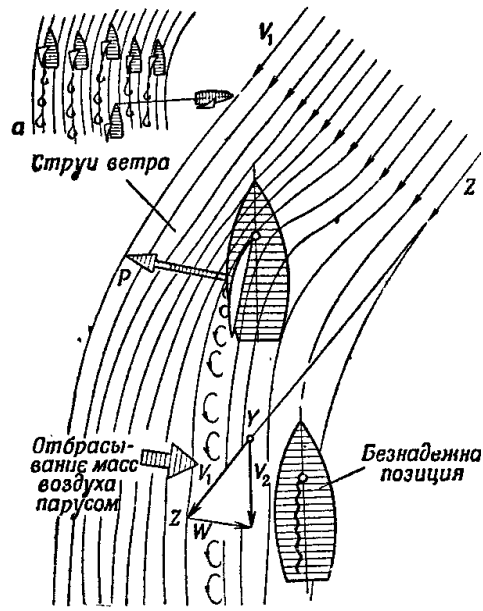


Рис. 236

Рис. 235: «Безнадёжная позиция»

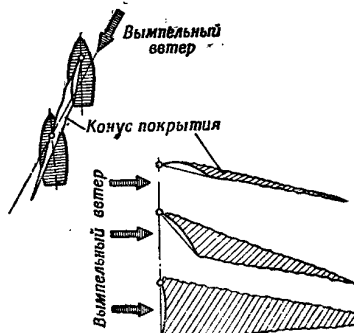


Рис. 236: Протяженность и направление «конуса покрытия»

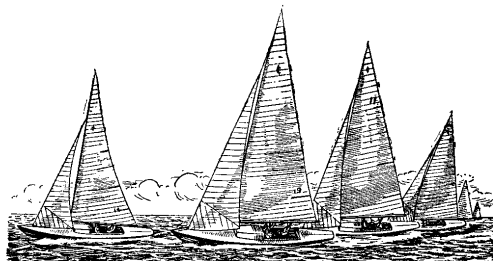


Рис. 237: «Безнадёжная позиция» 3-й яхты слева, находящейся в аэродинамической тени парусов двух первых яхт

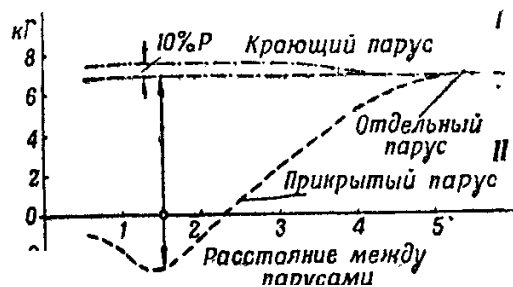


Рис. 238: Аэродинамические силы на пластинках, поставленных друг за другом на одной оси

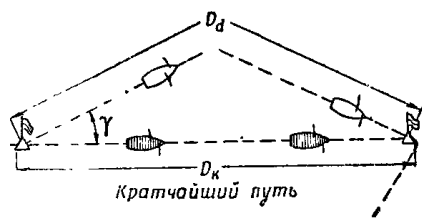


Рис. 240

⇒ $\gamma=10^\circ$	$Dd = 101,5\%$	Dk
⇒ $\gamma=15^\circ$	"	$= 103,5\%$ "
⇒ $\gamma=20^\circ$	"	$= 106,4\%$ "
⇒ $\gamma=25^\circ$	"	$= 110,3\%$ "
⇒ $\gamma=30^\circ$	"	$= 115,5\%$ "
⇒ $\gamma=35^\circ$	"	$= 122,0\%$ "
⇒ $\gamma=40^\circ$	"	$= 139,5\%$ "

Рис. 239: Кратчайший путь и путь курсами бакштаг

При ветре 6 м/сек и отклонении от курса фордевинд на 30° прирост скорости был только 10%, в то время как путь стал длиннее на 15,5%. Следовательно, в этом случае потери составляли около 5,5%.

Кажущаяся противоречивость выводов Линдстрема объясняется тем, что никакая яхта не может превысить известной

нам так называемой «скорости водоизмещения». На достаточно сильных ветрах разница в скорости хода на курсе фордевинд и бакштаг стирается, так как в обоих случаях она приближается к критической скорости — «скорости водоизмещения».

Как сообщает Линдстрем, самым выгодным было отклонение от курса фордевинд на угол $30\text{—}40^\circ$. Однако выбор этого угла зависит от типа и свойств яхты.

Прирост скорости на курсе бакштаг зависит также и от степени волнения моря. На гладкой воде и при слабом ветре можно получить наилучшие результаты.

5.2 Вода

Подвижность и изменчивость водной стихии имеют для парусного спорта не меньшее, если не большее, значение, чем перемещение воздушных масс. Умение разобратся в течении и правильно его учесть при раскладке курса может быть очень полезным в гонках. В океанах, морях и даже в заливах действуют течения, иногда едва заметные, иногда весьма сильные. Рулевому необходимо их знать и учитывать так же, как он учитывает течение, плывая по реке.

Наконец, плывая на швертботе или небольшой килевой яхте, надо научиться использовать волну. Волны могут стать источником добавочной энергии, которая при умелом использовании заметно увеличит скорость хода яхты.

5.2.1 Влияние волны на яхту

Механика зарождения и перемещения волн еще полностью не выяснена, однако несомненно, что основная причина образования волн — это ветер, точнее, трение воздушных масс о поверхность воды. Перемещаясь по водной поверхности, массы воздуха вызывают колебания частиц воды, которые при длительном действии ветра усиливаются и образуют волнение. Действие ветра на водной поверхности аналогично его действию на поле пшеницы, по которому пробегают волны гнущихся колосьев. Колосья остаются на месте и только сгибаются и снова выпрямляются, но создается зрительное впечатление бегущей волны. Подобное явление происходит и на воде. Частицы воды не перемещаются вместе с волной, а только поднимаются и опускаются. Движение происходит не просто по вертикали, а по некоторым замкнутым орбитам, близким к окружности.

Образование и движение волн показано на рис. 240, I. Штриховой линией обозначено положение частиц воды, совершающих колебательные движения по окружности в определенные моменты времени. Представим, что через некоторый промежуток времени частицы воды переместились на своих орбитах на $1/12$ окружности. Тогда гребень волны переместится вперед. Новое положение волны показано сплошной линией.

Когда частицы воды сделают полный оборот по своей круговой орбите вокруг точки равновесия, гребень волны перейдет из положения 1 в положение 2, т. е. переместится на полную длину волны. Время, за которое волна проходит путь,

равный ее длине (время между прохождением двух очередных гребней волны через одну и ту же точку), называется *периодом волны* T .

Зная высоту волны H , равную диаметру орбиты частиц, и период волны T , можно определить окружную скорость движения частиц по орбите. Она вычисляется по формуле:

$$W = \frac{2\pi r}{T} = \frac{\pi \cdot H}{T}.$$

Отсюда ясно, что скорость движения частиц воды тем больше, чем выше волна. Движение частиц воды создает на поверхности волны определенное течение, скорость и направление которого неодинаковы на разных участках волны (см. рис. 240, I). На гребне течение совпадает с движением волн, в долине оно направлено назад, против движения волн. Интенсивность этого поверхностного течения, путешествующего вместе с волной, на рис. 240, I обозначена заштрихованными стрелками, имеющими разную толщину. Толщина стрелки пропорциональна скорости течения.

Рассматривая рис. 240, II, не трудно убедиться, что поверхностное течение по-разному влияет на яхту, в зависимости от ее положения на волне и курса, которым она идет. Например, яхта a , пересекающая косо волну на курсе бейдевинд, будет разворачиваться на более полный курс. Яхту же, плывущую курсом бакштаг, поверхностным течением будет разворачивать на курс фордевинд.

В других частях волны влияние поверхностного течения проявляется по-своему, в чем можно убедиться, проанализировав рисунок. Итак, под действием поверхностного течения яхта стремится изменить курс, а поскольку характер такого действия постоянно меняется, то яхта, как говорят, начинает «рыскать». Для борьбы с этим на волне рулевой должен постоянно ритмично работать рулем.

Волнение захватывает только поверхностные слои воды, и чем глубже, тем оно становится слабее, а на известной глубине полностью затихает. Поэтому и течение сильнее всего проявляется на поверхности и быстро затихает с глубиной. Следовательно, швертботы и маленькие килевые яхты больше подвержены действию течения, чем глубоко сидящие крупные килевые яхты. На сохранение яхтой своего курса на волне заметно влияет инерция корпуса, а следовательно, и водоизмещение яхты.

5.2.2 Характер волн

Волны, с которыми встречается яхтсмен, физики называют гравитационными, поскольку они возникают главным образом в результате проявления сил тяжести.

Гравитационные волны образуются тогда, когда скорость ветра достигает не менее 1,1 м/сек. Если скорость ветра меньше 0,9 м/сек, гравитационные волны уже не возникают, а на поверхности воды образуется рябь, исчезающая одновременно с прекращением ветра. Ветер, скорость которого меньше 0,23 м/сек, не оставляет на воде никаких следов.

С усилением ветра растет высота и длина волн. В начальном периоде волнообразования высота волн растет быстрее, чем длина. Отношение высоты волны H к ее длине L , т. е. крутизна волны, в начальном периоде бывает 1 : 7—1 : 8. Через некоторое время, под дальнейшим воздействием ветра, оно становится равным

1 : 20—1 : 35. Правильные, хорошо образованные волны устанавливаются только при сильном продолжительном ветре.

Величина, форма и развитие волн зависят от размеров и глубины акватории, на которой они образуются. Поэтому охарактеризовать волнение, исходя единственно из ветровых условий, можно только очень приблизительно. Известно, что одинаковое на первый взгляд волнение на разных морях и океанах будет иметь различную длину и высоту волны. В табл. 14 приведены размеры волн, характерные для разных морей.

На мелких, относительно небольших акваториях не может образоваться длинных волн. Средний размер волн с указанием силы сопутствующего ветра для разных морей дан в табл. 15.

Как показывают данные таблицы, нельзя предвидеть размеров волнения, учитывая только силу ветра. Однако на всех морях во время шторма наблюдается тенденция увеличения длины волн и уменьшения отношения $H : L$. Так, штормовые волны на севере Атлантического океана при высоте 14—16 м имеют длину 200—300 м. На Балтийском море редко бывают волны длиннее 35 и выше 2,5 м.

Самая большая волна, которую до настоящего времени удалось наблюдать, имела длину 850 м и двигалась со скоростью $c = 38$ м/сек. Волны подобной длины образуются на больших водных пространствах, охваченных действием постоянных западных ветров, между 40—50° южной широты.

Чем длиннее волна, тем с большей скоростью она движется. Между скоростью c , длиной L и периодом волны T есть тесная зависимость, определяемая формулой:

$$c = \frac{L}{T},$$

где: c — скорость, м/сек, L — длина волны, м, T — период волны, сек.

Зная длину волны, можно вычислить ее скорость по формуле

$$c = 1,25\sqrt{L}.$$

Скорость волны можно вычислить, определив период T в сек. по следующей формуле: $c \cong 1,5T$ (м/сек), или $c \cong 3T$ (узлов).

Период T не трудно определить, наблюдая по секундомеру прохождение двух последовательных гребней через одну и ту же точку.

Зависимость между величинами L , c и T графически показана на рис. 241.

Когда ветер стихает, образованная им волна, которую будем называть свежей, живой, переходит в так называемую мертвую зыбь. Мертвая зыбь отличается от свежей волны значительно большей длиной и меньшей крутизной. Вернувшись к табл. 15, можно заметить, что мертвая зыбь в Атлантическом океане, отмеченная при полном безветрии, давала волну длиной 100 м с высотой до 2 м, или с крутизной 1 : 50. Волны с такой длиной отмечались на Атлантическом океане при ветре 24 м/сек, но высота волны при этом была равна 7 м, а крутизна 1 : 14.

Мертвая зыбь может распространяться очень далеко и достигать районов, где уже давно не было сильного ветра. Поэтому мертвая зыбь сигнализирует о прохождении в каких-то районах моря циклона.

Оставшаяся от прошлых ветров мертвая зыбь может накладываться на вновь образовавшиеся волны, значительно их усиливая. Такое наложение, происходящее периодически, получило широкопростра-

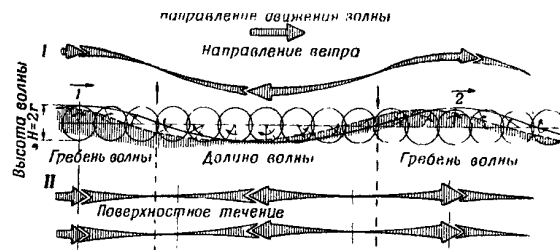


Рис. 240: Образование и движение волн

Таблица 14:

Состояние моря	Атлантический океан		Балтийское море	
	высота	длина	высота	длина
<i>A</i>	1,0—1,5	15—25	0,5—0,75	14—18
<i>B</i>	1,5—2,5	25—45	0,75—1,0	18—22
<i>C</i>	2,5—4,25	45—80	1,0—1,5	22—30
<i>D</i>	4,25—6,75	80—125	1,5—2,0	30—45

Таблица 15:

Район	Ветер, м/сек	Длина волны L , м	Высота волны H , м	$\frac{H}{L}$
Средиземное море	—	74	4,5	1:16,5
Северное море	—	85	5,0	1:17
Атлантический океан	0	100	2,0	1:50
	7,5	72	3,1	1:23
	9,5	80	3,5	1:23
	16,0	85	5,0	1:17
	24,0	100	7,0	1:14
Тихий океан	0	156	3,9	1:40
	6,5	96	2,8	1:34
	8,2	102	4,0	1:25
Индийский океан	4,3	78	3,7	1:21
	7,5	102	3,1	1:33
	8,0	340	7,5	1:45

нившееся название «девятый вал». На самом деле при полном совпадении зыби и новой волны образуется сильная результирующая волна. Проведенные измерения с автоматической записью результатов подтвердили появление время от времени более сильных волн, однако не удалось установить никакого определенного, постоянного ритма в их появлении. Сильная волна может быть 5-й, 9-й, 12-й и т. д.

Причиной периодического усиления волн и увеличения их высоты, кроме мертвой зыби, может служить изменение направления ветра, а также шквал.

Оценивая высоту волн с палубы яхты, легко впасть в ошибочное преувеличение, причина которого пояснена

на рис. 242. Как видно из рисунка, высоту волны часто измеряют между гребнем и продолжением линии палубы, а не воображаемым горизонтом, проходящим через подошву волны. Измеренная таким способом высота H_1 ошибочна, а правильная высота равна H . Следовательно, определять высоту волны надо находясь в долине между двумя волнами.

Скорость, длина и период волны тесно связаны друг с другом математической зависимостью. Установить зависимость между указанными характеристиками и высотой волны не удалось, и, по-видимому, ее не существует. Высота волны в основном зависит от глубины и размеров акватории. В открытых глубоких морях в волнообразовании участвуют не только поверхностные слои воды, но и расположенные более глубоко. Поэтому энергия волнообразования распределяется на сравнительно большую массу воды и не проявляется так резко в поверхностных слоях. Крутизну

волны можно определить и независимо от отношения $H : L$, по углу (рис. 243, 4), который на глубоких морях не превышает 20° . Возможные профили свежей, живой волны для глубоких морей показаны на рис. 243, 1, 2, 3.

Волна 1 с отношением $H : L = 1 : 10$ относится к начальному периоду образования волн, волна же 3 — к уже установившемуся волнению. Как видно, волна 3 не такая крутая, как волна 1. Длина волн 1, 2 и 3 на рисунке умышленно показана одинаковой, чтобы нагляднее была их крутизна. В действительности «старая» волна 3 длиннее волны 1.

А теперь посмотрим, как меняется профиль большой волны, когда она подходит к мели или к берегу. Энергия волнообразования, скопившаяся в нижних слоях воды, не может исчезнуть без следа. Эта энергия на мелком месте будет распределяться между меньшими массами воды. Энергия волн проявится в форме быстрого образования высоких водных валов с завертывающимися гребнями, с шумом набегающих на берег или мель. Это так называемые прибойные волны (рис. 243, 4 и 5).

Прибойные волны — третий вид волн (после мертвой зыби и обычного волнения), с которым приходится встречаться яхтсмену. По своему действию прибойная волна — самая опасная. По мере продвижения по району со все уменьшающейся глубиной волна делается выше, круче, и, наконец, вершина ее заламывается в виде гребня. Прибойная волна начинает образовываться примерно в том районе, где глубины равны высоте волны. На мелях и около берега прибой может образовывать водовороты большой разрушительной силы.

Известно, что Северное море из-за его небольших глубин считается особенно опасным в штормовую погоду, потому что заходящие из Атлантического океана крупные волны образуют крутые и опасные валы.

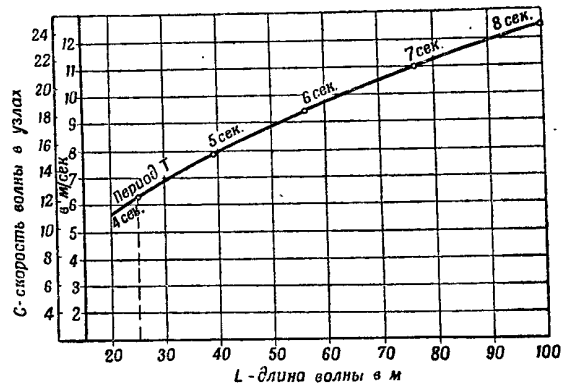


Рис. 241: Зависимость между длиной, скоростью и периодом волны



Рис. 242: Оценка высоты волны с палубы яхты

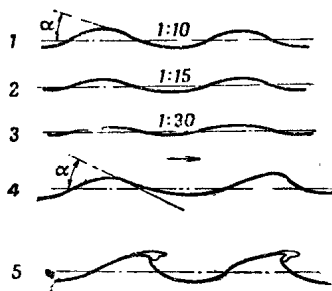


Рис. 243: Профили волн и прибойные волны

Обратимся еще к одному свойству волн, важному для парусников, — так называемому явлению рефракции волн. Каждый из нас наблюдал, что волны ударяют в берег всегда фронтально, так, что их гребни сближаются и оставляют на берегу параллельные следы. Интересно, что независимо от направления ветра (дует он поперек или вдоль берега) волны ведут себя одинаково (рис. 244). Такое изменение направления перемещения волн около берега напоминает отклонение (рефракцию) светового луча, проходящего через вещества с различной плотностью. Непосредственная причина рефракции луча света — разница в скорости прохождения через вещества с различной плотностью. Подобное явление происходит и с волной, скорость которой меняется в зависимости от глубины. Волна, достигающая береговой мели раньше (левая сторона рисунка), уменьшает свою скорость и отстает от волн, еще не подошедших к мелкому месту (правая сторона рисунка). Вследствие этого волны поворачивают в сторону берега, на глубоком месте нагоняют прибойную волну, образовавшуюся на мелком месте, и на берег выходят параллельными рядами. Рефракция волн может иметь некоторое значение в определении курса в гонках, особенно на сильном ветре и большой прибойной волне (см. рис. 244).

После огибания буя I можно идти на буй II , или курсом $I-A$, или курсом $I-B$. Безусловно, выгоднее будет курс $I-A$, поскольку, уходя от берега, мы встретим более спокойную, пологую и длинную волну. Добавочное волновое сопротивление корпуса будет меньше и резко упадет, когда, повернув в точке A , яхта пойдет курсом, параллельным волне.

Если же выбран курс $I-B$, яхте придется плыть в районе возникновения относительно сильной и крутой прибойной волны, в связи с чем гидродинамические сопротивления корпуса будут больше, чем в первом случае. Легко убедиться, что курс $I-B-II$ в отличие от курса $I-A-II$ проходит невыгодно, постоянно против короткой волны. Кроме того, плывя близко к берегу, яхта встречает противоток воды, обычно возникающий при рефракции волн. Этот противоток отводит излишки воды в направлении района с более низким ее уровнем. Такое противотечение сильнее всего проявляется около берега.

5.2.3 Плавание на волнении

Проблема плавания на волнении приобретает особое значение для швертботов, имеющих малую инерцию и легко сбиваемых волной. Поэтому основное внимание мы уделим вопросам управления на волне яхтами малого водоизмещения. Очевидно, что сделанные нами выводы в большей или меньшей мере будут применимы и к яхтам более тяжелым и к килевым.

С точки зрения особенностей плавания на волнении и управления яхтой, следует рассмотреть технику плавания против волн и вместе с волнами. Насколько в первом случае приходится считаться с сопротивлением волны, настолько во втором прежде всего надо учитывать возможность выгодного использования явлений, сопутствующих волнообразованию для увеличения скорости хода яхты.

5.2.4 Плавание против волн

Во время плавания на спокойной воде яхта преодолевает гидродинамические сопротивления, связанные с движением погруженной части корпуса. Суммарное гидродинамическое сопротивление при движении

стр. 354

по спокойной воде в условиях установившегося ветра остается постоянным. Поэтому движение яхты можно принять за равномерное. Совершенно иначе яхта будет идти против волн. Вследствие периодического изменения величины гидродинамических сопротивлений движение ее будет то ускоряться, то замедляться. В практике чаще всего наблюдается, что яхта идет против волн во время лавировки. Только в частных случаях, например плывя вдоль берега, параллельно фронту волн, можно в то же время держать курс бейдевинд. Наибольшие сопротивления яхта испытывает периодически, плывя круто к ветру против волн, и в этом случае скорость ее заметно снижается. Существует три причины, вызывающие периодический рост гидродинамических сопротивлений, а следовательно, и торможение хода.

1. Осадка яхты, идущей через волну, постоянно меняется. На рис. 245 показана неравномерная осадка корпуса, всходящего на волну. Нос заглублен выше ватерлинии KLW (погруженная часть корпуса заштрихована). В результате возрастают затраты энергии на раздвигание больших масс воды и уменьшается количество полезной энергии,двигающей яхту вперед. Затраты энергии будут еще больше, если яхта раскачивается в продольном направлении, иначе говоря, бьется о волну. Рассмотрим причины этих явлений.

стр. 355

При ударе о вершину волны корпус яхты частично подбрасывается вверх и частично, по инерции, углубляется в воду несколько выше ватерлинии KLW . В связи с этим увеличивается лобовое сопротивление, так как увеличилось поперечное сечение погруженной части корпуса. Это периодически повторяющееся добавочное погружение корпуса зависит от величины запасного водоизмещения надводных частей корпуса яхты и от ее массы. Поскольку запасное водоизмещение носа меньше, чем кормы, он будет погружаться в волну больше, чем корма. Корму можно рассматривать как опирающуюся в точке O , а нос — периодически раскачивающимся. Чем ближе к носу находится центр тяжести яхты и сидит команда, тем глубже погружение носа. Как видно из рисунка, в этом случае плечо момента $G \cdot l_a$ увеличивается относительно плеча l_b (когда команда находится ближе к корме). Величину вышеупомянутого момента можно толковать как меру инерции носовой части корпуса, противодействующей выталкиванию его волной.

Небольшие яхты с малым запасным водоизмещением носовой части и передним размещением команды часто заливаются волной (часть воды может попасть в кокпит). Пересадкой команды на корму можно уменьшить заливание яхты волной, но тогда увеличится выталкивание носа из воды, и яхта будет больше биться о волну.

Килевые яхты, имеющие узкий длинный корпус с большими свесами, например шхерные крейсера, не поднимаются на волне, а перерезают ее своим острым носом. Такие яхты постоянно заливаются волной, и уже при небольшой волне команда промокает.

2. Рассмотрим следующую причину, вызывающую периодический рост сопротивления движению яхты, идущей против волн. Когда яхта взбирается на волну, то движется как бы по наклонной плоскости, преодолевая дополнительное сопро-

тивление R_s . Пользуясь рис. 245, можно сказать, что дополнительное сопротивление R_s зависит от крутизны волны α и веса яхты G_m :

$$R_s = f(G_m \cdot \sin \alpha).$$

Этот род сопротивления имеет особенно большое значение для легких швертботов, плывущих против короткой волны. Килевые яхты с узким длинным корпусом, прорезая короткие волны, плывут почти горизонтально, и этот род сопротивления для них почти не имеет значения (рис. 245, а). При плавании на длинных, быстро перемещающихся волнах с малым отношением $H : L$, рассмотренное выше дополнительное сопротивление R_s не играет большой роли.

3. Существующее в верхнем слое поверхностное течение служит третьей причиной, которая ограничивает безотносительную скорость яхты, идущей против волнения. Под безотносительной будем понимать скорость яхты, измеренную по отношению к неподвижному пункту, например относительно дна водоема, берега и т. д. Относительная скорость яхты, т. е. ее скорость по отношению к перемещающимся в данный момент частицам воды, будет при этом неизменной. График на рис. 246 показывает зависимость максимальной скорости поверхностного течения на волне от ее высоты H и периода T .

При высоте волны 2 м скорость поверхностного течения составляет 0,8—2,1 м/сек, в зависимости от скорости перемещения самой волны, обозначенной на графике периодом T . Сравнивая рис. 246 и 241, можем убедиться, что на волне высотой 2 м с периодом 4 сек. (что соответствует длине волны $L = 25$ м) скорость поверхностного течения будет около 1,5 м/сек, т. е. около 3 узлов. Во время лавировки периодически появляющееся поверхностное течение, действуя одновременно с прочими тормозящими факторами, может быть причиной значительной потери безотносительной, т. е. действительной, скорости яхты. Снижение же скорости хода немедленно отразится на скорости и направлении вымпельного ветра, имеющего решающее влияние на аэродинамический коэффициент полезного действия паруса.

На основании второго закона Ньютона можно определить инерцию яхты, идущей против волн, с помощью понятия «количество движения».

Количество движения равно:

$$m \cdot v = \frac{G}{g} \cdot v,$$

где: m — масса яхты,

v — скорость яхты у подошвы волны,

G — вес яхты, кг,

g — земное ускорение.

Движению яхты противодействуют периодические приращения гидродинамического сопротивления ΔR , действующие в интервале времени t , когда яхта проходит вершину очередной волны. Произведение ΔR на t даст величину встречного импульса, уменьшающего количество движения яхты. Применяя уже известные нам уравнения (импульс силы численно равен изменению количества движения), можно определить, что количество движения яхты, проходящей вершину волны, уменьшается на величину встречного импульса силы:

$$\frac{G}{g} \cdot (v - v_1) = \frac{G}{g} \cdot \Delta v = \Delta R \cdot t,$$

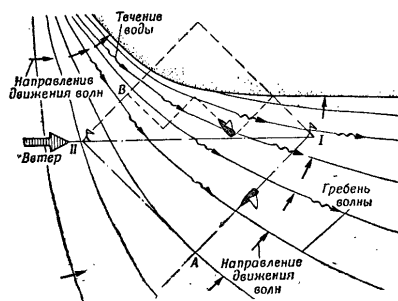


Рис. 244: Рефракция волн около берега

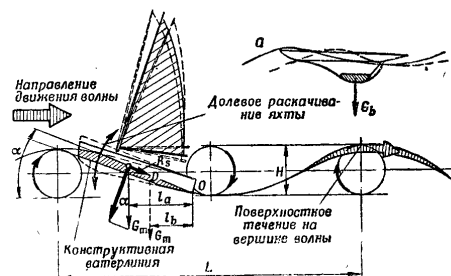


Рис. 245: Неравномерная осадка корпуса яхты, всходящего на волну

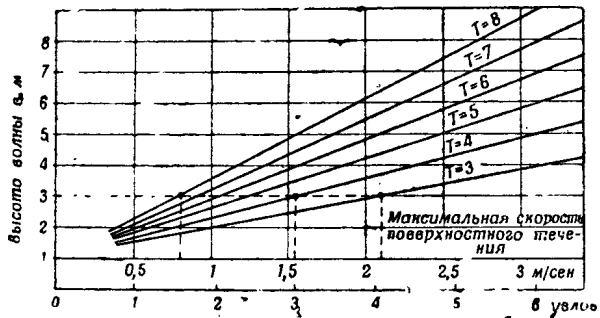


Рис. 246: Зависимость максимальной скорости поверхностного течения на волне от ее высоты H и периода T

где: v — скорость яхты у подошвы волны,

v_1 — скорость яхты, прошедшей вершину волны,

$\Delta v = (v - v_1)$ — уменьшение скорости яхты, прошедшей вершину волны,

ΔR — прирост сил гидродинамического сопротивления,

t — интервал времени, когда действует прирост ΔR .

Эта зависимость позволяет сделать ряд практических выводов. Если противодействующий импульс при проходе яхты через гребень волны станет численно рав-

ным количеству движения ($\Delta v = v$), яхта потеряет ход. Тяжелая яхта, обладающая большой инерцией, не так легко будет терять ход, как легкая. Это явствует из понятия количества движения, в формулу которого входит масса яхты. Кроме того, чем больше скорость яхты, тем лучше она противостоит тормозящему действию сопротивления при проходе гребня волны.

Собственный вес команды имеет большое значение на швертботах при плавании в условиях сильной волны. Здесь тяжелая команда всегда имеет преимущество перед легкой. Дело не только в том, что тяжелая команда сильнее откренивает собственным весом, но и в том, что увеличивается масса яхты $\left(\frac{G}{g}\right)$.

Это превосходство тем сильнее, чем больше собственный вес команды относительно веса самой яхты. Влияние веса команды можно наглядно наблюдать на гонках швертботов, когда с увеличением силы ветра и волн вперед выходят яхты с более тяжелыми командами.

Плавая на значительном волнении, надо держать курс несколько полнее курса, который был бы на спокойной воде, чтобы скорость яхты была относительно больше (рис. 247, I), т. е. увеличить силу тяги P_c . Если держать прежний курс и не увалиться, когда разыгралась волна, то скорость сильно снизится и яхта будет бессильно биться о волны.

Тормозящие сопротивления, испытываемые яхтой при прохождении вершины волн, и связанное с этим изменение направления и скорости вымпельного ветра требуют специфической техники управления яхтой. Сравнивая приведенные на рис. 247, II направление и скорость вымпельного ветра при разных положениях яхты на волне, можно убедиться, что на вершине волн вымпельный ветер будет полнее и слабее, а в долине, наоборот, — сильнее и острее.

Очевидно, для сохранения правильного и наивыгоднейшего угла установки паруса придется ритмично изменять курс яхты: приводиться в момент входа на вершину волн и уваливаться после ее прохода. Фактически рулевой правит в этих случаях так, что яхта должна бы идти зигзагами по курсу, отклоняющемуся от надлежащего курса. В самом же деле существующие на волне поверхностные течения «выпрямляют» путь яхты, и он почти не отличается от прямого пути на надлежащем курсе. Наблюдая, как хорошие рулевые ведут яхту против волны, можно не без удивления заметить, что, несмотря на постоянную работу рулем, казалось бы ненужную и бесполезную, яхта сохраняет почти прямой курс. Это происходит потому, что опытный рулевой, чувствуя поведение яхты и обстановку, работой руля компенсирует влияние невидимых поверхностных течений.

В управлении яхтой, идущей против ветра на сильной волне, надо различать управление в гонках, когда, несмотря ни на что, добиваются наивысшей скорости, и управление, когда основное внимание обращается на «сухость» яхты (стремление

избежать заливания волной). Вообще говоря, это две совершенно разные задачи, несмотря на то, что во многих случаях их нельзя разделить, так как и в гонках всегда наилучшим будет «сухое» плавание. Разницу между техникой управления при «сухом» плавании и плавании с наибольшей скоростью один известный английский гонщик выразил следующим афоризмом: «быстрое и одновременно «сухое» плавание против волн так же невозможно, как невозможно изготовить яичницу, не разбив яиц».

Несомненно, в гонках все подчиняется интересам скорости. Но воды на палубу попадет тем больше, чем с большей скоростью нос яхты встречает набегающую вершину волны, и тем больше воды, в конце концов, попадет внутрь яхты. Если яхта, идя определенным курсом, начинает набирать столько воды, что ее приходится постоянно вычерпывать, надо считать, что этот курс себя не оправдывает. Вместо полезной работы на палубе один член команды должен сидеть в кокпите и все время вычерпывать воду. Очевидно, в таких условиях рулевой не может вести яхту наиболее выгодным курсом. Следовательно, приходится заботиться о «сухом» плавании, хотя оно не всегда самое быстрое, особенно в длительных гонках. Практически самое «сухое» плавание будет тогда, когда нос яхты встретит вершину волны с наименьшей скоростью.

стр. 360

На рис. 248 показаны два способа «сухого» плавания против волны. В случае *I* яхту ведут с максимальной скоростью, но при подходе к гребню волны приводятся так, чтобы стать почти перпендикулярно гребню. Конечно, скорость яхты при этом снижается, но воды на палубу попадает очень мало. Пройдя гребень волны, рулевой снова должен увалиться на оптимальный курс.

В случае *II* поступают наоборот: подходя к вершине волны, не приводятся, а уваливаются, ставя корпус яхты параллельно волне. Волна сразу поднимает его, и, как только гребень окажется под яхтой, рулевой приводится на оптимальный курс. При очень резком уваливании носа перед самой волной трудно избежать всплесков воды на палубу, но если этот маневр хорошо отработан, можно почти избежать попадания воды на палубу. Описанный прием «сухого» плавания особенно пригоден для яхт с малым запасным водоизмещением носовой части корпуса.

И тот и другой способы «сухого» плавания очевидно ограничивают возможности достижения наивысшей скорости. Поэтому их, безусловно, следует использовать в предстартовое время, когда скорость не нужна, а получить внутрь яхты водяной балласт крайне вредно.

стр. 361

Вычерпывание или откачивание воды во время гонки — занятие трудное, хлопотливое, оно, как уже говорилось, отвлекает одного из членов команды от непосредственной гоночной работы. В некоторых случаях применяют автоматически действующие устройства, которые основаны на отсосе воды из корпуса, возникающем у выводного отверстия вследствие движения яхты. Чтобы такое устройство работало регулярно, необходимо соблюсти некоторые условия, что не всегда удается в плавании. Поэтому яхтсмены часто бывают недовольны им. Кроме того, отсосы могут работать только при больших скоростях и должны выключаться на острых курсах.

Отвод из кокпита воды оригинально решен на швертботе «Хорнет». Герметический кокпит имеет такую форму, что при определенном угле крена вода сама выливается через специальные отверстия в палубе. Значительно уменьшено попадание воды на палубу и внутрь на яхте «5—0—5» благодаря специально отогнутым

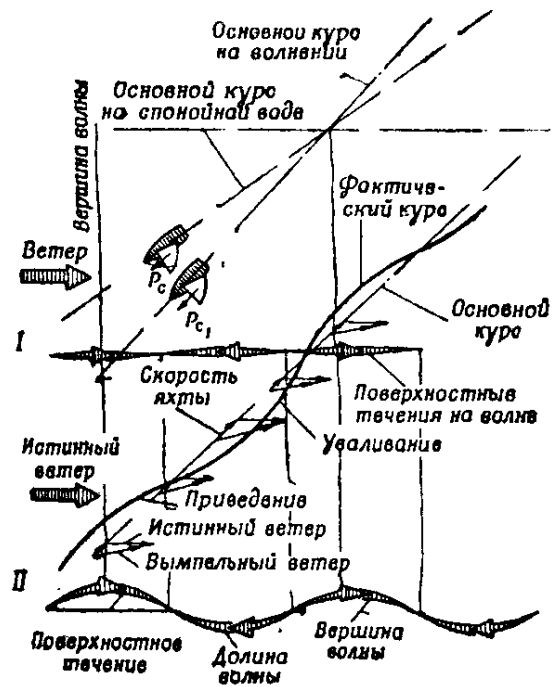


Рис. 248

Рис. 247: Влияние волн на скорость и курс яхты

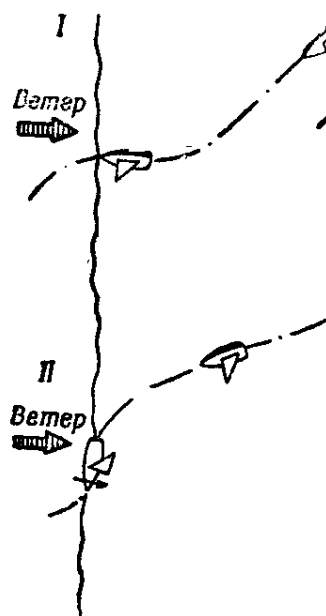


Рис. 248: Два способа «сухого» плавания против волны

наружу бортам в носовой части корпуса.

5.2.5 Плавание вместе с волнами

Когда яхта идет полным курсом, совпадающим с направлением движения волн, то, несмотря на ровный ветер, ее скорость вдруг неожиданно увеличивается и вновь падает, так что яхта идет как бы скачками. Если вместе плывет группа швертботов, то периодический прирост скорости может постоянно менять расстояние между ними даже в пределах нескольких длин корпуса, попеременно помогая то одной, то другой яхте. Но при этом ни одна из них не может получить такое преимущество, чтобы оторваться и уйти от соперников. Все яхты в подобной группе, несмотря на кажущиеся внезапными броски, не могут выйти из повиновения волн и преодолеть существующие сопротивления.

Такая картина нередко наблюдается в гонках и часто бывает причиной протестов, особенно при подходе к поворотным буям и огибании их. Случается, что идущая чисто позади яхта совершенно неожиданно и против воли рулевого вдруг нагонит переднюю яхту и вклинится между ней и буем.

стр. 362

Посмотрим, чем вызывается периодический прирост скорости яхты, идущей в направлении волн, и имеется ли возможность продлить время хода яхты с увеличенной скоростью. Рассматривая рис. 249, можно заметить, что на яхту, которая находится в положении 1, кроме аэродинамической силы P , действуют другие факторы, увеличивающие скорость ее хода. Яхта, скользящая с крутой волны, независимо ни от чего получает добавочное ускорение и, кроме того, находится в районе действия попутного поверхностного течения, имеющего собственную скорость w . Следовательно, в положении 1 движение яхты будет ускорено силой P_d , величину которой в первом приближении можно определить по формуле:

$$P_d = G \cdot \sin \alpha,$$

где: α — крутизна волны в градусах.

Несколько упрощая задачу, можно принять, что результирующая скорость v_w яхты, скользящей с вершины волн, будет складываться из скорости водоизмещения яхты v_j , свойственной данному определенному курсу и ветру, плюс максимальная скорость поверхностного течения w .

Допустим теперь, что при определенных ветровых условиях и на спокойной воде швертбот, идущий со скоростью 9 узлов, входит на волну длиной $L = 25$ м. По рис. 241 определим, что волна такой длины имеет период $T = 4$ сек. и скорость перемещения $c =$ около 12 узлов. Чтобы швертбот мог остаться на вершине волны, он должен передвигаться с одинаковой с ней скоростью — 12 узлов. Но скорость швертбота только 9 узлов, и добавочные 3 узла он может получить лишь за счет скорости поверхностного течения. На рис. 246 можно найти, что поверхностное течение со скоростью 3 узла образуется при высоте волн H , равной 2 м. Если высота волны больше, скорость поверхностного течения больше 3 узлов, если высота меньше — то и скорость меньше.

стр. 363

В первом случае, сойдя со склона волны в долину со скоростью большей, чем скорость перемещения самой волны, яхта встретит поверхностное течение, направленное обратно, и уменьшит свою скорость. Однако скорость яхты будет выше, чем

была бы в подобных условиях ветра, но без волны. Используя периодические порывы ветра и меняющуюся волновую обстановку для увеличения скорости, рулевой при внимательном управлении может вывести яхту, так сказать выскочить, на гребень следующей волны. Благодаря этому он может выиграть расстояние, равное полной длине волны у того рулевого, которому не удалось таким же маневром провести свою яхту на следующую волну.

Следует подчеркнуть, что возможность перехода долины, а затем крутого склона следующей волны увеличивается, когда абсолютная скорость яхты в положении 1 приближается к скорости глиссирования. Входя с большой скоростью в долину волн, где действует встречное поверхностное течение, яхта будет испытывать сильный гидродинамический подпор, что уменьшит ее осадку и, следовательно, сопротивление корпуса. Это значит, что яхта может получить сравнительно большое приращение скорости не только на вершине волны, но и в ее долине. При большой величине количества движения $\frac{G}{g} \cdot v_w$ яхта может достичь вершины следующей волны.

Теперь рассмотрим второй случай, когда высота волны меньше, скорость поверхностного течения меньше 3 узлов и, следовательно, волны будут обгонять яхту. Скорость ее будет периодически меняться: сперва быстро и заметно расти, а затем так же снижаться. Об этом явлении уже упоминалось в начале главы. Допустим, что скорость поверхностного течения $w = 2,5$ узла, что соответствует высоте волны 1,2 м (длина волны, как и прежде, $L = 25$ м); можем заметить, что в положении 1 (см. рис. 249) яхта получит скорость: 9 узлов + 2,5 узла = 11,5 узла.

Через некоторое время вершина волны опередит яхту, и она окажется в положении 3. Интенсивность поверхностного течения здесь слабее, и, кроме того, яхта преодолевает дополнительное сопротивление R_g .

Скорость яхты упадет и станет меньше $v_j = 9$ узлов; в долине волны 2 она будет приблизительно равна $v_j - w$, или около 6,5 узла. Итак, скорость яхты в долине волны уменьшилась почти вдвое по сравнению со скоростью, которая была на вершине волны.

Неумелыми действиями рулевой может упустить благоприятные условия, создающиеся при нахождении яхты на вершине волны в положении 1, даже тогда, когда поверхностное течение достаточно сильно для поддержания скорости яхты, равной скорости волны. Такими неумелыми действиями могут быть неправильное управление парусами, чрезмерное заглубление передней части корпуса и т. д. Допустим, что в результате неумелых действий скорость яхты понизилась хотя бы на 0,5 узла. Тогда яхта из положения 1 перейдет сначала в положение 3, а потом в положение 2. Это значит, что яхта проиграла другим, хорошо управляемым, яхтам расстояние, равное длине волны, или 25 м. Если рулевой повторит свои ошибки, проигрыш будет расти скачками.

Из всего сказанного можно сделать следующий вывод: возможность использования энергии волны для увеличения скорости яхты тесно связана с длиной и высотой волны и с собственной скоростью водоизмещения яхты, зависящей от ее курса. Чем длиннее волна, тем больше ее скорость и тем, следовательно, труднее удерживать яхту на вершине волны (см. рис. 241). Яхты с малым собственным весом, легко управляемые и скользящие, более способны использовать энергию

волны, но тем не менее существует некоторая определенная граница длины волн, в которой такое использование еще возможно.

Возьмем, например, яхту класса «Летучий голландец». При ветре около 10 м/сек она начинает глиссировать со скоростью около 15 узлов. Очевидно, она легко может находиться в выгодном положении 1 на вершине волны длиной 40 м и перемещающейся со скоростью 15 узлов. Однако на волне длиной 50 м и скоростью около 17 узлов уже держаться будет трудно. Трудность возрастает с ростом длины волны, потому что от этого увеличивается ее скорость. Наибольшие шансы удержаться на волне будут тогда, когда яхта стоит перпендикулярно гребню волны, но при этом яхта станет на курс фордевинд, на котором скорость ее (скорость водоизмещения) уменьшается, так как только на курсе бакштаг скорость достигает наибольшего значения.

Проходя волну наискось курсом бакштаг (рис. 250), следует уяснить себе, что результирующая скорость яхты v_w должна быть соответственно больше скорости волны c , так чтобы проекция скорости v_w на направление движения волны была равна скорости волны c . Это условие можно выразить уравнением:

$$v_w = \frac{c}{\cos K},$$

где: K — угол между направлением движения волны и курсом яхты.

Так, если бы яхта проходила волну под углом 45° , то, желая удержаться в выгодном положении 1 (на вершине волны), надо было бы иметь скорость:

$$v_w = \frac{c}{0,707} = 1,4 c.$$

Плывя курсом бакштаг под углом 45° к направлению перемещения волн, можно убедиться, что в случае отставания или, наоборот, опережения волны результирующая скорость яхты будет изменяться. Вместе с тем изменятся скорость и направление вымпельного ветра. Следовательно, для хорошего управления необходимо постоянно учитывать эти изменения.

Допустим, что в положении, приведенном на рис. 250, яхта плывет со скоростью $v_w > 1,4 c$, т. е. обгоняет волну. Сравнивая соответственно направления вымпельного ветра, увидим, что если держать парус под оптимальным углом, не работая шкотами, то придется постоянно менять курс, уваливаясь в положение 1 и приводиться, приближаясь к положению 3.

Если ветер настолько сильный, что в положении 1 яхта начала глиссировать, может оказаться целесообразным вместо уваливания начать энергично, но плавно выбирать шкоты. Следует обратить внимание на откренивание во время перехода через гребень волны. Этот случай показан на рис. 251. Одновременно с подтягиванием румпеля на наветренный борт рулевой при проходе яхты через вершину волны быстро перемещается к корме. Яхта получает добавочный импульс, облегчающий достижение скорости глиссирования (рис. 252).

Если рулевой неумелым «балластованием» слишком перегрузит нос яхты, она может зарыться в следующую волну и набрать слишком много воды.

Наибольшие возможности использования энергии волн для увеличения скорости хода (достижения скорости большей, чем максимальная скорость, соответствующая водоизмещению яхты) возникают в первом периоде образования волн, когда они сравнительно короткие и крутые. Вернемся несколько назад и припом-

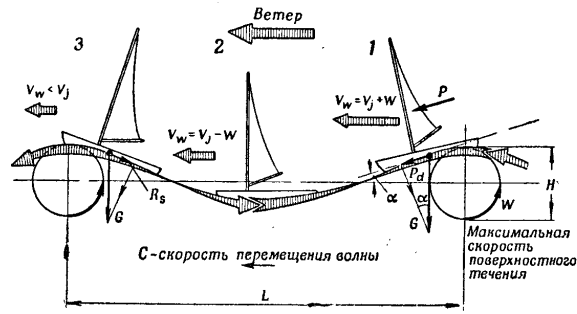


Рис. 249: Силы, действующие на яхту при плавании вместе с волнами

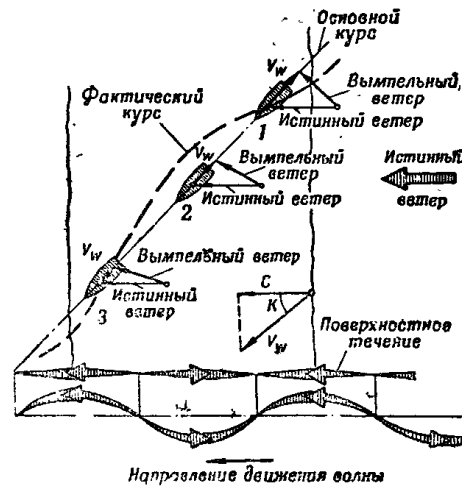


Рис. 250: Скорость яхты на волне при различных курсах

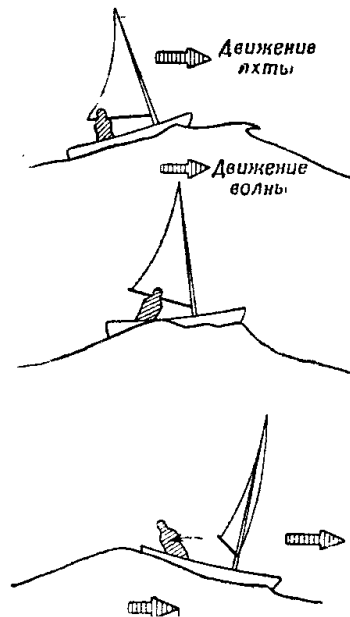


Рис. 251: Использование энергии волны при плавании курсом бакштаг

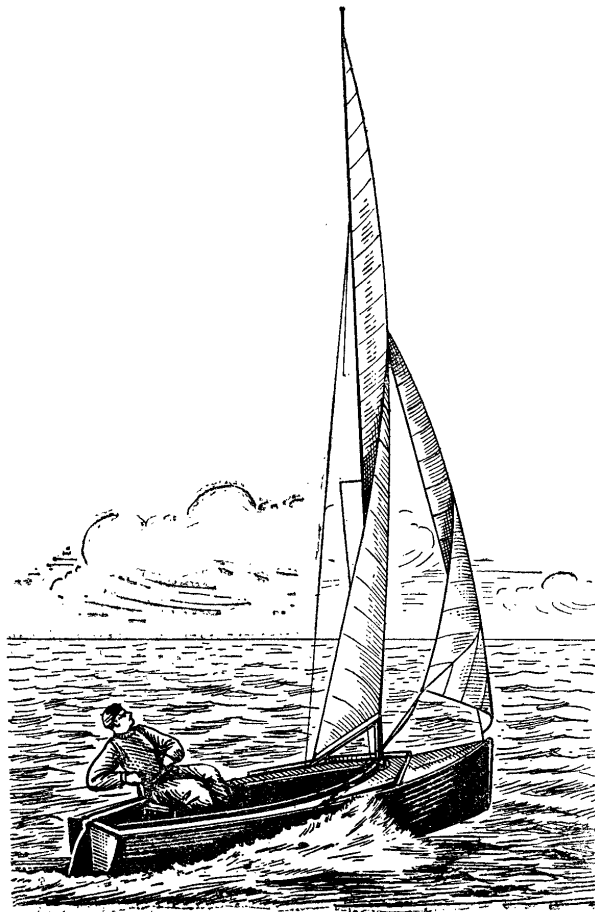


Рис. 253. Яхта входит в глиссирование (обратите внимание на положение рулевого, старающегося ускорить начало глиссирования)

Рис. 252: Яхта входит в глиссирование (обратите внимание на положение рулевого, старающегося ускорить начало глиссирования)

ним, что в начальном периоде образования волн отношение $H : L$ бывает около $1 : 8$. Это значит, что отношение скоростей поверхностных течений w к скорости перемещения волн c относительно высокое. Очевидно, эти условия облегчают достижение яхтой высоких скоростей. С увеличением длины волны возможность использования ее энергии уменьшается и, наконец, сходит на нет. Скорость перемещения волны c увеличивается тогда относительно быстро, а уменьшающееся отношение $H : L$ показывает, что интенсивность поверхностных течений не растет в такой же пропорции. Оптимальная длина волн, при которой можно использовать их энергию, плаывая на современных швертботах, составляет 20—40 м, что соответствует скорости перемещения волн около 11—15 узлов. Именно в этих границах скоростей волн находятся максимальные скорости водоизмещения современных швертботов.

Волны длиной 20—40 м часто встречаются на прибрежных европейских водах. Из всего сказанного следует, что нужно выработать специальную технику плавания на волне. Такая техника позволит использовать для движения яхты не только ветер, как то разрешено п. 25 правил ИЯРУ, но и другие, не предусмотренные правилами источники энергии¹⁰.

Рассматривая данные табл. 15, не трудно убедиться, что сравнительно длинные океанские волны невозможно было бы использовать, плаывая на однокорпусных швертботах. Однако эти же волны превосходно могут быть использованы катамаранами, имеющими высокую скорость водоизмещения. Вспомним, что катамаран «Ярро» достигал скорости 25 узлов, при которой можно использовать волну длиной 100 м. Для таких катамаранов или им подобных яхт сравнительно короткие волны европейских прибрежных вод становятся скорее тормозом, так как затрудняют использование органических возможностей, заложенных в самой конструкции подобных яхт. Эта конструкция была выработана туземными моряками Тихоокеанского бассейна для определенных местных условий. Многие энтузиасты катамаранов делали и будут делать много попыток получить на своем катамаране головокружительные скорости. Такие попытки сопровождаются неудачами, причиной которых, между прочим, является незнание законов водной стихии, так как большинство опытов проводится на акваториях с неподходящей короткой волной.

стр. 369

5.3 Плавание на течениях и фарватере

Результаты гонок определяются косвенно на основании времени прохождения дистанции каждой отдельной яхтой.

Из физики известно, что время прохождения пути t определяется формулой:

$$t = \frac{S}{v},$$

где: S — пройденный путь,
 v — скорость движения.

¹⁰Правилами соревнований 1961 г. использование энергии волн уже предусмотрено (*Прим. перев.*).

Желая сократить время t , надо плыть или по наикратчайшему расстоянию, или с максимальной возможной скоростью. Чаще всего парусники твердо придерживаются первого положения, т. е. предпочитают кратчайший путь. А ведь скорость — такой же важный фактор в правильном выборе пути, и ее роль ярко проявляется при плавании на течении в море или по фарватеру на реке.

5.3.1 Морские течения

На поверхности морей происходит непрерывная циркуляция водных масс, проявляющаяся в виде слабых и сильных течений. Наиболее частой причиной их возникновения являются или постоянные, длительное время дующие ветры, или приливы и отливы, вызываемые взаимодействием с нашей планетой Солнца и Луны.

Течения, вызываемые ветрами, складываются в определенную систему, охватывающую почти все моря и океаны Земли. Некоторые морские течения имеют значительную скорость, например: скорость Флоридского течения равна 2,6 м/сек, или около 5 миль в час, а Мозамбикского течения, проходящего вдоль восточного берега Африки, — до 1,9 м/сек, или 3,7 мили в час.

стр. 370

Морские течения имеют большое значение для парусного плавания в открытых морях и между континентами. Учитывая, например, Флоридское течение, можно пройти за сутки до 120 миль, даже во время полного безветрия. обстоятельные сведения о морских течениях помещаются в лоциях каждого моря или океана.

Другой род морских течений проявляется наиболее сильно в прибрежных районах, в узкостях, каналах, заливах, связанных с открытым морем, — это приливно-отливные течения. Периодичность их тесно связана с положением Земли относительно Солнца и Луны.

Для навигационных целей подробные сведения по приливам, отливам и вызываемым ими течениям даются в лоциях данного района и специальных таблицах. В последних указывается время наибольшего прилива — «высокая вода» — и наибольшего отлива — «низкая вода».

На островах, расположенных в открытом море, разница между уровнем воды во время прилива и отлива невелика, но в проливах и каналах она может быть значительной: например, в проливе Ла-Манш — больше 10 м, а в Бристольском — около 12 м.

Вблизи сильно изрезанных берегов под действием приливов и отливов образуются часто сложные системы течений большой интенсивности. Скорость здесь может достигать до 10 узлов. Эти течения дважды в сутки радикально меняются, и, следовательно, их направление может сильно измениться за очень короткий промежуток времени. На рис. 253 приведены карты, изображающие систему приливно-отливных течений в районе порта Портленд на южном берегу Англии. Они показывают, как в течение часа картина прибрежных течений изменяется до неузнаваемости. Нетрудно себе представить, что случится, если во время гонок произойдет такая перемена течений, причем часть рулевых, знающих местные условия, учтут это, тогда как остальные пойдут без учета течений.

стр. 371

В международных встречах, когда дистанция расположена в районе действия приливно-отливных течений, своевременное их изучение может иметь решающее значение для приезжих участников. Рассмотрим этот случай на примере. Допустим, что перед стартом гонки создаются следующие условия: ветер норд-норд-

вест со скоростью 11 узлов, на яхты действует приливное течение со скоростью 3 узла в направлении на вест (рис. 254).

На спокойной, без течения, воде на яхты действовал бы тот же ветер норд-норд-вест, что дует и на берегу. Но, учитывая движение яхт по течению на вест со скоростью 3 узла, действительным ветром для стартующих яхт будет нордовый. Теперь допустим, что через час после старта начинается отлив и течение изменяется с западного на восточное. Очевидно, это необходимо учитывать при выборе галса после прохода стартовой линии. На рис. 254 ясно видно, что совсем не безразлично, каким галсом яхта пойдет после старта. Допуская, что яхты могут одинаково круто идти к ветру, а именно: под углом 40° по отношению к направлению истинного ветра, легко увидеть, что правый галс выгоднее. После перемены течения с западного на восточное через час после старта первая яхта будет находиться в положении U и может легко выйти на буй A одним галсом и даже с запасом. Вторая яхта, которая через час после старта будет в положении X , должна выбирать, как идти дальше — или курсом XS или XU . Оба они очень невыгодны по сравнению с курсом UA первой яхты. Ясно, что рулевой первой яхты, предвидевший влияние приливо-отливных течений, получит большое преимущество перед рулевым второй яхты.

стр. 372

5.3.2 Речной фарватер

Течение на реке не бывает постоянным: оно изменяется в зависимости от глубины русла. Тормозящее действие дна реки (в результате трения) сильнее проявляется на мелких местах, а на значительных глубинах ослабевает. На рис. 255 показан примерный график распределения скоростей v_r в поверхностных слоях реки в поперечном сечении. Подобная картина наблюдается и в других поперечных сечениях русла реки. Обозначив буквой v_n наивысшую скорость течения, можно выделить на поверхности реки определенную струю, имеющую эту скорость. Эта струя называется фарватером реки.

Очертания береговой линии и изменения глубины русла меняют направление фарватера, и даже на прямых участках реки он иногда переходит от одного берега к другому, как будто в большой, широкой реке течет быстрый капризный поток (рис. 256).

Сложность речных условий гонок заключается в необходимости учитывать несколько одновременно действующих факторов: скорость течения на фарватере, ветер, собственную скорость яхты и характер дистанции. Чем быстрее течение реки, особенно на фарватере, чем выше отношение скорости течения v_r к скорости яхты на спокойной воде v_j , тем сильнее его влияние на результирующую скорость яхты, независимо от того, вверх или вниз по реке она движется. В этом легко убедиться, принимая, что результирующая скорость яхты v_w , плывущей по течению, увеличивается:

$$v_w = v_j + v_r.$$

В лучшем случае (при плавании по фарватеру) она будет:

$$v_w = v_j + v_n.$$

стр. 373

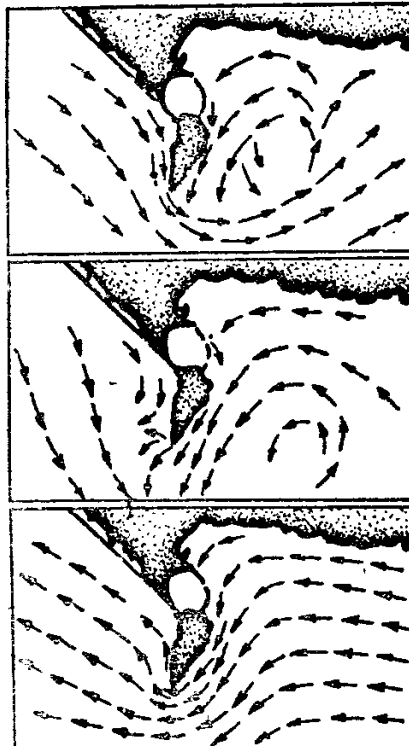


Рис. 253: Карты приливно-отливных течений

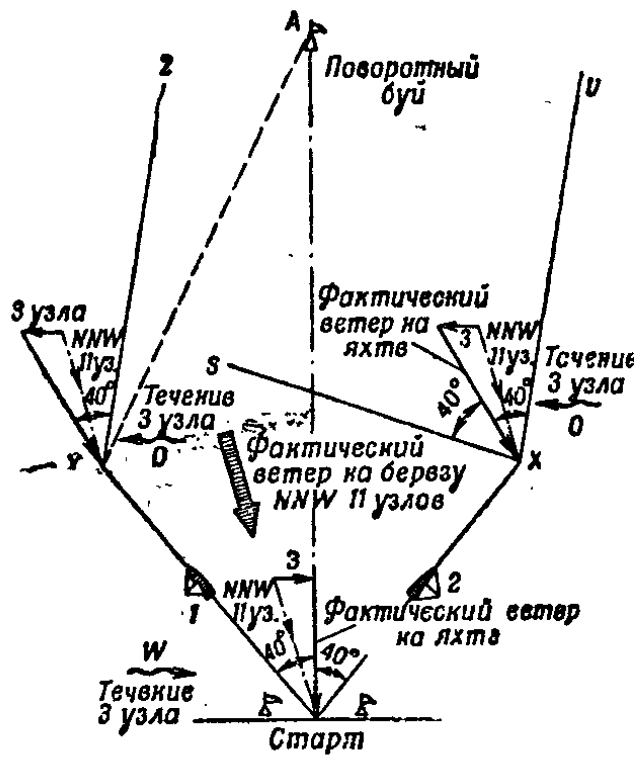


Рис. 255

Рис. 254: Влияние приливно-отливных течений на выбор галса

Результирующая скорость яхты, плывущей против течения, будет соответственно:

$$v_w = v_j - v_r,$$

а в наиболее невыгодном случае:

$$v_w = v_j - v_n.$$

Как много можно выиграть при умелом использовании фарватера? В табл. 16 указаны скорости течения в верхних слоях реки в зависимости от глубины русла и среднего гидравлического перепада, выраженного в промилле (например, средний гидравлический перепад на Висле около 0,20‰).

Зададимся теперь следующими условиями: две яхты 1 и 2 лавируют, причем один из рулевых разбирается в течении и старается идти по фарватеру, а другой не обращает на это внимания и делает повороты, где придется. Скорость у обеих яхт на спокойной воде одинаковая — 1,5 м/сек. Соответствующие курсы обеих яхт показаны на рис. 256. Допустим, что рулевой яхты 1 держится в фарватере, где скорость течения около 1 м/сек, что соответствует глубине русла около 3 м, тогда как рулевой яхты 2 держится на мелкой воде с глубинами 0,5—1 м и течением со скоростью около

стр. 374

0,4 м/сек. Нетрудно высчитать, что результирующая скорость яхты 1 будет:

$$v_{w1} = v_j + v_n = 1,5 + 1,0 = 2,5 \text{ м/сек.}$$

а результирующая скорость яхты 2 будет:

$$v_{w2} = v_j + v_r = 1,5 + 0,4 = 1,9 \text{ м/сек.}$$

Следовательно, скорость яхты 1 на 31% больше, чем яхты 2.

Если собственная скорость яхт вследствие слабого ветра была только 1 м/сек, то превосходство яхты 1 над яхтой 2 увеличилось бы до 43%, а при собственной скорости яхт $v_j = 0,5$ м/сек до 67%. Приведенные примеры ясно показывают, что уход с фарватера с целью сокращения пути тем рискованнее, чем слабее ветер. Для точности надо добавить, что яхта, плывущая по фарватеру с большей скоростью, чем плывущая по более мелким местам, будет идти менее круто к ветру. Отсюда можно было бы сделать вывод, что яхта, идущая не по фарватеру, по-видимому, может кое-что выиграть за счет более острого курса. Так бы, несомненно, и было, если бы при плавании на мелкой воде не возникали дополнительные сопротивления движению яхты.

Плывя вверх против течения, надо стараться уйти с фарватера и держаться таких участков русла, где скорость течения наименьшая. Курсы выгоднее прокладывать ближе к берегам, где не проходит фарватер (курс 3 на рис. 256), или вдоль отмелей (курс 4), где в связи с внезапным расширением русла скорость течения сильно падает.

стр. 375

Воспользоваться с выгодой отмелью можно только во время нормального уровня воды. При высокой воде фарватер захватывает иногда всю ширину реки, а скорость течения увеличивается почти на 100%. В таких условиях плавание против течения становится очень трудным.

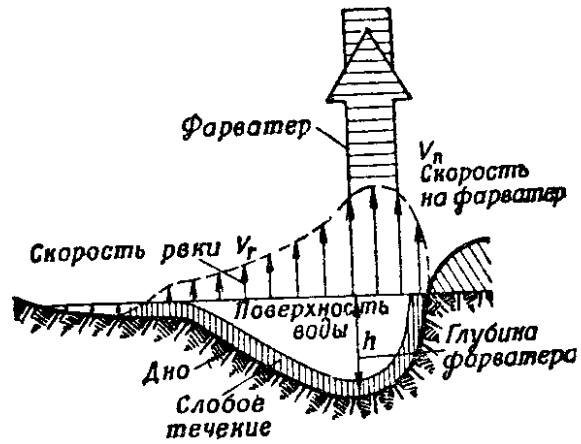


Рис. 256

Рис. 255: Распределение скоростей течения в поперечном сечении реки

Таблица 16:

Перепад реки, ‰	Глубина русла, м						
	0,2	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0
0,15	0,15	0,28	0,46	0,61	0,74	0,99	1,21
0,20	0,17	0,32	0,52	0,69	0,82	1,12	1,37
0,25	0,19	0,36	0,58	0,77	0,90	1,26	1,57

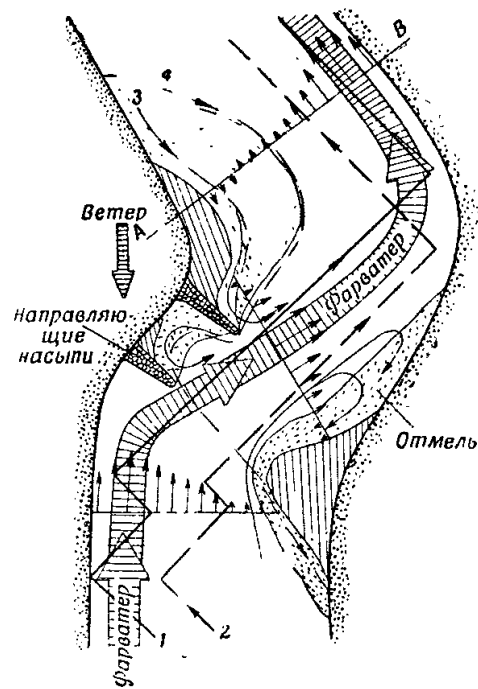


Рис. 257

Рис. 256: Использование речного фарватера при лавировке

Влияние течения реки на раскладку курсов, а также на обстановку при огибании поворотных знаков мы рассматривали вместе с вопросами сложения и разложения скоростей. Остается добавить несколько замечаний. Плавание на течении требует постоянного контроля курса, которым яхта идет в данную минуту. Это делается путем систематического пеленгования предметов, расположенных по оси реки и курса. Такое пеленгование позволяет своевременно определить дрейф яхты, его скорость и, следовательно, снос яхты с выбранного курса. Недостаточность или отсутствие таких наблюдений служит причиной многих неожиданностей во время гонок (сноса яхты, вопреки воле рулевого, за линию старта или финиша, дрейф, навал на буй и т. п.).

Трудность плавания по рекам в основном заключается в сложности определения фарватера. Распознавание его на поверхности реки требует определенного опыта и способностей наблюдать. Посмотрим, какие существуют приметы для определения фарватера.

Каждый, кто плавал по реке, знает, что водное зеркало реки далеко не везде одинаково. На некоторых участках вода постоянно рябит, в то время как на соседних поверхность ее зеркальная. В одном месте образуются высокие волны, а в другом их нет совсем. По виду поверхности воды часто можно сделать вывод: сильное течение или слабое проходит на том или ином участке. Непосвященные при этом могут впасть в грубую ошибку.

Чтобы правильно судить о скорости течения реки по характеру ее водной поверхности, надо всегда учитывать влияние ветра на водную поверхность. Рассмотрим два крайних случая:

- а) направление установившегося ветра совпадает с направлением течения воды;
- б) направление ветра противоположно течению.

В первом случае (рис. 257, I) скорость ветра относительно воды над фарватером ($v - v$) будет меньше, чем в местах с более слабым течением ($v - v_r$). Из-за этого более отчетливо выраженные волны будут образовываться на участках с относительно малой скоростью течения. В то же время на фарватере могут быть лишь едва заметные волны или совсем гладкая поверхность воды. Следовательно, плывя навстречу ветру вверх по течению, надо выбрать участки реки, где более отчетливо выражены волны. Именно в этих местах течение наиболее слабое. Наоборот, спускаясь по течению с попутным ветром, надо выбирать места спокойные, без волн, поскольку там будет проходить фарватер реки.

Когда ветер устойчиво дует против течения реки, крутые с гребнями волны обычно образуются на фарватере. Здесь скорость ветра относительно воды будет наибольшей ($v + v_n$). Участки со слабым течением обозначаются сравнительно небольшими волнами, вода тем спокойнее, чем слабее течение ($v + v_r$). Плывя в этих условиях против ветра вниз по течению, следует держаться участков с крутыми волнами, а плывя против течения по ветру, надо выбирать места, наиболее спокойные, без волн.

Изменение глубины русла, различные очертания берегов или острова на реке могут сильно усложнять описанные прежде зависимости. Надо постоянно помнить, что в одних и тех же ветровых условиях волны на мелких местах всегда более крутые, чем на глубоких местах. Следует различать чисто ветровые волны и волны, образуемые совокупным действием ветра и течения.

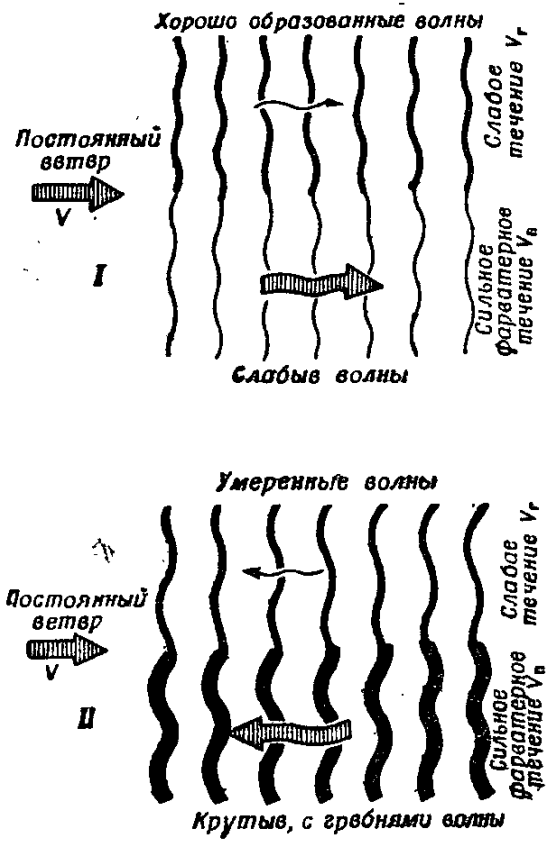


Рис. 257: Распознавание фарватера по волнам на поверхности реки

Препятствия, вроде островов или отклоняющих дамб, вызывая сужение свободного сечения русла реки, могут сильно увеличить скорость течения на фарватере. Тому, кто пожелает изучить изменчивый характер речного фарватера, придется иметь дело со многими разнообразными факторами.

5.4 Плавание по мелководью

Наши рассуждения относительно сопротивления движению яхты касались условий плавания на глубокой воде. При малых скоростях хода сопротивления корпуса яхты на мелкой и глубокой воде различаются незначительно. Но по мере увеличения скорости сопротивление на мелкой воде заметно увеличивается по сравнению с глубокой водой. На рис. 258 приведены две кривые: первая — A — характеризует изменение сопротивления корпуса яхты, плывущей по глубокой воде, вторая — B — по мелкой. Заметим, что, начиная с некоторой скорости v_1 , сопротивление корпуса яхты, движущейся по мелкой воде, начинает быстро расти.

стр. 378

Это явление можно объяснить так: существует некоторая максимальная скорость распространения волн на поверхности воды, зависящая от глубины; она определяется по формуле:

$$c = \sqrt{g \cdot h} = 3,13\sqrt{h},$$

где: g — ускорение силы тяжести, $9,81$ м/сек²,

h — глубина воды, м.

Поднятые яхтой волны не могут двигаться быстрее, чем позволяет критическая скорость c , определенная для глубины, на которой находится сейчас яхта. Известно, что при плавании на глубокой воде линии, соединяющие вершины косых волн, образуют с осью симметрии яхты угол $\beta = 18-20^\circ$, и при этом носовые и кормовые косые волны не накладываются друг на друга.

Когда яхта плывет по мелкой воде, распространение волн ограничивается и снижается скорость их перемещения. Как только отношение скорости движения яхты v к критической скорости c приблизится к $0,7$, т. е. когда

$$\frac{v}{\sqrt{gh}} \approx 0,7,$$

угол β увеличится, одновременно увеличится высота и изменится форма поперечных волн.

Если отношение $\frac{v}{\sqrt{gh}}$ приблизилось к единице, начинается интерференция, взаимное наложение, между поперечными и косыми волнами. В этих условиях возникают отдельные крутые, высокие волны, бегущие под прямым углом к диаметральной плоскости яхты. При этом яхта движется против склона большой волны и сопротивление корпуса будет наибольшим. На рис. 258 этому моменту соответствует сечение 1. Когда скорость яхты настолько увеличится, что отношение $\frac{v}{\sqrt{gh}}$ станет больше значения $c = 3,13\sqrt{h}$, наступит резкий спад сопротивления, а скорость хода заметно увеличится.

Объясняется это тем, что большая отдельная волна при возросшей скорости яхты не в состоянии успевать за яхтой и отстает. В результате часть энергии,

которая прежде тратилась на образование волн, теперь полезно расходуется на увеличение скорости. После отрыва яхты от отдельной волны, в момент, когда $v_2 > c$, со-

противление корпуса становится меньше, чем было при плавании на глубокой воде. Теперь яхта может еще больше увеличить скорость. На рис. 258 этому моменту спада сопротивления соответствует сечение 2. С явлением образования отдельных волн парусники часто встречаются на Висле, когда, плывя с очень малой скоростью и желая сократить путь, пересекают мели. Яхта при этом испытывает настолько резкое торможение, что создается впечатление посадки на мель.

Сильный рост гидродинамического сопротивления при плавании на мелкой воде заставляет рулевого быть осмотрительнее при выборе курсов на дистанции. Потери в скорости, на которые мы обречены при плавании со скоростями, близкими к критической для данной глубины, приведены на рис. 259. В табл. 17 указаны соответствующие величины критической скорости c для различной глубины воды.

Способ использования данных рис. 259 и табл. 17 поясним на следующем примере. Допустим, что осадка корпуса швертбота — 0,2 м. Глубина района плавания $h = 0,6$ м. На графике находим кривую с отношением глубины к осадке $\frac{h}{T} = 3$. Рассматривая эту кривую, видим, что в пределах скоростей от 0,3 до 1,5 c , т. е. от $0,3 \cdot 2,4 = 0,72$ м/сек до $1,55 \cdot 2,4 = 3,7$ м/сек, следует считаться с уменьшением скорости яхты по сравнению со скоростью v_g , которая была бы на глубокой воде.

Наибольший спад скорости почти на 30% по сравнению со скоростью на глубокой воде v_g наступает в момент, когда скорость яхты достигнет величины $1,3 c = 1,3 \cdot 2,4 = 3,1$ м/сек. Как только скорость яхты превысит 3,7 сек., т. е. $1,55 c$, сопротивление ее станет меньше, чем при плавании на глубокой воде, и следует ожидать соответствующего увеличения скорости хода. Рассматривая кривые (см. рис. 259), можно сделать еще один вывод: потери скорости на мелкой воде тем

больше, чем меньше отношение $\frac{h}{T}$ (отношение глубины воды к осадке яхты).

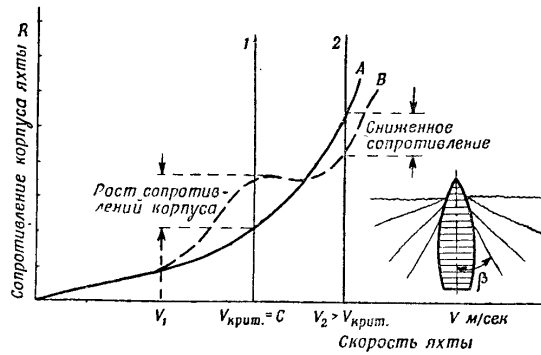


Рис. 258: Сопротивление корпуса яхты на мелкой и глубокой воде

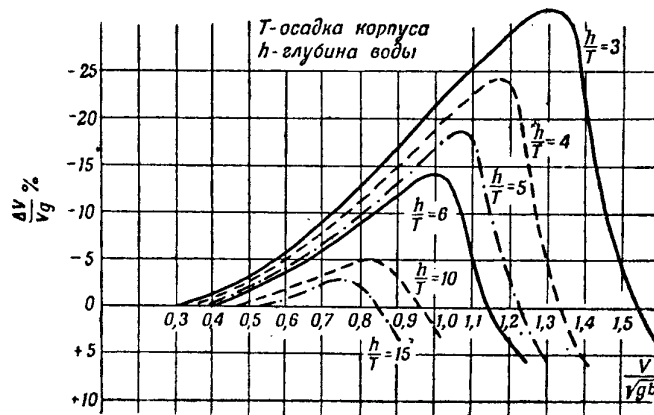


Рис. 260

Рис. 259: Потери скорости яхты при плавании на мелкой воде

Таблица 17:

Глубина воды h , м	Критическая скорость $\sqrt{gh} = c$ м/сек
0,4	1,4
0,6	2,4
0,8	2,8
1,0	3,1
1,5	3,8
2,0	4,4
3,0	5,5

Словарь терминов

Русский	English	Deutsch	Стр.
Длина по ватерлинии	Length Water Line (<i>LWL</i>)	Konstruktionswasserlinie (<i>KWL/OWL</i>)	31
Максимальная длина	Length Overall (<i>LOA</i>)	Länge über Alles (<i>LüA</i>)	31
Максимальная ширина	Beam	Beam über Alles (<i>BüA</i>)	31
Осадка	Draft	Tiefgang	31
Водоизмещение	Displacement	Verdrängung	31

Список иллюстраций

1	Действие сил на тело	6
2	Буксирование яхты	7
3	Равномерное движение яхты	8
4	Движение двух яхт	9
5	Торможение двух яхт	10
6	Сложение сил	11
7	Разложение сил	11
8	Курсы яхт при дрейфе	12
9	Яхты у причала	13
10	Момент силы	14
11	Гидростатическое давление	15
12	Строевая по шпангоутам	16
13	Плоскости остойчивости яхты	18
14	Крен швертбота	19
16	Крен яхты	19
15	Кривая остойчивости	20
17	Влияние высоты борта	21
18	Влияние ширины корпуса	22
19	Влияние положения центра тяжести	23
20	Сравнение остойчивости швертбота и килевой яхты	24
21	К «теории паруса»	26
22	Три основные плоскости корпуса яхты	29
23	Боковая проекция корпуса яхты	30
24	Теоретический чертеж яхты: 1 — бок, батоксы; 2 — полуширота, ва- терлинии и диагонали; 3 — корпус, теоретические шпангоуты; 4 — план парусности	30
25	Основные размеры яхты	31
26	Яхты «Америка» и «Юлланар»	32
27	Яхта «Thiistle»	34
28	Яхта «Минерва»	34
29	Яхта «Волонтер»	35
30	Яхта «Глориана»	35
31	Яхта «Венона»	36
32	Яхта с бульбкилем и полнокорпусная яхта	37
33	Измерение обводов по обшивке (G_p) и по натянутой тесьме (G_n)	38
34	Способ обмера корпуса по формуле KR	41
35	Обмер парусности по формуле KR	42
36	Швертбот «Финн»	47
37	Теоретический чертеж «Финна»	48
38	Швертбот «5–0–5»	50
39	Швертбот «Снайп»	51
40	Швертбот «Пират»	52
41	Швертбот «Кадет»	53
42	Швертбот «Моль» (вариант 1)	54
43	Швертбот «Моль» (вариант 2)	54

44	Килевая яхта «Звезда»	56
45	Теоретический чертеж яхты «Дракон»	57
46	Яхта класса «Дракон» под полными парусами	57
47	Яхта класса «R-5,5»	58
48	Яхта «Карина»	59
49	Конструктивный чертеж яхты «Маус оф Мальхама»	60
50	Яхта «Миф оф Мальхама»	61
51	Примеры действия воздушного и водного потоков: 1 — две крыши; 2 — два паруса; 3 — две лодки на буях	65
52	Струя жидкости: частичка струи, линия течения, V — скорость ча- стицы струи	65
53	Труба переменного сечения	65
55	Давления в сопле	67
54	Графическая иллюстрация уравнения Бернулли	69
56	Давления на парусе: 1 — распределение скоростей и давлений; 2 — результатирующая сила; 3 — циркуляционное движение воздуха	69
57	1 — опыт с волнистым картоном; 2 — эффект Магнуса	70
58	Распределение давлений на бермудском парусе: I — давления в сече- нии AB при $\alpha = 15^\circ$; II — давления на подветренной стороне; III — давления в сечении CD при $\alpha = 90^\circ$; IV — давления на наветренной стороне при $\alpha = 90^\circ$	72
59	Обтекание мачты воздушным потоком	72
61	Аэродинамический лот	73
60	I — профили паруса: a — правильный, $b-e$ — неправильные; II — область курсов, при которых парус ставится под острым углом	75
62	Удлинение и пузатость паруса: $W = f/l$; $\lambda = L/l = L^2/S$	75
63	Схема измерения аэродинамических сил в аэродинамической трубе: 1 — общая схема; 2 — измерение силы P_z ; 3 — измерение силы P_x	77
64	Измерение аэродинамических сил в положении правильной подвет- ренной позиции	77
65	Полярная кривая аэродинамической силы: 1 — разложение силы при $\alpha = 15^\circ$; 2 — разложение силы при $\alpha = 25^\circ$	79
66	Полярные кривые аэродинамических коэффициентов: I — $\lambda = 5$, $W = 1/10$; II — результаты измерений на парусах без мачт. Перпен- дикуляры к хорде профиля паруса для разных углов α	79
67	Ламинарный и турбулентный потоки на парусе: 1 — $\alpha < 15^\circ$, лами- нарный поток; 2 — $\alpha > 15^\circ$, начало завихрений у задней шкаторины; 3 — $\alpha = 40^\circ$, полностью турбулентный поток	81
68	Сравнение обтекания «пузатого» и плоского парусов при $\alpha = 15^\circ$	82
69	Центр давлений аэродинамических сил: 1 — положение центра дав- лений при различных углах атаки; 2 — перемещение центра давлений в зависимости от угла атаки α (в процентах длины хорды l)	84
70	Разложение аэродинамической силы паруса	86
71	Зависимость индуктивного сопротивления от удлинения паруса: $\lambda_1 =$ L_1^2/S ; $\lambda_2 = L_2^2/S$	86

72	Полярная кривая аэродинамической силы паруса с нанесенной штрихпунктирной линией — параболой индуктивного сопротивления: P_x — общее сопротивление; P_{x_i} — сопротивление индуктивное; P_{x_p} — сопротивление профильное	87
73	Пограничный слой: 1 — затраты на трение; 2 — распределение скоростей в пограничном слое; h — толщина пограничного слоя; V — скорость ветра	89
74	Обтекание воздушным потоком мачты: I — идеальный поток; II — реальный поток с отрывом пограничного слоя; внизу — распределение давлений и область завихрений	92
75	1 — сравнение коэффициентов сопротивления мачт разного сечения; 2 — область завихрений за профилированной мачтой яхты «Рейнбау» и круглой мачтой яхты «Индейвор»	94
76	1 — уменьшение аэродинамической силы при отрыве потока; 2 — восстановление силы при уменьшении угла атаки; 3 — турбулентное обтекание паруса	96
77	Влияние стакселя на обтекание грота: увеличение скорости потока в сечении S_2 между гротом и стакселем	96
78	Зависимость отношения P_x/P_z от числа Рейнольдса для трех профилей паруса: № 60, 417a и плоского	98
79	Зависимость коэффициента сопротивления C_x круглой мачты от числа Рейнольдса; v_w — скорость вымпельного ветра; d — диаметр мачты	131
80	Скорость и направление вымпельного ветра при различных курсах яхты; v_r — скорость истинного ветра; v_j — скорость яхты; v_w — скорость вымпельного ветра	132
81	Изменение средних скоростей ветра в зависимости от высоты над уровнем воды для летнего сезона	133
82	Различие в скорости и направлении вымпельного ветра на разных высотах паруса швертбота «Финн»; $\Delta\alpha = 6^\circ$	133
83	Результаты действия аэродинамической силы: 1 — сила тяги P_c и боковая сила P_d , дрейф δ ; 2 — крен φ , уменьшение эффективной площади паруса; 3 — дифферент на нос	134
84	Сравнение сил тяги при разных углах атаки: I — $\alpha_1 = 15^\circ$; II — $\alpha_2 = 30^\circ$	134
85	Оттяжка гика и добавочное подклинивание гика на яхте класса «Финн»	135
86	Курс бейдевинд: 1 — парус при $\alpha = 15^\circ$; 2 — парус при $\alpha = 10^\circ$. . .	135
87	Влияние вредных сопротивлений на направление аэродинамической силы	135
88	Силы, действующие на парус при лавировке	136
89	Зависимость силы тяги и силы дрейфа от угла установки паруса . .	136
90	Надлежащий лавировочный курс	136
91	Влияние места крепления шкотов на перекручивание паруса	137
92	Вихри Кармана на подветренной стороне паруса	137
93	Причина раскачивания яхты на курсе фордевинд	137
94	Раскачивание яхты под действием аэродинамических сил	138
95	Восстанавливающий момент M_p	138
96	Свободные колебания яхты: без учета и с учетом сопротивления воды	138

97	Силы, действующие на яхту при проходе через волну	139
98	Силы на парусе при вытравленных шкотах на курсе фордевинд . . .	139
99	Совпадение и расхождение фаз колебаний яхты	139
100	Полярные кривые аэродинамических коэффициентов для парусов различной «пузатости»	140
101	Сравнение яхт с плоским ($1/20$) и «пузатым» ($1/7$) парусами на курсе бейдевинд	140
102	Сравнение аэродинамических коэффициентов «пузатого» и плоского парусов	141
103	Изменение максимальной аэродинамической силы в зависимости от скорости ветра для парусов различной «пузатости»	141
104	Зависимость силы тяги от «пузатости» паруса и курса яхты	142
105	Потеря хода при чрезмерно остром курсе	143
106	Изгибание мачты на яхте класса «Звездный» с целью устранения слишком большого «пуза» паруса	144
107	Влияние расположения максимальной полноты («пуза») на работу паруса	144
108	Расстояние центра давления аэродинамических сил в зависимости от угла атаки для парусов различной полноты	145
109	Полярные кривые аэродинамических коэффициентов для парусов различной удлиненности и гафельного паруса шхуны «Букау»	146
110	Полярные кривые аэродинамических коэффициентов бермудского, гафельного и прямого парусов. Сравнение курсов бейдевинд	147
111	Влияние ограничивающей пластины на аэродинамическую силу паруса	147
112	Яхта с двумя вариантами парусов различной удлиненности	148
113	Сравнение аэродинамических сил бермудского и гафельного парусов на курсе бакштаг	148
114	Очертания парусов «Маркони» и «Гуари». Распределение давлений на парусе	149
115	Зависимость коэффициента C от угла атаки при различном распо- ложении и величине мачты	150
116	Профилированная мачта	151
117	Парусное вооружение типа Люнгстрема	151
118	Парусное вооружение типа «Люнгстрема»	152
119	Полярные кривые аэродинамических коэффициентов для жестких парусов-крыльев	153
120	Разложение аэродинамических сил на яхте с парусом-крылом	153
121	Сравнение сил тяги трех парусов различного типа	153
122	Эффект щели между стакселем и гротом	154
123	Влияние стакселя на обтекание грота	155
124	Расположение кип стакселя и направление тяги шкотов	156
125	Конструкция кип стакселя на яхте «Звездного» класса	156
126	Изгиб штага на яхте класса «5-0-5»	157
127	Сравнение аэродинамических коэффициентов для вооружения шлю- па и кэта	158
128	Вынос стакселя на спинакер-гике на яхте класса «Снайп»	159
129	Правильное и неправильное несение спинакера	161

130	Установка спинакер-гика относительно направления вымпельного ветра	161
131	Работа со спинакером при перемене галса	161
132	Спинакер с отверстиями	162
133	Обтекание спинакера с дополнительной поверхностью («крышкой»)	164
134	Сдвоенный спинакер	164
135	Силы, действующие на нити ткани паруса	169
136	Основы раскроя парусов	173
137	Раскрой грота	173
138	Теоретические размеры паруса	174
139	Раскрой паруса	174
140	Как учитывать эластичность мачты	178
141	Суммарная кривизна передней шкаторины	178
142	Образование «пуза» посредством ушивок	178
143	Шитье грота	180
144	Укладка парусины на контур	180
145	Формы фаловой дощечки	180
146	Ликовка	182
147	Проектирование грота	182
148	Раскрой стакселя	182
149	Раскрой стакселя с учетом прогиба штага	184
150	«Паутиный» раскрой стакселя	184
151	Раскрой спинакера	186
152	Шаровидный спинакер (обратите внимание на раскрой паруса)	186
153	Выхаживание паруса	189
154	Морщины или фалды в галсовом или шкотовом углах	189
155	Чрезмерный подъем нока гика и фалды в шкотовом углу	189
156	Контур паруса при осмотре со стороны задней шкаторины	189
157	Расположение кип стакселя	194
158	Силы, действующие на мачту и ванты	194
159	Наклон мачты и изгиб гика	195
160	Способы крепления шкотов на гике	196
161	Силы, действующие на яхту во время движения	200
162	График коэффициентов сопротивления трения для пластин в зависимости от числа Рейнольдса	200
163	График коэффициентов сопротивления трения в зависимости от скорости яхты	204
164	Зависимость сопротивления трения от скорости яхты и его доля в общем сопротивлении	204
165	Характерные величины, определяющие сопротивление формы корпуса	206
166	Обтекание водой трех тел различной формы и относительные коэффициенты сопротивления формы	206
167	Сопротивление корпусов с разными обводами мидельшпангоута (по И. Сабо)	209
168	Сравнение сопротивлений двух моделей с вельботной (А) и яхтенной (В) кормой	209
169	Волны, образуемые яхтой: косые и поперечные	209

170	Изменение скорости потока и давления воды вдоль корпуса яхты	213
171	Кривая коэффициента волнового сопротивления и длины поперечных волн при разных скоростях	213
172	Положение корпуса и действующие силы при различных числах Фруда	215
173	Погружение носа и кормы яхты в зависимости от числа Фруда и режимы плавания	215
174	Скоростная английская яхта типа «Флайинг»	217
175	Склонность яхты приводиться и уваливаться; влияние положения руля на добавочное сопротивление	219
176	Гидродинамические коэффициенты руля C_s и C_r в зависимости от угла отклонения	221
177	Сравнение гидродинамических коэффициентов обычного плоского и профилированного рулей	223
178	Коэффициент C_s руля в зависимости от угла отклонения для различных удлиненностей	223
179	Силы, действующие на яхту при движении с дрейфом; профилированный и плоский шверт	225
180	Влияние угла дрейфа на выигрыш высоты при лавировке	225
181	Плоский и профилированный шверт	228
182	Влияние площади шверта на высоту лавировки	228
183	Изменение скорости дрейфа, поступательной скорости и угла дрейфа при разгоне яхты	228
184	Система швертов на яхте «Скоу»; шверт с регулируемым углом установки	230
185	Поперечное равновесие швертбота и килевой яхты	230
186	Влияние крена на угол атаки паруса	232
187	Поперечное равновесие яхты «Финн» при крене 45°	232
188	Сопротивление корпуса килевой яхты при различных углах крена	235
189	Зависимость скорости яхты от скорости ветра при различных углах крена	235
190	Откренивание на международном каное	237
191	Статическая (I) и динамическая (II) остойчивость яхты	239
192	Влияние волн на остойчивость яхты	239
193	Равновесие яхты на курсе; силы, действующие на яхту в горизонтальной плоскости	241
194	Чтобы яхта, идущая с креном, не приводилась, приходится класть руль под ветер	241
195	Изменение направления действия аэродинамической силы P и положения SBO в зависимости от расположения шверта	243
196	Влияние взаимного расположения парусов и наклона мачты на вращающий момент	245
197	Силы, действующие на яхту при повороте	245
198	Оптимальный угол отклонения руля при повороте	247
199	Схема поворота оверштаг	247
200	Схема поворота фордевинд	249
201	Самоуправление яхтой типа кэч	249
202	Лежание в дрейфе	252

203	Выход из «заднего хода» подъемом шверта	252
204	Равновесие дифферента яхты	252
205	Сравнение устойчивости килевой яхты и катамарана	255
206	Зависимость относительного сопротивления яхты от относительной скорости (график Баркла)	255
207	Катамаран «Ярро»	257
208	Рулевое устройство катамарана	257
209	Различные способы размещения гидрокрыльев	259
210	Система Грюнберга на парусной яхте	259
211	График коэффициентов C_z и C_x гидрокрыла	259
212	Яхта на гидрокрыльях	261
213	Использование ветра в области циклона	265
214	Использование циклона при выборе курса гонки	265
215	Преимущественные направления циклонов для Северного и Балтийского морей	268
216	Отклонение направления ветра от барического у поверхности земли	268
217	Использование прибрежного ветра в гонках	270
218	Запись скорости порывистого ветра	270
219	Использование порывов ветра при плавании курсом бейдевинд	271
220	Использование заходов ветра на лавировке	274
221	Выигрыш в высоте при использовании заходов ветра	274
222	Взаимодействие бриза и барического ветра	278
223	Действие дневного озерного бриза	278
224	Влияние подоблачной циркуляции на барический ветер	278
225	Восходящие и опускающиеся потоки воздуха у поверхности воды	278
226	Порывы ветра и их влияние на яхты	280
227	Использование порывов ветра	280
228	Термическая буря	282
229	Зависимость скорости ветра от температурного градиента	282
230	Рябь следов ветра и штиля	285
231	Ветровая тень и «ветровой удар»	285
232	Завихрение ветра за препятствием	285
233	Взаимодействие парусов яхт N и Z	288
234	«Безопасная подветренная позиция» (обратите внимание на наклон мачт, указывающий на величину сил на парусах яхт)	288
235	«Безнадежная позиция»	290
236	Протяженность и направление «конуса покрытия»	290
237	«Безнадежная позиция» 3-й яхты слева, находящейся в аэродинамической тени парусов двух первых яхт	290
238	Аэродинамические силы на пластинках, поставленных друг за другом на одной оси	291
239	Кратчайший путь и путь курсами бакштаг	291
240	Образование и движение волн	295
241	Зависимость между длиной, скоростью и периодом волны	297
242	Оценка высоты волны с палубы яхты	297
243	Профили волн и прибойные волны	297
244	Рефракция волн около берега	301

245	Неравномерная осадка корпуса яхты, всходящего на волну	301
246	Зависимость максимальной скорости поверхностного течения на волне от ее высоты H и периода T	301
247	Влияние волн на скорость и курс яхты	304
248	Два способа «сухого» плавания против волны	304
249	Силы, действующие на яхту при плавании вместе с волнами	308
250	Скорость яхты на волне при различных курсах	308
251	Использование энергии волны при плавании курсом бакштаг	308
252	Яхта входит в глиссирование (обратите внимание на положение рулевого, старающегося ускорить начало глиссирования)	309
253	Карты приливно-отливных течений	313
254	Влияние приливно-отливных течений на выбор галса	313
255	Распределение скоростей течения в поперечном сечении реки	315
256	Использование речного фарватера при лавировке	315
257	Распознавание фарватера по волнам на поверхности реки	317
258	Соппротивление корпуса яхты на мелкой и глубокой воде	320
259	Потери скорости яхты при плавании на мелкой воде	320