

Ю. С. КИРЯЧКОВ, В. Н. ЛАПИН

ПАРУСНЫЕ КАТАМАРАНЫ

332.266
УЧЕБНЫЙ ОТДЕЛ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ ЦЕНТРАЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЦЕНТР КОСМОС»

Москва
1963

В книге рассмотрены конструкции современных парусных катамаранов и методы их проектирования.

Специальные главы посвящены вопросам движения быстродвижных парусных судов в парусном вооружении катамаранов. Дано подробное описание в помещенных деталями чертежах четырех катамаранов для любительской постройки. В заключение рассмотрено несколько типов современных спортивных, прогулочных и крейсерских катамаранов, приведены их основные чертежи.

Книга рассказывает на широкой основе читателям, интересующимся вопросами судостроения, о возможностях и скоростях. Помещения в ней материалы могут быть использованы при постройке простых двухкорпусных судов, а также для проектирования катамаранов более сложных конструкций.

ВВЕДЕНИЕ

Катамараны — яхты с двумя-тремя корпусами — стали известны любителям парусного спорта сравнительно недавно. Один из первых катамаранов был построен американским конструктором яхт Н. Херрстофом в 1900 г. Это спортивное судно, несмотря на довольно хорошую скорость хода, не получило признания из-за плохой управляемости и совершенно неудовлетворительных условий плавания для экипажа.

Незадолго до начала второй мировой войны французский яхтсмен и судостроитель Эрик Бишон совершил плавание от Гавайских островов до берегов Франции на построенном им катамаране «Камилло». Тогда это были единичные суда. Сейчас катамаранов насчитывается несколько тысяч, и их число продолжает быстро увеличиваться.

Чем объяснить такой рост популярности катамаранов? Причин много, начиная от увлечения экзотикой и кончая теоретическими предположениями о более высоких гидродинамических качествах двухкорпусных судов по сравнению с обычными — однокорпусными.

По-видимому, не все из этих предположений оправданы, но уже сейчас можно с уверенностью сказать, что катамараны открыли новую интересную страницу в истории парусного спорта.

Прогресс в области парусного судостроения за последние сто лет не дал существенных качественных изменений основных показателей яхт. Рекордные скорости хода, достигнутые в конце XIX века знаменитыми катерами, оказались пределом, черту который не смогло перешагнуть ни одно из построенных позже парусных судов. Крупнейшие гоночки, такие, как гоночки из Кубок Америки, на которых были представлены лучшие яхты мира, позволяли выявить лишь превосходства одной конструкции

яхты перед другой, но не обнаруживали существенного роста скоростей парусных судов.

Первые катамараны были либо слишком ненадежны, либо чрезмерно тяжелы и имели сравнительно невысокую скорость хода. Позднее были разработаны более совершенные конструкции с лучшими гидро- и аэродинамическими формами, и на



Рис. 1. Катамаран «Лайн Кан».

них удалось получить феноменальные результаты. Катамаран «Шприватер» на гонках развил скорость хода 20 узл. при ветре около 5 баллов (т. е. при скорости ветра менее 20 узл.). Последнее обстоятельство особенно знаменательно — парусные суда, вследствие «буерный эффект», получали возможность обогнать ветер.

Успехи, достигнутые на гоночных судах, позволили усовершенствовать конструкции и крейсерских катамаранов. Лучшие из них, например «Лайн Кан» (рис. 1) или «Ману Кан», развивают скорость хода до 12—15 узл. при умеренной силе ветра.

Эксплуатация крейсерских катамаранов выявила и другое не менее важное для дальнего плавания преимущество больших двухкорпусных судов (длинной больше 12 м) перед обычными — наличие значительно большей площади и, следовательно, возможности создать лучшие условия обитаемости для экипажа. Широкий средний мостик позволял расположить на нем просторную светлую рубку и использовать основные корпусы для хранения припасов, а в некоторых случаях для размещения спальных мест.

К достоинствам катамаранов следует отнести и сравнительную сложность их конструкции, что особенно важно для любителей, занимающихся самостоятельной постройкой яхт. У катамаранов обычно отсутствуют балластные фальшкили, а иногда и шверты. В связи с большим удлинением корпуса катамаранов миним, как правило, несложные обводы без двойной пошибки обшивки. Это позволяет использовать для нее фанеру, что значительно упрощает процесс сборки и сокращает продолжительность постройки судна.

Нельзя, однако, считать, что перечисленные положительные качества катамаранов присущи любому двухкорпусному суду. Напротив, известны конструкции катамаранов, которые не оправдали возлагавшихся на них надежд как по мореходным качествам, так и по обитаемости. В результате неправильного расчета воевой нагрузки, выбора основных элементов и других ошибок при проектировании скорость хода катамаранов оказалась не только не выше, но и значительно ниже, чем у обычных кат тех же размеров. На некоторых двух- и особенно трехкорпусных парусниках из-за воровистой качки на волнении плавание оказалось практически невозможным. Известны случаи отрыва корпусов от мостика из-за недостаточной прочности поперечных связей.

Одной из главных причин появления неудачных конструкций катамаранов является отсутствие строго разработанной теории проектирования и постройки двухкорпусных судов. В то

время как по классическим яхтам существует сравнительно обширная литература, катамаранам посвящено всего несколько книг, вышедших в последнее время в Англии, Франции и США.

При написании настоящей книги авторы составили перед собой цель познакомить советских любителей парусного спорта с общими проблемами проектирования катамаранов, дать материалы для самостоятельной постройки некоторых типов многокорпусных судов, а также для разработки новых конструкций.

ГЛАВА I

ТИПЫ КАТАМАРАНОВ

Прежде чем приступить к проектированию, а тем более постройке катамарана (как и любого другого судна) нужно иметь ясное представление о том, какие требования к нему будут предъявляться при эксплуатации. Нельзя строить катамаран вообще, рассчитывая на то, что в любом случае он будет и быстроходным, и комфортабельным судном. Всякое решение в данном случае является компромиссным, т. е. обеспечение одного главного качества достигается в ущерб другим, менее существенным.

Крейсерские катамараны должны прежде всего отвечать требованиям мореловкости и обеспечивать экипажу хорошие условия обитаемости. Для судна, рассчитанного на недалекие плавания или для одно-двухдневных прогулок, можно до некоторой степени пожертвовать комфортом ради более высокой скорости хода. Размеры такого катамарана могут быть сравнительно небольшими, а следовательно, и постройка его будет менее сложной. При проектировании гоночных спортивных катамаранов основное внимание, естественно, уделяется скорости хода.

В каждом отдельном случае должны учитываться и такие факторы, как бассейн, в котором предполагается совершать плавание, сила ветра, при которой рассчитывают получать максимальную скорость хода и др.

Для того чтобы внести ясность в вопрос о выборе типа катамарана для постройки, следует ознакомиться с известными вариантами этих судов.

Древние катамараны Тихого океана и первые европейские катамараны

Прототипом современных зарусских катамаранов послужили двухкорпусные суда, созданные жителями Океании за много веков до появления там европейцев.

Исторически появление многокорпусных конструкций объясняется отсутствием у островитян орудий труда, с помощью

которых можно было бы построить большие водонепроницаемые суда. Жизненная необходимость совершать дальнее плавание между островами заставила их искать другие пути для решения этой проблемы. Так появились лодки с дуэрастером (полупланок-протжаветсон), использовавшиеся для небольших переходов, и многокорпусные катамараны, рассчитанные на дальнее океанское плавание.

Идея катамарана предельно проста: она заключается в том, чтобы за счет соединения двух (или нескольких) корпусов по-



Рис. 2. Полинезийский катамаран.

лучить большую поперечную устойчивость, не утяжеляя и не расширяя каждый корпус в отдельности.

Посмотрим, что представляла собой типичный полинезийский катамаран (рис. 2), описание которого приводится адмиралом Парисом, посетившим острова Океании в начале XIX века.

Длина судна составляла 14,5 м, причем соединенные корпуса не были строго одинаковых размеров. Общая ширина катамарана равнялась 2 м, ширина каждого корпуса 60 см, средняя осадка 30—35 см, высота среднего мостика над водой 60—65 см. Основу каждого корпуса составлял выдолбленный ствол дерева.

Катамаран вооружался парусом с рейками по передке и нижней шкаторине. Мачта устанавливалась на соединительном мостике. Управление таким парусом было весьма сложным и требовало большого количества людей. Если учесть к тому

же, что во время плавания приходилось постоянно откачивать воду из корпусов, не имеющих валубы, то понятно, почему экипаж судна был столь многочисленным. Например, на катамаране, описанном адмиралом Парисом, экипаж состоял из 30 человек, а на более крупных судах, длиной до 20—25 м, достигал 100 человек.

Сравнив полинезийские двухкорпусные суда с одним из первых европейских катамаранов «Камилло», кстати говоря, построенным Э. Бишопом на Гавайских островах.

Катамаран Бишопа имел 13 м в длину, 6 м в ширину (при ширине каждого корпуса 2,2 м), осадка судна составляла 65 см, высота среднего мостика от воды 80 см, вес 7 т.

На «Камилло» был установлен рейковый парус с бамбуковыми жердями — такой тип парусного вооружения позволял одному человеку производить все необходимые маневры, что в данном случае имело особое значение, так как экипаж катамарана состоял всего из двух человек.

Корпуса «Камилло» имели в поперечном сечении форму призматического треугольника. К носу и корме борта восточнее сближались. Значительный подъем палубы в кормовой и носовой оконечностях, как на китайских джонках, улучшала устойчивость судна на волну. Проектару связь между корпусами, Бишоп намеревался сделать ее гибкой, как на полинезийских катамаранах, на которых корпус связывался с мостиком лианами. Однако предварительный расчет показал, что для его судна, весившего во много раз больше полинезийского, такая конструкция практически невыполнима. Чтобы несколько смягчить реакцию корпусов при ударах волн, Бишоп использовал для связей корпусов и мостика автомобильные рессоры.

Проектируя судно для дальнего океанского плавания, Бишоп стремился сделать его возможно более прочным, способным выдерживать штормы. И без того тяжелые корпуса были снабжены балластом.

«Камилло» коренным образом отличался от полинезийских катамаранов. Он был значительно шире полинезийских судов — отношение длины к ширине у него равнялось двум. Поперечная устойчивость «Камилло» обеспечивалась не только размещением корпусов на значительном расстоянии, но и большим весом судна.

В связи с этим на курсах бойдевинд под острым углом к волне катамаран испытывал большие крутящиеся напряжения. Поэтому для соединения корпусов потребовалась жесткая конструкция, еще более утяжелившая судно.

Полностью, чтобы избежать перелома катамарана на волне, делала его значительно жестче (отношение длины к волной ширине колебалось от 6 до 8) и снижали гибкость связей, которые обеспечивали корпусам некоторую независимость при

качке. Естественно, что поперечная остойчивость их судов была значительно меньше, чем у «Камилас».

Из приведенного сравнения можно сделать первый вывод относительно выбора конструкции катамарана. Увеличение остойчивости за счет большего разнеса корпусов требует повышения прочности судна, а следовательно, связано с увеличением его веса. Это в свою очередь отражается на увеличении осадки, повышении сопротивления, которое оказывает вода движению судна, и уменьшении скорости хода.

Более узкие катамараны могут иметь облегченную конструкцию, но в связи с уменьшением поперечной остойчивости на них невозможна установка большой парусности, в результате чего скорости их хода ограничены.

Влияние этих противоречивых условий и определяло единственный предел скорости хода у «Камилас» и полинезийских катамаранов — 8—9 узл.

Преимущество эту скорость может лишь то судно, в котором легкость конструкции сочетается с высокой остойчивостью.

Древние полинезийцы решили эту проблему с помощью лодок с поплавком-аутригером. В зависимости от назначения такие лодки могли иметь самые различные размеры. Для того чтобы получить представление об их конструкции, достаточно ознакомиться с характеристиками одного из известных вариантов. Основной корпус судна имел 10 м в длину, 86 см в ширину (на миделе), при осадке 20—30 см. Дюна аутригера составляла 5,2 м. Общая ширина судна равнялась 4,75 м, в вместе с площадкой, которая крепилась к наружному (относительно поплавка) борту основного корпуса, — 6,5 м.

Основу главного корпуса составлял выдолбленный ствол дерева. Поплавок изготовлялся из целого бревна, слегка заостренного с южной. Обычно он располагался с внешней стороны борта и скользил над водой, обеспечивая своим весом остойчивость судна.

Для того чтобы сохранить поплавок с внешней стороны, судно при смене галсов разворачивалось таким образом, что нос и корма оказывались местами. В связи с этим окованности судна имели одинаковую форму, мачта устанавливалась точно на миделе, а на носу и корме было по рулевному аутсу.

Лодки с поплавком обычно вооружались латинскими парусами, форма которых была разработана жителями Океании независимо от европейцев.

Еще одна особенность судов этого типа заключалась в том, что поплавок, расположенный на значительном расстоянии от главного корпуса, создавал момент, который уводил судно с курса. Для того чтобы компенсировать этот момент и обеспечить устойчивость за курс, основной корпус делался асимметричной формы, а мачта несколько смещалась от диаметральной

плоскости в сторону поплавка. Асимметричная форма корпуса также несколько уменьшала дрейф.

Поплавок, имеющий примерно в 10 раз меньшее водоизмещение, чем основной корпус, не может являться причиной возникновения значительных крутильных усилий. Благодаря этому нет необходимости делать мощные поперечные крепления, утяжеляющие судно. Хорошая поперечная остойчивость лодки с поплавком позволяла ставить на нее паруса большой площади и получать в результате большую скорость хода.

Однако жители островов Океании использовали лодки с аутригером только для плавания между островами, а открытый океан они предпочитали выходить на катамаранах. Это объясняется тем, что двухкорпусные суда обладают значительно большей мореходностью, чем лодки с поплавками. Действительно, поплавок, имеющий значительно меньшие размеры, чем основной корпус, не может автоматически обеспечивать судно необходимый восстанавливающий момент. Поэтому зачастую приходилось открывать судно так же, как это делается на современных шверботах и гонимых яхтах классического типа. Выше упоминалось, что лодки с поплавком имели со стороны свободного борта площадку, вылет которой составлял примерно треть общей ширины судна. Другая такая площадка находилась на поперечной связи основного корпуса с поплавком. Переминаясь с одной площадки на другую, экипаж обеспечивал судно необходимую остойчивость.

Естественно, что на лодках с поплавками нельзя было перевозить большое количество людей или груза, ни тем более совершать дальние походы.

В настоящее время лодки с поплавками сохранились только на некоторых из островов Океании; например, Таумоту и Общества. Они используются для рыбной ловли или небольших перевозок в пределах лагуны. Нередко на них проводятся соревнования, привлекающие большое количество зрителей.

Современные аутригерные суда значительно отличаются от своих древних прототипов. Усовершенствованное по европейскому образцу парусное вооружение позволяет менять галсы с помощью переоса гака. В результате поплавок оказывается то с внешней, то с подветренной стороны судна. Для открывания судна площадка на поперечной связи продолжена до поплавка, так что экипаж в зависимости от силы ветра может размещаться либо на площадке, либо даже на самом поплавке. Наружная площадка заменяется широкой доской, на ней можно стоять, держась рукой за ванты.

Такие суда без труда развивают скорость хода до 15 узл. без риска опрокинуться или разломиться на волне. Однако для плавания в открытом море они мало пригодны, как и их древние прототипы.

Сравнение лодок с поплавокми и катамаранов вскрыла второе противоречие, которое следует учитывать при выборе конструкции двухкорпусного судна. Уменьшение веса корпусов (в данном случае одного из корпусов) уменьшает сдвигующие усилия и позволяет значительно увеличить скорости хода, однако при этом остойчивость не может быть получена автоматически — для увеличения восстанавливающего момента экипажу приходится открывать судно.

Как возможный вариант разрешения этого противоречия может быть рассмотрено трехкорпусное судно, или тримаран,¹ как его называли в Европе. Первые тримараны, созданные на острове Океаниа, представляли собой судно с двумя поплавками, расположенными по обе стороны от основного корпуса.

По сравнению с лодкой, имевшей один поплавок, такое судно обладало большим запасом остойчивости. В то же время оно же было и столь жековым как обычный катамаран, составленный из двух одноплавковых корпусов.

Однако у жителей Океаниа лодки с двумя поплавками не нашли широкого применения. Островитяне, бывшие хорошими моряками, предпочитали пользоваться более быстроходными судами с одним поплавком. Для дальнего плавания тримараны оказались мало пригодными, так как на волнении они испытывали сильные удары.

Европейцы при знакомстве с катамаранами не обратили внимания на разнообразие конструкций многокорпусных судов. Вначале была усвоена только одна наиболее очевидная идея о том, что два корпуса, соединенные концевой осью, имеют большую остойчивость, чем однокорпусное судно того же водоизмещения. Поэтому терять из современных парусных катамаранов по своим мореходным качествам не только не проводили, но во многом уступали многокорпусным судам, построенным островитянами.

Удачные конструкции были созданы совсем недавно: 10—15 лет назад. Их появление объясняется, с одной стороны, четким разграничением, которое было установлено между отдельными типами многокорпусных судов, а с другой, — применением новых прочных и легких материалов — водостойкой фанеры, алюминиевых сплавов и пластмасс.

Современные парусные катамараны

Современные многокорпусные суда как по назначению, так и по конструкции можно разделить на следующие основные типы:

¹ Жители Океаниа изобрели «катамараном» также многокорпусное судно, в том числе и обычной лодки. Однако в связи с тем, что название «тримаран» исключительно точно характеризует конструкцию трехкорпусного судна, такой термин не вошел в обиход.

- крейсерские катамараны и тримараны;
- скоростные катамараны, тримараны и лодки с поплавком;
- прогулочные катамараны.

Новым типом скоростного судна, которое также может быть отнесено к многокорпусным, является яхта на подводных крыльях.

Крейсерские катамараны. Родоначальником современных крейсерских катамаранов с полным основанием можно считать «Кэмлоа», характеристики которого были приведены выше. Несмотря на некоторые свои недостатки судно, построенное Бишопом, показало хорошие мореходные качества. Средняя скорость хода катамарана во время длительного плавания от Гавайских островов до берегов Европы составила 6 узл., что превышает скорость хода аналогичных однокорпусных судов, из которых были совершены походы такой же дальности (например, яхты Джозуа Словяна).

«Кэмлоа» имеет преимущества и по сравнению с рядом крейсерских катамаранов более легкой постройки: например, французские катамараны «Копула» и «Тоу-Боу». Эти суда, несмотря на различия в конструкции и размерах (длина «Копула» 15 м, «Тоу-Боу» 9,5 м), имеют один общий недостаток: их корпуса, сваренные из стальных листов, оказались слишком тяжелыми, чтобы обеспечить их хорошие мореходные качества. Во время испытаний «Тоу-Боу» на курсе бейдевинд при значительной волне лопнули сварные швы на стыках листов в передней части среднего мостика. В связи с этим пришлось пойти на метр укоротить длину мостика в носовой части, чтобы волны не достигали до него.

Однако это усовершенствование не могло полностью устранить недостаток конструкции, поэтому после первого рейса через Атлантический океан экипаж вынужден был отказаться от намеченного кругосветного плавания. Та же участь постигла и «Копула».

Из опыта эксплуатации этих судов следует сделать вывод, что сталь является малоудобным материалом для постройки катамаранов.

Тяжелые катамараны с большой осадкой плохо переносят качку, особенно на короткой крутой волне по причине избыточной начальной остойчивости. Потеря скорости на острых курсах снижает маневренность этих судов и затрудняет поворот штурвала.

Улучшение мореходных качеств катамаранов должно идти за счет уменьшения веса их конструкции. Во времена постройки первых крейсерских катамаранов такая возможность была ограничена выбором материалов. Деревянные и тем более стальные конструкции не позволяли получить достаточно широкое и одновременно легкое судно.

Новый период в развитии конструкций двухкорпусных судов начался после того, как для их постройки стали применять водостойкие сорта фанеры, а позднее пластмассы и легкие сплавы.

Наиболее удачные крейсерские фанерные катамараны «Ману Кан», «Вайкики Серфф» и «Анкава» были построены в 40—50-х годах. Катамараны «Ману Кан» и «Вайкики Серфф» имели длину 12 м, ширину 4 м и вес около 1 т, т. е. при размерах, близких к размерениям «Кэмилло», были в 7 раз легче его (общий вид и чертежи «Ману Кан» помещены в приложение).

Результаты такого уменьшения веса не замедлили сказаться: «Ману Кан» и «Вайкики Серфф» легко развивали скорость хода 15 узл., а в определенных условиях и до 20 узл. При благоприятном ветре катамараны в течение нескольких минут могли удерживаться на гребне попутной волны. «Вайкики Серфф» вскоре после его постройки занял первое место в крейсерских гонках на дистанции Лос-Анжелос—Гонолулу. Таким образом, впервые было наглядно доказано преимущество двухкорпусных судов перед однокорпусными.

Как видно из приводимых чертежей и фотоснимка «Ману Кан», основные конструкции этого катамарана расположены очень высоко над водой при сравнительно небольшой осадке. В результате центр тяжести судна оказался на значительной высоте от ватерлинии, что несколько снизило остойчивость катамарана.

Чертежи «Вайкики Серфф» не были опубликованы. Однако известно, что мостик этого катамарана расположен ниже, чем у «Ману Кан», и осадка больше. Отсюда конструктор стремился улучшить мореходные качества судна за счет уменьшения высоты центра тяжести. Однако больших успехов в этом отношении ему, по-видимому, не удалось достигнуть; во всяком случае из за одного из этих катамаранов не было совершено переходов, подобных тем, которые проделал Бинтон на «Кэмилло».

Препятствием для дальнего плавания на катамаранах типа «Ману Кан» являлись также совершенно неудовлетворительные условия обитаемости для экипажа. Малая ширина корпусов (0,75 м) не позволяла оборудовать в них жилые помещения. Экипажу приходилось жить на среднем мостике, где расположена рубка высотой всего 0,5 м. Спать в этой рубке можно было только лежа на спине; о размещении в ней камбуза не приходилось и говорить. Имеется вариант «Ману Кан» с открытым кокпитом на среднем мостике, однако такое судно следует уже отнести не к крейсерским, а к прогулочным катамаранам.

Сказанное, однако, не должно ставить под сомнение правильность основного направления в совершенствовании конструкций современных парусных катамаранов. Уменьшение вес

является необходимым условием для более полного использования преимуществ двухкорпусного судна. Об этом свидетельствуют результаты плавания «Лани Кан» — одного из новейших крейсерских катамаранов, показавшего скорость хода 21 узел (чертежи и описание этого судна даны в приложении).

К тому же вывод приводит и анализ трехкорпусных парусных судов, рассчитанных на дальнее плавание. Основные черты современных тримаранов те же, что и у полноразмерных судов этого типа.

Один из первых крейсерских тримаранов был построен Бинтоном вскоре после плавания на «Кэмилло». Новое судно, названное «Кэмилло Ваква», должно было, по замыслу Бинтона, сочетать в себе основные достоинства катамарана и высокую скорость хода лодок с подлапками.

Существование этого судна было непродолжительным: во время первого дальнего плавания оно разбилось при подходе к берегу. Однако известные описания «Кэмилло Ваква» дают возможность составить представление как о его конструкции, так и о мореходных качествах.

Основной корпус тримарана по форме и размерам напоминал корпус «Кэмилло». Длина его равнялась 12 м, ширина — 3 м. Два узких вспомогательных корпуса, игравших роль подлапков, имели значительно меньшие размеры — длина их не превышала 5 м. Общая ширина тримарана составляла около 8 м. Осадка не превышала 70—80 см. Рейковое парусное вооружение сохранилось почти таким же, каким оно было на «Кэмилло».

Как и при постройке первого катамарана, Бинтон вначале предполагал сделать на «Кэмилло Ваква» гибкое поперечное крепление. Однако он вскоре отказался от этой мысли после того, как стало очевидным, что подлапки, имеющие значительный объем, не могут являться приемной жесткой реакцией судна на волнении. Основой, на которой он закрепил брусья поперечной связи, послужили большие треугольные кинки, установленные по бортам основного корпуса выше ватерлинии. Такая конструкция, конечно, не могла не отразиться на мореходных качествах тримарана, особенно на волнении, когда кинки, погружаясь в воду, создавали дополнительный источник сопротивления. Однако, не имея более прочных материалов, чем дерево, Бинтон не мог исправить этот недостаток.

Подлапка при полноразмерном судне на ровной или скользкой поверхности воды. На тихой воде, таким образом, тримаран двигался как обычное судно. При боковом ветре, когда тримаран получал небольшой крен, один из подлапков погружался в воду, а другой поднимался над ее поверхностью, в сумме оба они создавали необходимый восстанавливающий момент. В то же время судно не имело избыточной вальной остойчивости,

характерной для «Камлоа» и, особенно, для тяжелых стальных катамаранов. Благодаря этому «Камлоа Вакса» не испытывала той порывистой качки, которая является одним из недостатков тяжелых катамаранов.

Таким образом, в этом отношении замысел Бинсона вполне оправдался. Этого нельзя сказать по поводу быстроты судна. Правда, по свидетельству самого Бинсона, на рейде в Лисабоне его тримаран легко оставал позади обычных парусных яхт. Однако более точных данных по этот счет не имеется, а анализировать возможности «Камлоа Вакса», не зная, убедиться, что показатели выдающиеся результаты по скорости хода это судно не могло.

Действительно, в связи с несравнительным объемом подводной максимальной восстанавливающей момент, который обеспечивался им при крепе в В—10°, был много меньше, чем у катамарана тех же размеров. В то же время «Камлоа Вакса», как и любое многокорпусное судно, подвергался опасности опрокидывания при крепе, превышающем 10°, поэтому установка паруса большой площади на нем была невозможна. Следовательно, скорость хода «Камлоа Вакса» ограничивалась в большой мере, чем у катамаранов.

Полной противоположностью «Камлоа Вакса» по конструкции является построенный позднее его тримаран «Аванда». Размеры основного корпуса обоих судов были примерно одинаковыми, однако поплавок «Аванды» имел значительно больший объем. На курсах по отношению к волне курса удар волны воспринимался последовательно сначала одним поплавком, потом основным корпусом и вторым поплавком. Конструкция имела жесткую связь, поэтому каждый удар встряхивал все судно, а вследствие того, что поплавок имел большой вес и располагался на значительном расстоянии от борта основного корпуса, сила этих ударов была весьма значительной. В результате судно имело исключительно порывистую качку, которая делала условия плавания невыносимыми для экипажа. Тяжелые поправки ухудшали и маневренность судна.

Единственным достоинством тримарана «Аванда» была почти невзрывчатая прочность его конструкции, которая позволяла избежать переделки судна во время плавания в Средиземном море и через Атлантический океан.

Сравнение рассмотренных конструкций тримаранов дает основание сделать вывод, что этот тип многокорпусного судна является мореходным и может быть с успехом использован для крейсерского плавания, если не стремиться к достижению повышенной остойчивости за счет увеличения объема поплавка.

По скорости хода крейсерские тримараны, по-видимому, не имеют никаких преимуществ перед катамаранами и даже уступают им, во крайней мере в настоящее время.

Спортивные катамараны. Как спортивные суда катамараны получили развитие в конце 40-х годов. Одним из любопытнейших двухкорпусных судов был построенный в то время в Барселоне катамаран «Патри в Вела», что в переводе означает «парусные кошки». Конструкция кошек была совершенно отличной от катамарана Херрестефа — единственной общей чертой для этих судов было полное отсутствие удобств для экипажа.

«Патри в Вела» имел длину 5,55 м при общей ширине 1,24 м. Отношение длины к ширине у этого катамарана было больше, чем у известных швертботов и равнялось 4,4. Казалось бы, такая конструкция двухкорпусного судна лишала его видных преимуществ перед обычными однокорпусными парусником. Между тем «Патри в Вела» по своим ходовым качествам оказался значительно лучше тонких швертботов.

За счет чего достигалось это превосходство? Чтобы ответить на этот вопрос, рассмотрим условия плавания швертбота и катамарана, имеющих одинаковые отношения длины к ширине и вес.

У однокорпусного судна при посадке на ровный зиле центр тяжести и центр приложения сил поддержания (центр асимметрии) располагаются в диаметральной плоскости. При небольшом крепе даче восстанавливающего момента в этом случае мал, а следовательно, невелик и сам восстанавливающий момент.

У катамарана силы поддержания приложены в точках, расположенных в диаметральной плоскости каждого корпуса. При горизонтальном положении судна эти силы уравновешивают силу тяжести, которая может быть разложена на две составляющие, также приложенные в соответствующих точках каждого корпуса. Малейший крен катамарана приводит к появлению значительного восстанавливающего момента, который обеспечивает судну большую начальную остойчивость.

Выше рассматривалось, к каким результатам приводит наличие избыточной начальной остойчивости у больших крейсерских катамаранов. Эти соображения в равной мере относятся и к тонким двухкорпусным судам. Однако для последних такие недостатки, как порывистая качка, имеют второстепенное значение по сравнению с возможностью лучшего использования парусности и, следовательно, увеличении скорости хода, которая обеспечивается большой начальной остойчивостью. Катамаран даже в сильный ветер почти всегда идет на ровном зиле, более эффективно используя парус и корпус.

Самым серьезным недостатком легкого катамарана является больнее, чем для швертбота, опасность опрокидывания при Мондиш углах крена, соответствующих максимальному восстанавливающему моменту. Однако достаточно квалифицированное управление катамараном может свести эту опасность до

минимум, а связанный с этим риск (в общем сравнительно небольшой, если учесть, что гоноки проводятся на ограниченной акватории) только увеличивает интерес спортивной борьбы.

Таким образом, спортивные катамараны, в отличие от крейсеров, в большей мере способны опροизводяться. Основным их достоинством является высокая скорость хода, которая может быть достигнута, если экипаж имеет достаточно хорошую подготовку.

Удачную конструкцию имеют спортивные катамараны одного из наиболее распространенных в Западной Европе типов — «Шприватер». Общий вид и чертежи этого катамарана, спроектированного английским Р. Фрутом, приведены в конце книги.

По соотношению основных размеров «Шприватер» ($\frac{L_{\text{вн}}}{B_{\text{вн}}} = 2,2$) близок к швертботу «50б» ($\frac{L_{\text{вн}}}{B_{\text{вн}}} = 2,65$). Вместе с тем он обладает значительно большей остойчивостью, которая и обеспечивает ему высокую скорость хода.

На дистанции в 1 милю на «Шприватере» была получена скорость хода 20 узл. На парусных соревнованиях, проводившихся в 1958 г., катамараны типа «Шприватер» оставили далеко позади швертботы «50б». «Шприватер» успешно используется для буксировки водных лыжников.

Недостатками катамаранов типа «Шприватер» являются их ограниченная маневренность и невысокая скорость хода в слабый ветер, что объясняется большей по сравнению со швертботами площадью смоченной поверхности.

Примерами удачных конструкций спортивных двухкорпусных парусных судов могут также служить «Оселот», спроектированный американцем Дж. Гаррисоном, и английский катамаран «Бил Кат», спроектированный Уффа Фоксом (чертежи этих судов помещены в последней главе). Первый из этих катамаранов отличается большей остойчивостью, чем «Шприватер», и на свежем ветре имеет лучшую скорость хода.

Второй катамаран также дает хорошие результаты при свежем ветре. Крупным его достоинством является также возможность обхода, значительно упрощающая постройку.

Несколько слов о спортивных тримаранах (рис. 3). Эти суда получили меньше распространение, чем двухкорпусные парусники, и в настоящее время нет тримарана, который бы пользовался такой же известностью, как, например, «Шприватер».

Между тем по скорости хода (этому наиболее важному показателю спортивного судна) спортивные тримараны не только не уступают катамаранам, но и в отдельных случаях превосходят их.

Одним из первых удачных спортивных трехкорпусных парусников был создан известным американским конструктором яхт В. Чече. Его тримаран имел два поплавка с плоским днищем,

которые на ходу скользили по поверхности воды. Такая конструкция обеспечивала судну большую остойчивость без значительного увеличения сопротивления воды. Однако ввиду заметной, что тримаран с глиссирующими поплавками является судном, рассчитанным на плавание только в закрытой акватории, так как на волнении поплавок зарываючись в воду и тормозит движение судна. Для обеспечения устойчивости на курсе Чече придал поплавкам ассиметричную форму.

В сильный ветер Чече на своем тримаране получал скорость хода до 20 узл., но это было, по-видимому, пределом.

Значительным усовершенствованием конструкции спортивного тримарана явилось применение вместо глиссирующего поплавка системы из нескольких крыловидных профилей, наклоненных под углом 45° к диаметральной плоскости судна и составленных в виде этажерки, т. е. своего рода подводных крыльев. Такая система явила меньшее, чем сплошной поплавок, сопротивление и за счет большей подъемной силы, создаваемой подводными крыльками, обеспечивала тримарану хорошую остойчивость и на волнении.

Можно предположить, что именно эта конструкция поплавков послужила основой для создания парусного судна из подводных крыльев. Такое судно, построенное американским конструктором Бейкером, развилло скорость хода 30 узл. Судно Бейкера имело систему из двух бортовых крыльев в виде этажерки и одного кормового крыла. Наклон крыльев под углом 45° к диаметральной плоскости корпуса яхты обеспечивал сохранение остойчивости при крене и постоянное нарастание подъемной силы при погружении, т. е. при уменьшении скорости хода.

Следует, однако, отметить, что яхта на подводных крыльках Бейкера имеет весьма низкие морские качества и,

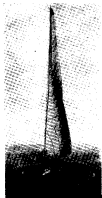


Рис. 3. Тримаран конструкции Э. Маннера.

очевидно, конструкция таких парусных судов нуждается в значительных усовершенствованиях.

В заключение остается упомянуть еще об одном типе спортивного многокорпусного парусного судна, и сожалеем, почти забытого в настоящее время, — лодка с дутригером. Постройка такой лодки вполне доступна для любителей водной спорты, а по скорости хода она не уступает катамаранам.

ГЛАВА II

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ДВУХКОРПУСНЫХ СУДОВ

Движение судов под парусами

Прежде чем перейти к довольно сложным вопросам проектирования катамарана, напомним основные законы движения парусного судна.

Яхты могут ходить не только с подутым ветром, но и под острым углом к его направлению. Рассмотрим взаимодействие сил, действующих на яхту, которая идет из пункта A в пункт C , расположенный от нее «на ветре» (рис. 4). Так как поток ветра парусное судно или не может, рулевой ведет его в лавировку. Угол между направлением истинного ветра V и диаметральной плоскостью (ДП) определяет курс яхты относительно ветра.

С точки зрения современной аэродинамики парус яхты можно рассматривать как анкационный профиль или крыло самолета, поставленное вертикально. Поток воздуха, обтекающий это крыло, создает аэродинамические силы, равнодействующая которых P приложена в центре давления ветра на парус (ЦД). Она направлена почти перпендикулярно к хорде паруса ae .

Равнодействующую силу P можно разложить на две взаимно-перпендикулярные составляющие, из которых одна T_1 направлена вдоль ДП яхты, а другая D_1 — поперек корпуса яхты. Составляющая T_1 называется силой тяги, или просто тягой паруса, — она вызывает движение яхты в направлении ДП. Вторая составляющая D_1 называется силой дрейфа. Она вызывает боковой снос яхты — дрейф. Поэтому яхта движется не в плоскости ДП, а под некоторым углом к ней, по направлению AB . Угол δ между направлением движения яхты и ДП называется углом дрейфа.

Корпус яхты в этом случае можно также рассматривать как вертикальное анкационное крыло малого удлинения. На это крыло со стороны воды будут действовать гидродинамические силы давления, равнодействующая которых R (рис. 5)

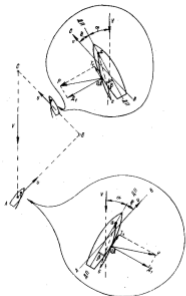


Рис. 4. Смена таваровки яхты против ветра.

приложена в центре сопротивления (ЦС). Сила R может быть также разложена на две взаимно-перпендикулярные составляющие: R_{\parallel} и R_{\perp} . Составляющая R_{\parallel} направлена противоположно движению яхты и называется лобовым сопротивлением. Сила R_{\perp} перпендикулярна направлению движения. Она называется поперечной, или поперечной, силой. Условимся в дальнейшем называть ее поперечной силой корпуса. Для данного случая давление ветра P на паруса целесообразнее раскладывать по направлению движения яхты T и перпендикулярному D . При движении яхты сила паруса T преодолевает силу лобового сопротивления по направлению AB . Сила D компенсируется поперечной силой корпуса R_{\perp} . Сила R_{\parallel} во много раз больше лобового сопротивления яхты R_{\parallel} . Поэтому яхта движется вперед быстрее, чем в сторону, и угол дрейфа δ оказывается малым.

Таким образом, под действием силы T яхта движется под острым углом к ветру в направлении AB . Достигнув точки B , яхта сделает поворот и пойдет в направлении BC (см. рис. 4). При этом сущность рассмотренных явлений не изменится. Ветер в этом случае будет дуть с правого борта, а паруса будут находиться на левом борту. Отрезок AB яхты шлю левым галсом, а отрезок BC — правым.

Чтобы правильно оценить все факторы, связанные с движением парусных судов, необходимо рассмотреть влияние скорости хода на отклонение наблюдаемого с яхты ветра.

В самом деле, пусть истинный ветер, скорость которого изменится относительно неподвижных предметов, дует под углом α к направлению ДП яхты (рис. 5). Кроме истинного ветра, яхта испытывает действие встречного потока воздуха. Создается, как принято говорить, курсовой ветер, скорость которого по величине равна скорости хода яхты v , а по направлению противоположна ей. Истинный V и курсовой v ветры складываются геометрически, образуя поток воздуха, движущийся относительно яхты со скоростью W . Этот ветер

Рис. 5. Сумма сил, действующих на корпус яхты и паруса.

называется вымпельным, потому что его направление указывается вымпелом, установленным на яхте. От его скорости W и направления θ зависит движение на парус.

На рис. 6 показаны треугольники скоростей яхты при различных направлениях истинного ветра. Если яхта идет острым курсом — в байдевинд (рис. 6, а слева) и гамфанд (рис. 6, а по середине), то вымпельный ветер больше истинного, на курсе бакштаг (рис. 6, а справа) — меньше. При чистом кормовом ветре, т. е. на курсе фордевинд, вымпельный ветер равен раз-

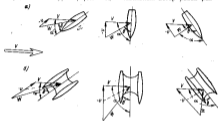


Рис. 6. Треугольники скоростей при различных направлениях истинного ветра: а — однокорпусной яхты; б — катamarана.

ности истинного и курсового и достигает минимальной величины.

Из сказанного можно сделать следующие выводы:

- работа парусов яхты определяется не истинным, а вымпельным ветром;
- вымпельный ветер дует всегда под более острым углом к ДП яхты (дан, как говорит, круче), чем истинный;
- скорость вымпельного ветра на острых курсах всегда больше, а на полных курсах всегда меньше скорости истинного.

Силы, которые действуют на однокорпусную яхту, оказывают такое же действие и на катamarаны. Однако в результате более высокой скорости хода соотношение сторон треугольника скоростей катamarана имеет несколько иной характер, чем у обычных яхт (рис. 6, б):

- вымпельный ветер, действующий на паруса катamarана, всегда дует под более острым углом, чем у однокорпусной яхты; в результате многокорпусные суда обычно ходят курсом байдевинд по отношению к вымпельному ветру;

— скорость вымпельного ветра, действующего на паруса катamarана как на острых, так и на полных курсах, больше, чем скорость истинного (вreme курса, близких к фордевинду).

Искусство проектирования и расчета сводится к получению наиболее выгодных соотношений между действующими на судно силами. Это можно сделать двумя путями: создавая эффективное парусное вооружение, которое дает большую силу тяги T и малую силу дрейфа D , и проектируя корпус, уменьшая влияние лобового сопротивления R_x и большую поперечную силу R_y .

Основы аэродинамики паруса

Представим себе парус в виде жесткой изогнутой пластинки, помещенной в поток воздуха, забивающий на нее со скоростью W под углом атаки α (рис. 7). Частицы воздуха, обтекающие пластинку сверху, проходят более длинный путь, чем снизу. Над пластинкой воздух разрежается, скорость его выше, чем перед крылом, давление понижается. Под пластинкой происходит возмущающие струи воздуха, его удлинение, давление повышается.

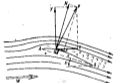


Рис. 7. Сила тяги, действующая на парус.

Повышенное давление воздуха у нижней стороны пластинки и пониженное над ней создают суммарную силу N , которую принято называть силой давления воздуха на пластинку. Сила N действует перпендикулярно к плоскости AB и направлена вверх.

При обтекании пластинки струйки воздуха задевают за мельчайшие шероховатости на ее поверхности, трутся между собой, скорость их падает. При этом возникают небольшие усилия, которые, суммируясь, создают силу трения F . Сила трения F направлена вдоль поверхности пластинки.

Равнодействующая P сил N и F называется полным давлением воздуха на пластинку. Она немного отклоняется от направления силы N в сторону движения потока. Угол отклонения равнодействующей P невелик, потому что сила трения F значительно меньше величины вертикального давления N .

Наибольшую долю сил, действующих на парус, создает разрежение на подветренной стороне паруса. При угле атаки $\alpha = 10 - 15^\circ$ разрежение на подветренной стороне составляет 75—80% общего давления на парус, т. е. в 3—4 раза больше, чем

повышение давления на наветренной стороне. Наибольшую долю общего давления создает передняя (ближайшая к мачте) часть паруса, равная примерно трети его ширины.

При изучении аэродинамики паруса принято раскладывать равнодействующую давления ветра P на две силы Y и X , соразмеренные по движению воздушного потока (рис. 7).

Сила X , направленная в сторону движения набегающего потока, называется лобовым сопротивлением паруса, а сила Y , направленная перпендикулярно потоку, — подъемной силой паруса. Исследуя давление воздуха на пластинку, поставленную под углом, Ньютон нашел, что давление растет пропорционально площади пластинки, плотности воздуха, квадрату скорости потока и зависит от угла атаки. Следовательно, силы X и Y мы можем выразить следующими формулами, основанными на законе Ньютона:

лобовое сопротивление паруса

$$X = C_x \frac{\rho L}{2} S W^2 \text{ кг}; \quad (1)$$

подъемная сила паруса

$$Y = C_y \frac{\rho L}{2} S W^2 \text{ кг}, \quad (2)$$

где ρL — плотность воздуха, кг см³/м³;
 S — площадь пластинки, м²;
 W — скорость набегающего ветра, м/сек;
 C_x и C_y — соответственно коэффициенты лобового сопротивления и подъемной силы, зависящие от формы паруса и его угла атаки α .

Графическое изображение зависимости коэффициентов C_x и C_y от угла атаки называется поларой.

На рис. 8 изображена полара паруса яхты. По горизонтальной оси отложены значения коэффициента C_x , по вертикальной — C_y , а на самой кривой нанесены точки, соответствующие различным углам атаки α .

По поларе можно проследить изменение лобового сопротивления и подъемной силы паруса в зависимости от угла атаки. Имея полары различных парусов, можно сравнивать их, выбирать наиболее выгодную форму парусов и рассчитывать величину подъемной силы и лобового сопротивления.

Отношение коэффициента подъемной силы C_y к коэффициенту лобового сопротивления C_x называется качеством паруса K :

$$K = \frac{C_y}{C_x}.$$

Чем выше значение K , тем лучше работает парус, тем выше скорость яхты. Для рассмотренного нами паруса (рис. 8) при $\alpha = 20^\circ$ качество паруса $K = \frac{1,17}{0,32} = 3,7$.

Как уже говорилось в предыдущем разделе, при изучении движения судов под парусами удобно раскладывать равнодействующую давления ветра P на силу тяги T и силу дрейфа D

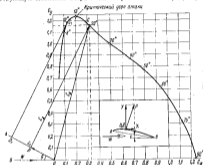


Рис. 8. Полара паруса яхты.

(см. рис. 5). Эти силы также могут быть выражены формулами, основанными на законе Ньютона:

$$T = C_t \frac{\rho L}{2} S W^2; \quad (3)$$

$$D = C_d \frac{\rho L}{2} S W^2, \quad (4)$$

где C_t и C_d — коэффициенты тяги и дрейфа, зависящие от формы паруса и его угла атаки.

Коэффициенты тяги и дрейфа можно определить на поларе паруса, зная угол установки паруса β (см. рис. 5) и курс яхты θ по отношению к набегающему ветру.

Если яхта идет курсом θ и паруса ее установлены под углом β к ДП, то угол атаки

$$\alpha = \theta - \beta. \quad (5)$$

Пусть вымышленный ветер Φ направлен по линии BO (см. рис. 8). Проведем из точки O ползари луч OA под углом, равным θ . Луч OA будет представлять направление движения яхты. Возьмем на ползаре угол ϵ (Точка C), равный углу атаки паруса. Соединим точку O с точкой C , получим отрезок OC , который равен коэффициенту полного давления ветра на паруса C_p . Отрезок OC совпадает с направлением равнодействующей P . Опустим из точки C на луч OA перпендикуляр CD . Получим отрезок OD , который в масштабе ползари будет равен коэффициенту тяги C_t , и отрезок CD , равный коэффициенту дрейфа C_d .

Ползари парусов позволяет определить невыгоднейший угол установки паруса. Рулевой всегда стремится установить паруса самым выгодным способом, т. е. так, чтобы сила тяги T была наибольшей. Из рассмотрения рис. 8 можно заключить, что значение C_t будет наибольшим в том случае, когда прямая D_1C_1 , перпендикулярная лучу OA , будет в то же время касательной к кривой углов атаки. Угол атаки $\epsilon = 10^\circ$, определенным точкой касания C_1 , будет невыгоднейшим. Соответствующий ему угол установки паруса β можно найти по формуле (5).

Проведя аналогичное построение для различных значений курсовых углов θ , можно найти невыгоднейшие углы установки паруса и соответствующие им углы атаки. При этом легко убедиться, что хотя при всех острых углах и вплоть до курса бакштаг невыгоднейшие углы атаки очень близки. Для большинства парусов они лежат в районе критических углов атаки в районе $12-16^\circ$.

Тата паруса, а значит и скорость хода яхты в значительной степени зависят от подъемной силы и лобового сопротивления паруса.

На всех курсах, кроме чистого фордевинда, выгоднее иметь большую подъемную силу и меньшее лобовое сопротивление паруса. Это правило имеет особенно большое значение для катамаранов, которые ходят преимущественно острыми курсами по отношению к вымышленному ветру.

Как же можно увеличить подъемную силу и снизить лобовое сопротивление паруса?

Аэродинамические исследования изогнутых пластинки и моделей парусов показали, что подъемная сила паруса во многом зависит от отношения его сторон. В аэродинамике самолета отношения сторон называют удлинением крыла и обозначают буквой λ . Для парусов, имеющих сложную форму в плане, удлинение λ принято находить по формуле

$$\lambda = \frac{l_0^2}{S},$$

т. е. l_0 — длина передней кромки паруса;
 S — площадь паруса.

Для прямоугольного паруса аэродинамическое удлинение равно отношению высоты к ширине; для треугольных бермудских парусов с малым горбом за задней шкаторине удлинение приблизительно равно удлинению относительно высоты паруса к его ширине по гаку.

Исследования показали, что при острых курсах более выгодно узкие и длинные паруса, а при полных курсах — широкие и широкие. Как видно на рис. 9, паруса с большим удлинением выгоднее при курсе бедвинд ($\theta < 90^\circ$), и следовательно, они наиболее подходят для катамаранов, которые, как уже указывалось, ходят преимущественно острыми курсами. Однако с возрастанием удлинения паруса перемещается вверх и центр давления ветра, а это приводит к увеличению угла крена.

Обычно при проектировании парусов находят компромиссное решение и выбирают паруса, которые обеспечивают бы достаточную кривизну тентовые качества и небольшой угол крена. Удлинение парусов современных катамаранов равно 3,0—6,0. У гота удлинение составляет в среднем 3—4,5, у стэнсела удлинения немного больше — 3,5—6. Выбирать удлинение, превышающее эти величины, целесообразно.

Аэродинамические исследования показали, что давление ветра на изогнутый парус выше, чем давление на плоский. Величину просиби паруса f называют «пузом» и определяют в процентах по отношению к хорде паруса b (рис. 10), т. е. пузо паруса в процентах равно $\frac{f}{b} \cdot 100\%$.

Чем больше стрелка прогиба f , тем больше подъемная сила паруса.

Однако паруса с большим пузом имеют и более высокое лобовое сопротивление. Кроме того, при увеличении подъемной

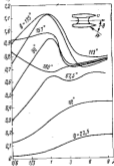


Рис. 9. Зависимость коэффициента тяги C_t от удлинения паруса λ при разных курсовых углах θ .

силы растет не только тяга паруса, но и сила дрейфа. Значит парус с большим пузом создает не только большую тягу, но и значительный дрейф. Поэтому пузо парусов ограничивают в пределах 7—13%.

В слабый ветер, когда кренящий момент небольшой, применяют более пузатые паруса, в сильный ветер стремятся использовать плоские. К этому надо добавить, что парус с большим

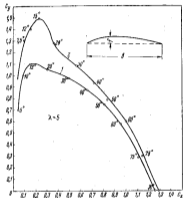


Рис. 10. Зависимость пуза от эквивалентной площади паруса.
λ — отношение S_p к S ; δ — пузо в %.

пузом начинает «выполаскивать» раньше плоского. Значит ихта с плоскими парусами может ходить более круго, чем с пузатыми. Следовательно, на катамаранах можно применять менее пузатые паруса или устанавливать так называемые «скользящие латы», придающие парусу жесткость.

На величину подъемной силы паруса до некоторой степени влияет также его форма. Лучшей формой паруса является эллиптическая или приближающаяся к ней трапециевидная со скругленными углами (типа крыла самолета). Однако изгото-

вление таких парусов в рангоута и управление ими довольно сложная задача, поэтому в настоящее время получили распространение бермудские паруса, дающие несколько большую тягу, чем гафельные.

Силу тяги можно также повысить, уменьшив сопротивление паруса.

Лобовое сопротивление паруса прямо пропорционально силе трения воздуха о парус, поэтому следует использовать гладкие

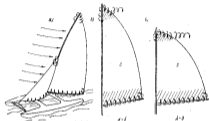


Рис. 11. Перегибание воздуха на концах паруса, вызываемое жесткостью сечений.

плотные ткани. Очень хорошие результаты дает применение для парусов синтетических тканей — нейлона, дакрола, лавсана.

Лобовое сопротивление зависит также от формы сечений паруса; оно повышается с увеличением пуза. Наилучшие сопротивления формы имеют жесткие паруса, у которых сечения выполняются в виде эллиптических профилей. Совокупность сопротивлений трения и формы принято называть профилем сопротивлением. Профильное сопротивление в значительной мере зависит также от вихреобразовательных процессов, возникающих при обтекании паруса потоком воздуха и увеличивающихся с возрастанием угла атаки.

На углах атаки, близких к критическому, основную долю лобового сопротивления составляет так называемое индуктивное сопротивление. Его создают вихри, возникающие на концах парусов вследствие перегибания воздуха из зон повышенного давления в зоны разрежения в нижней и верхней частях паруса (рис. 11, а).

Индуктивное сопротивление у длинных парусов меньше, чем у коротких. Как видно из рис. 11, у равных по площади, но различных по форме парусов (б и в) количество воздуха, перетекающего из наветренной части в подветренную, неодинаково. Оно больше у парусов с большей длиной нижней и верхней ярок (парус в), потому парус в будет иметь более высокое индуктивное сопротивление. При увеличении удлинения с 3 до 5 лобовое сопротивление паруса при углах атаки, близких к критическому, снижается в 1,4—1,5 раза. На острых курсах это приводит к существенному росту тяги паруса.

Отсюда видно, какое большое значение имеет удлинение парусов для катамаранов, паруса которых в основном работают в зоне критических углов атаки.

До сих пор мы рассматривали только аэродинамические силы, действующие на парус. В действительности на силу тяги и дрейфа оказывают влияние аэродинамические качества яхты в целом.

Лобовое сопротивление водной части яхты снижает силу тяги парусов и увеличивает силу дрейфа. Помимо этого, чем больше аэродинамическое сопротивление яхты, тем меньше круто к ветру она может ходить. Поэтому на катамаранах стремятся всемерно снижать лобовое сопротивление корпуса, рангоута и такелажа. Следует заметить, что два корпуса катамарана и связывающий их поперечный мостик создают сопротивление ветру значительно большее, чем однокорпусные яхты. Чтобы уменьшить это сопротивление, на катамаранах применяют обтекаемые формы палубных надстроек и обтекаемые мостики.

Рангоут и такелаж яхты не только увеличивают лобовое сопротивление, но и снижают подъемную силу паруса (рис. 12, в). Возникает влияние различных деталей рангоута и парусов принято называть интерференцией. Снижение подъемной силы паруса из-за влияния мачты, гика и других деталей — пример вредной интерференции. Почему происходит снижение подъемной силы паруса? Если мачта имеет круглую форму (рис. 12, б) и к тому же стоит неудачно, то при обтекании потоком воздуха на ее подветренной стороне образуются вихри. Появление этих вихрей сильно ухудшает работу паруса, снижает его подъемную силу.

Для того чтобы уменьшить вихреобразование, применяют обтекаемые устанавливающиеся по ветру мачты (рис. 12, в). Гонимые катамараны часто имеют поворотные мачты обтекаемого сечения.

Лучше всего работает парус без рангоута на передней кромке (например, стаксель). Паруса на рис. 12, а позволяют оценить вредное влияние рангоута на работу паруса. Тяга паруса падает из-за этого на 15—30%.

В качестве примера полезной интерференции нередко приводится взаимное влияние грота и стакселя. Считается, что стаксель, создавая узкую шель на подветренной части грота, играет роль предкрылка у крыла самолета. Водух, проходя через эту шель, будет через сопло, увеличивает скорость своего

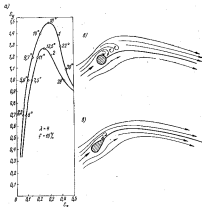


Рис. 12. Вредная интерференция рангоута и парусов: а — паруси паруса с рангоутом (грот) — кривые C_p и C_x без рангоута (стаксель) — кривые C_p ; б — законченный у мачты круглого сечения; в — обтекание законченной мачты эллиптического сечения.

движения. При этом струи воздуха как бы «сдувают» вихри с передней части паруса, повышая его подъемную силу. Кроме того, в результате повышения скорости разрежение на подветренной стороне паруса растет, что также приводит к росту подъемной силы. Исходя из этих предпосылок, рекомендовалось применять высокие и широкие стаксели с большим «заходом» за мачту.

Однако опыты, проведенные в 1938 и 1948 гг. на яхтах, не подтвердили выводов о полезном действии «шелевого эффекта». На испытании яхт с разными парусами одинаковой площади (рис. 13) самой быстролодной оказалась та, у которой стаксель не имел никакого захвата, а следовательно, не было и шелевого эффекта. Еще большую скорость хода показали яхта, вооруженная только одним стакселем.

Коэффициент тяги стакселя при курсе $\theta = 30^\circ$ на 30% выше, чем у грота, а при курсе $\theta = 75^\circ$ — на 17%. По этой причине рекомендуется делать стаксель возможно большим по площади



Рис. 13. Различные способы распределения нагрузки корпусности.

за счет удлинения его передней шкаторины почти до tops мачты. На современных катамаранах площадь стакселя составляет 30—40% общей парусности.

Аэродинамические силы парусов рассматриваются в предположении, что скорость ветра постоянна на любой высоте над уровнем моря. В действительности движение потока воздуха тормозится трением, поэтому скорость ветра понижается с уменьшением высоты над уровнем моря.

В метеорологии скорость ветра принято измерять на высоте 2 м над уровнем моря. Для определения скорости ветра измеряют его силу в баллах. Каждой силе ветра соответствует определенная скорость. Эту скорость ветра мы будем называть табличной и обозначать V_0 . Значения табличных скоростей, соответствующих различным силам ветра при измерении на высоте 2 м, даны в табл. 1.

Скорость истинного ветра на любой высоте может быть выражена формулой

$$V = kV_0, \quad (6)$$

где k — коэффициент;

V_0 — скорость истинного ветра на стандартной высоте измерения $h_0 = 2$ м.

Шкала скорости ветра

Сила ветра в баллах	Словесное обозначение	Предел скорости, м/сек	Средняя скорость	
			м/сек	узл.
0	Штиль	0,0—0,5	0	0
1	Тихий ветер	0,6—1,7	1,2	2,6
2	Легкий >	1,8—5,3	2,5	5,0
3	Слабый >	5,4—5,2	4,5	8,0
4	Умеренный ветер	5,3—7,4	6,0	11,0
5	Средний ветер	7,5—9,8	8,5	17,0
6	Сильный >	9,9—12,4	11,0	22,0
7	Крепкий >	12,5—15,2	14,0	27,0
8	Очень крепкий ветер	15,3—18,2	17,0	32,0
9	Шторм	18,3—21,5	20,0	39,0
10	Сильный шторм	21,6—25,1	25,0	45,0
11	Жесткий >	25,2—29,0	27,0	53,0
12	Ураган	Более 29,0	Более 29,0	Более 57,0

Примечание. Значения скорости приведены для высоты 2 м над уровнем моря. Скорость ветра на высоте h может быть приблизительно вычислена по формуле:

$$V = V_0 \sqrt{\frac{h}{2}}$$

где V_0 — табличное значение скорости ветра.

Значение скорости W на любой высоте находят путем построения треугольника скоростей по переменной скорости истинного ветра V и скорости хода яхты v (рис. 14).

Коэффициенты k определяют по графику, приведенному на рис. 14.

Очевидно, чем выше парусность яхты, тем больше давление ветра на ее паруса. Большое значение при этом имеет верхняя часть паруса, где скорость ветра в 1,5—2 раза больше, чем внизу. Изменение скорости ветра по высоте приводит к изменению сил тяги и дрейфа по сравнению с теми значениями, которые получают при продувке в аэродинамической трубе с одинаковой скоростью ветра.

На силы тяги и дрейфа оказывает влияние также крен яхты. Прежде всего уменьшается высота парусов над уровнем моря, что приводит к уменьшению давления ветра на паруса. При крене уменьшается и угол атаки паруса α , что также снижает давление ветра. Следовательно, крен яхты ухудшает аэродинамические характеристики паруса и снижает скорость хода яхты.

Для катамаранов, как это будет показано ниже, нормальный угол крена редко превышает $8-10^\circ$, поэтому вредное влияние крена на работу паруса здесь можно не принимать во внимание.

После того, как мы познакомились с аэродинамикой парусов и яхты, перейдем к расчету сил тяги и дрейфа, создаваемых парусами.

Если известен курсовой угол движения катамарана ψ и скорость выветленного ветра W_c , расчет силы тяги и дрейфа не вызывает трудностей.

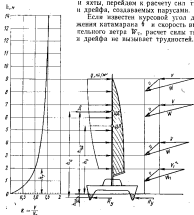


Рис. 14. Изменение скорости ветра в зависимости от высоты над уровнем моря.

Сила тяги парусов T рассчитывается по формуле

$$T = C_{x, \sigma} \frac{\rho}{2} S_{\sigma} W_c^2 m_{\sigma} + C_{x, \tau} \frac{\rho}{2} S_{\tau} W_c^2 m_{\tau} \quad (7)$$

в которой первое слагаемое относится к стакселю, а второе — к гроту.

Аналогично находится сила дрейфа парусов D :

$$D = C_{y, \sigma} \frac{\rho}{2} S_{\sigma} W_c^2 m_{\sigma} + C_{y, \tau} \frac{\rho}{2} S_{\tau} W_c^2 m_{\tau} \quad (8)$$

Коэффициенты C_x и C_y находят по диаграмме парусов описанным выше способом. Угол атаки парусов следует брать наименьшим.

При приближенных расчетах можно пользоваться полярной I для стакселя и полярной Z для бермудского грота с мачтой (см. рис. 12).

Коэффициент m учитывает влияние изменения скорости ветра по высоте паруса. Для обычного стакселя $m_{\sigma} = 1-1,0$ для грота $m_{\tau} = 1,1-1,2$.

Площади стакселя S_{σ} и грота S_{τ} находят по чертежу парусности катамарана.

Кренящий момент ветра

Под действием силы дрейфа D , приложенной в центре давления ЦД (рис. 14), катамаран, как и любой яхта, получает крен. Для определения угла крена ϕ необходимо знать кренящий момент, создаваемый ветром.

Если бы скорость ветра W была постоянной по высоте и давление ветра равномерно распределялось по поверхности паруса, то найти положение центра давления было бы довольно легко. В этом случае он совпадал бы с центром парусности, а для нахождения центра парусности достаточно графически найти центр площади парусов, полагая их плоскими. Например, для простого треугольного паруса центр парусности ЦП расположен в точке пересечения его медиан, т. е. на расстоянии $1/3$ от нижней кромки паруса. Однако фактическое положение центра давления не совпадает с геометрическим центром парусности, потому что распределение давления по высоте паруса неравномерно.

Расчеты показывают, что фактический центр давления оказывается на $10-30\%$ выше, чем геометрический ЦП, т. е. $A_{ЦД} > A_0$ (рис. 14).

Кренящий момент ветра

$$M_{\text{вд}} = \sum D h_{\text{ЦД}} \quad (9)$$

где $h_{\text{ЦД}} = A_{\text{ЦП}} + h_{\text{ЦД}}$ (рис. 14).

Знаком Σ обозначена сумма произведений силы дрейфа D каждого паруса на соответствующее плечо $h_{\text{ЦД}}$.

Величина $h_{\text{ЦД}}$ найдена нами выше, а определение величин $A_{\text{ЦД}}$ будет рассмотрено в разделе об остойчивости.

Строго говоря, кренящий момент ветра $M_{\text{вд}}$ зависит от угла крена, поскольку угол атаки паруса уменьшается с ростом крена и сила D падает, но при углах крена $\phi < 15^\circ$ это влияние можно не учитывать (ошибка не превысит 5%). Поскольку ходовые углы кренов для катамаранов не превышают $10-15^\circ$, формула (9) дает практически точные результаты.

Типы парусного вооружения

В нескольких словах охарактеризуем парусное вооружение катамаранов и покажем на примерах, как реализуются на практике различные рекомендации теории паруса.

На современных катамаранах в большинстве случаев применяется вооружение, называемое шлювом. Оно состоит из переднего паруса — стакселя и заднего — грота. В некоторых случаях устанавливают более простое парусное вооружение, состоящее только из одного паруса (кат, латинское и т. п.). На больших океанских катамаранах применяют двухмачтовое парусное вооружение типа мод, состоящее из стакселя, грота и бизани.

Расследование общей парусности на нескольких полотнох позволяет уменьшить высоту и диаметр мачты. При этом уменьшается вредное влияние мачты на парус, понижается центр тяжести катамарана и центр давления ветра, что приводит к уменьшению крена. Кроме того, облегчается управление парусами в сильный ветер и в штормовую погоду.

Некоторые конструкторы рекомендуют устанавливать по одной мачте на корпус из корнусов (см. чертежи катамарана «Э66 вид Флю» в приложении). При этом создается два параллельных парусных вооружения. Такая конструкция имеет все преимущества двухмачтового парусного вооружения. Помимо этого, упрощается расчалка мачт, так как уменьшается количество вант. Параллельное парусное вооружение облегчает также управление катамараном при поворотах.

Часто высказывается суждение, что параллельное парусное вооружение невыгодно, поскольку навстречный парус частично закрывает подветренный и уменьшает его тягу. Действительно, из относительно тихого ходом зрейсерком катамаране за курсе бакштаг навстречные паруса создают ветровую тень. На всех же остальных курсах выветренный ветер обтекает паруса под очень острым углом, так что подветренный парус не раздражается навстречным. На выскользких катамаранах, у которых в большинстве случаев выветренный ветер дует под острым углом к курсу, параллельное парусное вооружение может оказаться очень эффективным. На курсах, близких к фордевинду, оба паруса следует устанавливать «бабочкой». В этом случае они также не мешают один другому.

К недостаткам параллельного двухмачтового вооружения относится увеличенное индуктивное сопротивление.

Некоторые современные катамараны имеют паруса с очень большим относительным удлинением. Это обычно весьма быстросходные суда, которые ходят преимущественно острыми курсами по отношению к выветренному ветру. Делаются попытки создать универсальный парус, позволяющий изменить его удли-

нение соответственно курсу судна. На рис. 15, а представлена схема катамарана с жестким парусом такого типа. На острых курсах парус устанавливают так, чтобы его длинная сторона была вертикальной, соответственно благоприятному для этого случая удлинению. На фордевинде и бакштаге парус поворачивают так, чтобы его длинная сторона была горизонтальной. При этом получается удлинение, выгодное для полных курсов.

Очень важно на всем протяжении гонок сохранять форму паруса и его сечений. Мягкий парус рано заплываивает на крутых курсах, плохо стоит в слабый ветер, легко терпит форму. Для улучшения формы паруса в употреблении его задней кромки на катамаранах полезно применять скользящие латы. Лучшие гоночные катамараны, например «Тайгеркет», имеют скользящие латы. Паруса со скользящими латами, сохраняя форму изогнутой латинки, создают вынужденную тягу на очень крутых курсах.

Весьма целесообразно применять жесткие паруса, сохраняющие неизменным профиль, форму и углы атаки во всей высоте. Тяга паруса на крутых курсах дает очень высокие значения коэффициентов подъемной силы и весьма малое лобовое сопротивление. Существует несколько конструкций жестких парусов; одна из них описана выше (рис. 15, а).

В последнее время для уменьшения вредного влияния раюгута на тягу парусов целесообразно между парусом и мачтой устраивать относительно большой зазор (рис. 15, б). В некоторых случаях вместо мачты используют треногу или двуполюй подкос, состоящие из обтекаемых стоек (рис. 15, в). Треугольный латинский парус подвешивают к верхней части треноги с помощью тонкого рейка.¹ Иногда этот рейк делается обтекаемым, что повышает эффективность паруса. Описанное парусное вооружение отличается простотой и высокими тяговыми качествами, поэтому оно применялось на рекордных гоночных буюрах, а сейчас широко используется на катамаранах.

Как уже говорилось, тяга переднего паруса выше, чем у заднего. В связи с этим на некоторых катамаранах применяются стакселя с очень большой площадью. Появились даже катамараны, у которых мачта установлена на корме, а всю переднюю часть занимает огромный стаксель (рис. 15, г).

Интересное парусное вооружение показано на рис. 15, д. Здесь также мачта установлена сзади, а треугольный парус натянута на раме, образуемой нижней рейком и тросами. Такой парус обладает высокими аэродинамическими качествами и повышает устойчивость на курсе. В самом деле, у обычного вооружения при ходе яхты волнами курсами грот далеко выходит за борт и центр давления смещается в сторону от центра

¹ См. также описание в чертеже круглоугольного катамарана, замешанное в конце книги.

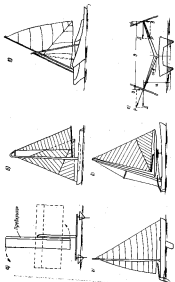


Рис. 15. Темы веревки и кривые катмарана: а — жесткой вертикальной в вертикальной плоскости; б — при угле наклона мачты к вертикали; в — при угле наклона мачты к вертикали; г — при угле наклона мачты к вертикали; д — при угле наклона мачты к вертикали; е — при угле наклона мачты к вертикали; ж — при угле наклона мачты к вертикали; з — при угле наклона мачты к вертикали.

сопротивления. У рассматриваемого вооружения, поворачивая реек в наветренную сторону, можно значительно приблизить ЦД к ЦС, что снижает вращающий момент ветра и, следовательно, повышает устойчивость катamarана на курсе.

Для очень быстроходных океанских катamarанов Х. Баркл предложено парусное вооружение, в котором использован принцип выноса жесткого крелья: два жестких паруса с высокими аэродинамическими качествами установлены на поворотной обтекаемой V-образной стойке (рис. 15, е). Здесь уделяемо большое внимание повышению устойчивости катamarана. Разделение парусности на два крыла позволяет понизить ЦД ветра и уменьшить кренящий момент M_k . Дополнительное уменьшение кренящего момента обеспечивается наклоном крелья. При наклоне крелья на угол α от вертикали равнодействующую R на каждом крыле можно разложить на две составляющие — горизонтальную D и вертикальную B . Горизонтальные силы D , суммируясь, по-прежнему дадут кренящий момент $M_1 = 2Dz$. Но вертикальные силы B образуют пару с моментом $M_2 = Bb$, которая противодействует моменту M_1 . Величина моментов M_1 и M_2 зависит от угла наклона крелья и расстояний a и b . Из рис. 15, е находим $D = P \cos \alpha$ и $B = P \sin \alpha$, значит $M_1 = 2P a z \cos \alpha$, $M_2 = -P b z \sin \alpha$. Результирующий кренящий момент будет равен

$$M_k = M_1 - M_2 = 2P a z \cos \alpha - P b z \sin \alpha.$$

Отсюда видно, что с ростом угла α значение момента M_k падает. Значит при некотором угле наклона крелья можно совсем уравновесить катamarан, сделав действие момента M_k к нулю. Полагая в написанном выше равенстве $M_k = 0$, получим

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2a}{b}.$$

Если, например, разност крелья b превышает длину кренящего момента a в два раза, то $\alpha = 45^\circ$. При таком угле наклона крелья катamarан не будет испытывать действия кренящего момента ветра и, следовательно, будет ходить без крена.

Следует упомянуть, что парусное вооружение Х. Баркла уравновешено также в горизонтальной плоскости. Равнодействующие силы давления ветра P и сопротивления воды R располагаются настолько близко, что судно имеет большую устойчивость на любом курсе.

Высокие аэродинамические качества такого парусного вооружения и его практическая полная уравновешенность открывают перед парусами Баркла большое будущее.

Плавучесть катamarана

Равнодействующая сила G весов отдельных частей катamarана направлена вниз и приложена в центре тяжести судна. Гидростатические силы давления воды, зависящие от глубины,

направлены перпендикулярно поверхности погруженной части обшивки внутрь судна (рис. 16, а). Силы давления на элементы разлагаются на вертикальные силы плавучести, поддерживаю-

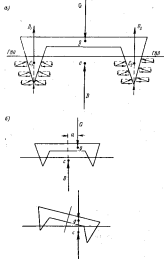


Рис. 10. Силы действующие на катамаран: а — сила веса и поддержки; б — равнодействующая (за равный элемент); в — при смещении ЦТ и ЦВ по ширине судна.

щие судно в воде, и горизонтальные силы давления, стремящиеся сжать корпус в поперечном и продольном направлениях. Вертикальные силы плавучести каждого корпуса, суммируясь, дают общие силы поддержки D_1 и D_2 , направленные перпен-

дикулярно вверх и приложенные в центре тяжести подводного объема корпусов (точки C_1 и C_2).

Общая равнодействующая сил D_1 и D_2 равна их сумме и приложена в центре тяжести подводного объема обоих корпусов, который расположен между корпусами (точка C).

Для того чтобы судно плавало на поверхности, т. е. обладало плавучестью, необходимо, чтобы сила поддержки воды $D = D_1 + D_2$ и сила веса судна G были равны и направлены по одной прямой в противоположные стороны, т. е. $D = G$.

Поскольку сила поддержки, или сила плавучести D , равна весу воды в объеме погруженного тела, то

$$D = \gamma_w V, \quad (10)$$

где γ_w — удельный вес воды, $г/м^3$;

V — объем подводной части катамарана, $м^3$.

Объем погруженной в воду части судна V называется объемом водоизмещения. У катамарана водоизмещение складывается из объемов двух корпусов $V = V_1 + V_2$.

Вес воды в объеме погруженной части судна называется весом водоизмещения D . Поскольку $D = G$, то в дальнейшем под весом водоизмещения мы будем понимать вес судна.

Различают водоизмещение судна порожнем и в полном грузу. Водоизмещение порожнем представляет собой чистый вес судна без переменных грузов (экипаж, снабжение и т. п.). Водоизмещение в полном грузу включает в себя вес корпуса, двигателя, парусного вооружения, снабжения, экипажа и т. д.

Водоизмещение катамарана можно выразить через его главные размерения

$$D = 2z_m \Delta L B_s T, \quad (11)$$

$$V = 2z_l L B_s T, \quad (12)$$

Коэффициент z называется коэффициентом полноты судна, или коэффициентом водоизмещения. Он равен отношению

$$z = \frac{V}{\Delta L B_s T}. \quad (13)$$

Коэффициент полноты z характеризует обводы корпуса катамарана. Судя с одинаковыми главными размерениями могут иметь разные водоизмещения, вследствие неодинаковой полноты подводных образований корпусов. Значения коэффициентов z для катамаранов приведены в табл. 2.

Точка приложения всех сил тяжести d называется центром тяжести катамарана (ЦТ). Точка приложения равнодействующей всех сил поддержки с называется центром величины (ЦВ), или центром плавучести. Центр величины представляет собой геометрический центр тяжести подводного объема судна.

Основные элементы и их

Основные элементы и характеристики	Головные катamarаны			
	«Шарктер-III»	«Тайгер-1»	«Джамал-1»	«Гласс-рундейл»
Осевой материал	фанера	—	фанера	фанера
Длина наибольшая $L_{\text{дн}}$, м	5,03	5,18	4,88	5,00
» по ГВЛ $L_{\text{ГВЛ}}$, м	4,75	4,83	4,50	4,70
Средняя высота $S_{\text{ср}}$, м	0,58	0,35	0,35	0,30
» кормовой $S_{\text{к}}$, м	0	0	0	0
Ширина наибольшая $B_{\text{нб}}$, м	2,28	2,40	2,14	2,20
» конструктивная $B_{\text{к}}$, м	1,83	1,93	1,83	1,83
» корпуса по ГВЛ $B_{\text{ГВЛ}}$, м	0,35	0,38	0,55	0,30
Осадка при моделировании $T_{\text{м}}$, м	0,16	0,18	—	0,18
» швартом $T_{\text{ш}}$, м	1,06	0,92	—	1,0
Высота надводного борта $H_{\text{нб}}$, м	0,42	0,47	0,34	0,40
» борта $H_{\text{б}}$, м	0,58	0,65	—	0,58
Вертикальный клиренс $K_{\text{вк}}$, м	0,290	0,43	—	0,28
Площадь мидель-сечения $S_{\text{мид}}$, м ²	2×0,038	2×0,046	—	2×0,058
» ГВЛ $S_{\text{ГВЛ}}$, м ²	2×1,3	—	2×1,9	2×1,47
» дефлектора $S_{\text{дф}}$, м ²	2×0,53	2×0,62	—	2×0,63
» шварта $S_{\text{ш}}$, м ²	1×0,19	2×0,145	—	2×0,21
» руля $S_{\text{р}}$, м ²	2×0,67	2×0,30	—	2×0,68
» грота $S_{\text{г}}$, м ²	10,2	15,3	9,9	11,21
» стакселя $S_{\text{ст}}$, м ²	4,2	6,5	5,5	5,0
» харьковости $S_{\text{х}}$, м ²	14,4	21,8	16,4 (27)	16,21
Вес катamarана порожнем $D_{\text{к}}$, кг	225	—	90	140
Водоизмещение V , м ³	0,273	0,385	0,240	0,290
$S_{\text{дн}}/S_{\text{ср}}$	7,6	6,2	—	6,6
$V S_{\text{дн}}^3 / V V$	5,8	6,4	6,3—6,3	6,1
$S_{\text{дн}}/S$	0,073	0,057	—	0,066
$S/S_{\text{дн}}$	76	180	—	77
$L/B_{\text{нб}}$	13,5	12,7	8	12,3
$L/B_{\text{к}}$	2,31	2,35	2,29	2,27
$L/B_{\text{ГВЛ}}$	0,8	—	0,77	0,82
ρ	0,67	0,67	0,5	0,85
τ	0,67	0,70	—	0,63
ϵ	0,22	0,58	—	0,45
ν	0,34	—	—	0,53
Средняя скорость Ω , м ²	2×2,5	2×2,6	2×2,5	2×2,47
Допущенная скорость хода $V_{\text{д}}$, узл.	20	20	19	—

характеристики катamarанов

Голово-прогулоч-ные катamarаны	Крейсерские катamarаны				Лодки с полубоком		
	«Освага»	«Вал Кета»	«Наву Кале»	«СБ мад Флеуа»	$S_{\text{дн}}=36 \text{ м}^2$	Основ-ной корпус	Полубо-ток	Сухо-в олово
фанера	фанера	фанера	фанера	—	фанера	фанера	фанера
6,25	5,80	12,90	12,80	11,0	6,42	3,2	6,42
5,37	5,49	9,50	11,00	10,0	5,50	2,74	5,5
0,68	0,31	1,79	1,5	1,0	—	—	—
0,20	0	0,50	0	0	—	—	—
3,05	2,75	3,96	7,7	4,72	—	—	3,35
2,44	1,93	3,22	5,5	3,74	—	—	2,80
0,38	0,45	0,53	1,21	—	0,355	0,178	—
0,21	0,4	0,53	0,30	0,20	0,178	0,089	—
0,67	—	—	1,50	1,22	—	—	—
0,40	0,35	0,62	1,42	1,63	—	—	—
0,61	0,75	1,15	1,75	1,93	—	—	—
0,33	0,11	0,67	1,21	0,72	—	—	—
2×0,05	2×0,09	2×0,19	2×0,23	—	—	—	—
2×1,23	2×1,68	2×3,0	—	—	—	—	—
2×0,75	2×1,46	2×4,85	2×2,40	—	—	—	—
2×0,29	—	—	—	—	—	—	—
2×0,11	2×0,2	2×0,5	2×0,24	2×0,26	—	—	—
95,0	30,0	28,5	2×27,5	29,0	—	—	—
9,0	5,0	16,5	2×18,5	19,0	—	—	—
25,0	15,0 (20)	45,0	2×45,0	34,0	—	—	—
—	270	1880	—	1680	—	—	156
0,320	0,42	—	4000	—	—	—	0,201
6,8	7,4	9,3	—	—	—	—	—
7,3	6,0—6,9	5,8	6,0	5,1	—	—	5,8
0,06	—	—	—	—	—	—	—
—	0,19	0,2	0,05	—	—	—	—
155	—	—	—	—	—	—	—
15,2	12,2	17,9	8,9	—	15,5	—	—
2,05	2,1	3,05	2,27	2,30	—	—	2,03
0,66	0,66	0,59	—	—	—	—	—
0,7	0,5	0,68	0,26	—	—	—	—
0,67	0,68	0,92	0,68	—	—	—	—
0,41	0,22	0,35	0,43	—	—	—	—
0,58	—	0,37	0,78	—	—	—	0,71
2×3,16	2×3,46	2×9,9	—	—	—	—	—
20	20	22	—	15	—	—	20

При наклонении судна, если экипаж или грузы не перемещаются, центр тяжести не изменяет своего положения, а центр тяжести перемещается в зависимости от изменения формы подводного объема корпуса. От взаимного расположения ЦТ и ЦВ зависит состояние катамарана при плавании (крен, дифферент).

Если силы веса G и плавучести D не лежат на одной прямой (рис. 16, б), то образуется пара сил с моментом $M = D_0$, которая накренивает судно до тех пор, пока точки d и c не окажутся на одной вертикальной линии (после чего устанавливается новое равновесие). Аналогичное явление происходит и в том случае, если точки d и c смещены в плоскости DP — появляется дифферент.

Для обеспечения безопасности плавания катамаран в полном грузу должен иметь минимальный водоизмещающий надводный борт, создающий запас плавучести. Под запасом плавучести понимают то дополнительное количество груза или воды, которое судно может еще принять до момента, пока оно не начнет тонуть. Запас плавучести определяется объемом водоизмещающего корпуса судна выше грузовой ватерлинии.

Для катамарана запас плавучести, как правило, больше объемного водоизмещения в 5—10 раз.

Остойчивость катамарана

Легко кренящееся парусное судно тервет ход, так как при крене падает тяга парусов. Чем меньше кренится яхта, тем больше ее скорость. Поэтому лучшим парусным судном, при прочих равных условиях, следует считать то, которое меньше кренится, т. е. является более устойчивым.

Остойчивость судна обеспечивается перемещением центра тяжести при наклонении корпуса. Рассмотрим для простоты катамаран с клиновидными сечениями. При начальной уравновешенности судна силы веса G и плавучести D равны и лежат на одной вертикали. Судно находится в прямом положении (рис. 17, а). Поскольку в прямом положении восстанавливающий момент M_0 равен нулю, то кренящий момент M_0 не встречая противодействия, наклонит катамаран на угол φ .

Будем считать, что предметы на судне закреплены на своих местах и экипаж неподвижен. При этих условиях ЦТ катамарана не изменит своего положения, а ЦВ подводной части корпуса переместится в сторону крена (в точку C_1), так как со стороны погружающегося корпуса подводный объем возрастет, а со стороны всплывающего корпуса, наоборот, уменьшится. Образуется пара сил G и D , создающая восстанавливающий момент $M_0 = D_1$, который стремится вернуть судно в первоначальное положение равновесия (рис. 17, б). Наклонение судна

будет происходить до тех пор, пока кренящий момент M_0 не уравновесится восстанавливающим M_0 . Равенство $M_0 = M_0$ является условием плавания судна с постоянным углом крена φ .

Если кренящий момент перестает действовать, то восстанавливающий момент возвратит судно в исходное положение равновесия. В этом случае говорят, что судно обладает положительной остойчивостью.

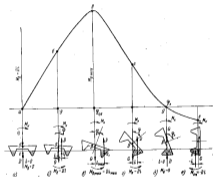


Рис. 17. Диаграмма статической остойчивости катамарана.

С увеличением кренящего момента M_0 крен катамарана возрастает, но при этом растет и плечо остойчивости l . Когда при некотором угле крена смещение ЦВ в сторону наклонения достигнет наибольшей величины, плечо остойчивости будет также максимальным (рис. 17, в).

Для большинства катамаранов восстанавливающий момент увеличивается примерно до тех пор, пока выходящий из воды корпус не оторвется от поверхности. В этот момент остойчивость катамарана максимальна. Угол, при котором корпус выходит из воды, равен 9—15°. Этот угол тем больше, чем больше осадка катамарана. При дальнейшем наклонении судна ЦТ и ЦВ начнут обложаться, в результате чего плечо l и восстанавливающий

яющий момент M_0 станут уменьшаться (рис. 17, в). При некотором угле крена φ_0 силы G и D снова окажутся на одной вертикали — судно займет положение безразличного равновесия, а остойчивость станет нулевой, так как плечо l обратится в нуль (рис. 17, б).

Продолжаем увеличивать крен. После того как ЦТ переместится за ЦВ, возникнет опрокидывающий момент $M_{об} = -Dl$ (рис. 17, в), который будет стремиться перевернуть судно. В этом случае о судне говорят, что оно обладает отрицательной остойчивостью.

Угол φ_0 , при котором судно начинает опрокидываться, называется предельным, или кратчайшим, углом крена. Для большинства катамаранов $\varphi_0 = 45-55^\circ$.

На рис. 17 приведена графическая зависимость восстанавливающего момента судна M_0 от углов крена φ — диаграмма статической остойчивости судна.

Остойчивость судна при малых углах крена принято называть начальной остойчивостью. Поскольку для катамаранов начальная остойчивость играет огромную роль, остановимся на этом вопросе несколько подробнее.

Предположим, что под действием кренящего момента катамаран наклонился на угол φ (рис. 18, а). Вследствие наклона судна подводный объем изменит свою форму, центр тяжести переместится из точки c в точку c_1 , возникнет восстанавливающий момент

$$M_0 = Dl_1. \quad (14)$$

Вычислим значение восстанавливающего момента. Продлим линию действия силы D до пересечения с ДП в точке M . В теории корабля точка M называется поперечным метacentром. Расстояние от метacentра до ЦВ при ходе судна на ровном кале называется поперечным метacentрическим радиусом и обозначается буквой k . Расстояние Mg между метacentром и ЦТ называется поперечной метacentрической высотой (МЦВ) и обозначается буквой h .

Из чертежа следует

$$l = gb = Mg \sin \varphi,$$

но $Mg = h$, поэтому

$$l = h \sin \varphi.$$

Согласно принятым обозначениям можно назвать МЦВ несколько иначе:

$$h = r - a, \quad (15)$$

где $a = gc = z_2 - z_0$ — расстояние между ЦТ и ЦВ при прямом положении судна. Это расстояние принято называть эксцентриситетом.

Следовательно, восстанавливающий момент

$$M_0 = D(r - a) \sin \varphi. \quad (16)$$

Это выражение называется метacentрической формулой остойчивости.

Величину φ можно с большой точностью найти по формуле

$$\varphi = \frac{a \theta_0^2}{4T} \quad (17)$$

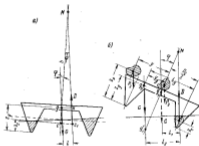


Рис. 18. Остойчивость катамарана на малых углах крена: θ — отклонение метacentра; δ — увеличение остойчивости за счет перемены формы.

где $\alpha = \frac{S_{ГВЛ}}{L B_0^2}$ — коэффициент полноты ГВЛ;

$\delta = \frac{V_0}{L B_0 T}$ — коэффициент полноты корпуса.

При вычислении ρ по предлагаемой приближенной формуле не учитываются собственная остойчивость корпуса, так как она весьма мала. Погрешность формулы не превышает 0,5–1,5%.

Значение a вычисляется по рассчитанным величинам z_2 и z_0 . Учитывая, что $D = 2 \gamma_0 L B_0 \gamma \delta$, восстанавливающий момент можно представить в виде

$$M_0 = \frac{2\gamma}{T} S_{ГВЛ} B_0^2 \sin \varphi - a D \sin \varphi.$$

Первый член этого равенства выражает остойчивость формы, так как он целиком зависит от геометрических размеров и формы корпусов катамарана.

Второй член выражает остойчивость веса, так как он зависит как от веса судна D , так и от расстояния a между ЦТ и ЦВ.

Остойчивость формы катamarана повышается при увеличении площади грузовой ватерлинии $S_{ГЛД}$ и конструктивной ширины B_0 . Особенно сильно повышается остойчивость катamarана при увеличении конструктивной ширины, т. е. при разное корпусов на значительное расстояние. Например, увеличение ширины каждого корпуса катamarана B_k на 20% приводит к увеличению g тоже на 20%. Если же увеличить на 20% конструктивную ширину B_0 , то g возрастает на 44%. Поэтому разное корпусов является одним из основных размеров катamarана и главным мерилем его остойчивости.

Остойчивость веса судна можно повысить за счет понижения центра тяжести. На катamarанах это трудно выполнимо, так как тяжелые балластные якоря у них отсутствуют и большинство устройств помещается на палубе. Поэтому для крейсеров катamarанов, имеющих высокие надстройки, рубки и мощный рангоут конструктивную ширину B_0 следует выбирать как можно большей, чтобы компенсировать отрицательное влияние понижения ЦТ.

Значительного повышения остойчивости веса можно добиться перемещая на борт различные грузы. На гоночных катamarанах наибольший эффект дает перемещение экипажа. При этом ЦТ судна сдвигается в сторону наветренного борта (рис. 18, б) на величину

$$y_g = \frac{P_g}{G} y,$$

где P_g — вес перемещавшихся людей;

y — расстояние, на которое перемещаются люди.

Как видно из рис. 18, б, перемещение груза на борт как бы эквивалентно понижению ЦТ катamarана из точки g_1 в точку g_1' . Восстанавливающий момент при этом равен

$$M_g = D y_g = D (h \sin \gamma + y_g \cos \gamma). \quad (18)$$

При расчете остойчивости следует иметь в виду, что максимальный восстанавливающий момент для спортивного катamarана нужно определять с учетом перемещения всей команды на борт. На крейсерских катamarанах следует принимать во внимание, что часть команды, свободная от вахты, может находиться в рубке, на мостике или с подветренного борта.

Метацентрическая формула остойчивости (16) позволяет решать целый ряд задач при проектировании катamarана. Рассмотрим некоторые из них, возлагая для яркости, что скорость ветра неизменна по высоте.

Модель крена катamarана. Пусть на катamarан действует кренищий момент ветра M_w :

$$M_w = \Sigma D h_k = C_k \frac{\rho}{2} S W^2 h_k.$$

По условию равновесия $M_w = M_g$, т. е.

$$D (h \sin \gamma + y_g \cos \gamma) = C_k \frac{\rho}{2} S W^2 h_k.$$

откуда

$$\sin \varphi = \frac{C_k \frac{\rho}{2} S W^2 h_k - D y_g \cos \gamma}{D h}.$$

Если учесть, что нормальные ходовые углы крена катamarанов не превышают 10–15°, то $\sin \varphi \approx \varphi \cos \varphi \approx 1$ и тогда

$$\varphi^{\circ} = 57,3^{\circ} \frac{C_k \frac{\rho}{2} S W^2 h_k - D y_g}{D h} \quad (19)$$

По этой формуле угол крена φ° сразу находится в градусах. Способность катamarана к несению парусов. Наибольшую допустимую площадь парусности различных катamarанов можно сравнивать путем сопоставления углов крена по формуле (19).

Полагая, что современными типами парусного вооружения подобно, упростим это выражение

$$\varphi^{\circ} = 57,3^{\circ} \frac{30 S_0 a - D y_g}{D a}, \quad (20)$$

где $\varphi_k = C_k \frac{\rho}{2} W^2 a^2$ — удельное давление ветра, кг/м².

Предположим, что живая равномерно распределен по судну, т. е.

$$D y_g = 0.$$

Постоянные конструктивные величины в правой части обозначим через $\frac{1}{k_v}$, где k_v — критерий остойчивости — равен

$$k_v = \frac{D h}{S W_k}. \quad (21)$$

Следовательно,

$$\varphi^{\circ} = \frac{37,3 \varphi_k}{k_v}. \quad (22)$$

Чем больше критерий остойчивости k_v , тем меньше угол крена судна, при прочих равных условиях. Величина k_v характеризует

способность катамарана к весению парусов. Чем выше k_p , тем большую силу ветра выдерживает катамаран при заданном угле крена.

При проектировании следует определить значение k_p по формуле (21) и сравнить его с величиной этого критерия у прототипа или у других близких по размерам судов. Желательно, чтобы значение k_p у проектируемого катамарана было не ниже, чем у близких ему по типу и размерам.

В табл. 3 приведены значения критериев устойчивости различных судов, вычисленных по формуле (21).

Соотношения главных размеров катамаранов

Таблица 3

Тип катамарана	$\frac{L_m}{L}$	$\frac{L_m}{D_m}$	$\frac{B_1}{L}$	$\frac{L}{D_m}$	$\frac{L}{H}$	$\frac{L}{F}$	$\frac{K_m}{L}$
Головные катамараны со швертом без шверта	1,00—1,15	2,0—2,2	3,05—3,4	13,3—15,0	3,2—3,0	20,5—20,0	0,06—0,08
Крейсерские катамараны со швертом без шверта	1,05—1,15	2,0—2,2	3,16	14,3—15,0	7,4	11,5	0,06—0,08
Головные катамараны со швертом без шверта	1,07—1,1	2,0—2,4	0,35—0,37	16,0	0,4—0,3	21,0—20,0	0,003—0,005
Крейсерские катамараны со швертом без шверта	1,1—1,3	2,4	0,34	19,0	0,4	16,0	0,01

Продолжение

Тип катамарана	k_p	$\frac{\sqrt{x}}{L}$	$\frac{\sqrt{x}}{V}$	$\varphi = \frac{D}{LH}$	$\frac{A_1}{L}$	$\sqrt{\frac{x}{D_{23}}}$
Головные катамараны со швертом без шверта	3,05—3,04	3,4—0,9	3,4—3,0	20,0—10,8	1,4—1,2	3,0—1,8
Крейсерские катамараны со швертом без шверта	0,04—0,05	0,6—1,2	0,8	30,0	1,1—1,3	4,0—3,4
		3,7	3,0	38,0	1,05—1,1	3,3

Благодаря развесению корпусов катамаран обладает огромной начальной устойчивостью, главным образом, за счет устойчивости формы. Даже при незначительном наклоне ЦВ перемещается настолько далеко в сторону крена, что восстанавливающий момент M_w сразу достигает большой величины. Максимальное значение восстанавливающего момента бывает при отрыве корпуса от воды. Для большинства катамаранов это происходит при угле крена $\varphi_{отр} = 8-15^\circ$. Затем M_w падает и достигает нуля при $\varphi_0 = 45-55^\circ$. Быстрое падение восстанавливающего мо-

мента объясняется тем, что ЦТ катамарана расположен весьма высоко над ЦВ.

Критический угол крена, при превышении которого происходит опрокидывание катамарана, весьма просто находится по рис. 18, б. Он равен

$$\varphi_{кр} = \frac{L_2}{2g - L_1}$$

$$\text{где } L_2 = \frac{B_2}{2} + \frac{P_2 F}{D}$$

Для нахождения углов крена катамарана необходимо построить кривую кренящего момента (рис. 19), пользуясь сведениями, полученными ранее.

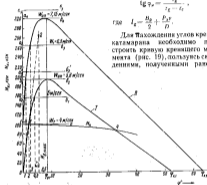


Рис. 19. Диаграмма статической устойчивости: 1 — при симметричной посадке яхты на бортах; 2 — при посадке яхты заложенной на один из бортов.

Кривая кренящего момента M_w пересекает кривую восстанавливающего момента (I или II) в двух точках. Однако положение устойчивого равновесия обеспечивается только при наклоне до угла крена φ_1 , соответствующего точке пересечения 3. При достижении угла крена φ_2 моменты M_w и M_v сравняются (наступит равновесие); если судно по инерции пройдет точку 3, т. е. будет крениться дальше, то кренящий момент M_w станет меньше восстанавливающего M_v , и катамаран снова примет положение, соответствующее точке 3. Поскольку катамараны принадлежат к числу судов с очень большой начальной устойчивостью и малыми заложенными углами кренов, то при построении диаграммы кренящих моментов (рис. 19) вместо действительной кривой M_w можно

строить прямую об. так как при малых углах крена $M_{\alpha} = D \delta_{\alpha}$. Задаваясь несколькими значениями скоростей вымпельного ветра W_0 и проводя ряд прямых, параллельных об ($a_1 b_1$, $a_2 b_2$ и т. д.), получим соответствующие этим силам ветра углы крена φ .

При слабом ветре судно почти не кренится, даже если экипаж располагается симметрично относительно ДП (кривые l и ob). При усилении ветра крен растет ($M_{\alpha} = a_1 b_1$). При скорости ветра $W_1 = 5,6$ м/сек ($M_{\alpha} = a_2 b_2$) один из корпусов отрываεται от воды и возникает опасность опрокидывания. Небольшое усиление ветра, например до $W_2 = 6$ м/сек ($M_{\alpha} = a_2' b_2'$), уже приводит к опрокидыванию, так как кренящий момент ветра M_{α} становится больше восстанавливающего M_{α} . В этом случае можно слегка потравить шкоты, т. е. увеличить угол установки паруса. Сила дрейфа D упадет, и момент M_{α} снизится, например, до $a_3 b_3$. Крен катамарана уменьшится до угла $\varphi_{от}$. Однако потравливание шкотов невыгодно, так как вместе с силой дрейфа падает и сила тяги. Поэтому целесообразно посадить экипаж на наветренный борт, что приведет к росту остойчивости (кривая ll'). Если теперь снова выбрать шкоты до требуемой силы тяги ($M_{\alpha} = a_4' b_4'$), то катамаран будет идти с очень малым углом крена. При дальнейшем усилении ветра крен судна вновь увеличится. Когда кренящий момент M_{α} достигнет величины $a_4 b_4$, катамаран снова получит угол крена $\varphi_{от}$. Опять возникнет опасность опрокидывания. Что же произойдет, если сила ветра увеличится и M_{α} станет еще чем $a_4 b_4$; например, достигнет $a_5 b_5$? Катамаран начнет быстро наклоняться. Наветренный корпус выйдет из воды и, как только будет превышен критический угол крена, к кренящему моменту ветра добавится опрокидывающий момент корпуса и катамаран опрокинется.

Поскольку движение катамарана с большими углами крена опасно, то рекомендуется не допускать отрыва наветренного корпуса от воды. Движение катамарана с высоко поднятым корпусом нежелательно еще и потому, что при этом уменьшается скорость хода.

Таким образом, любой катамаран независимо от его назначения нужно рассчитывать на плавание с креном, не превышающим $\varphi_{от}$.

Подводя итог, следует подчеркнуть, что остойчивость катамарана зависит от удачного сочетания ширины B_0 и веса D — чем легче судно, тем больше должна быть его ширина.

До сих пор мы обсуждали вопросы поперечной остойчивости катамарана. Теперь необходимо остановиться и на проблеме продольной остойчивости.

Для водовмещающих однокорпусных судов проблемы продольной остойчивости практически не существуют. Их продольные метацентрические радиусы R намного выше, чем поперечные r , поэтому и продольная остойчивость превышает поперечную во

много раз. Например, для швербота «М» продольный метацентрический радиус R в 11 раз больше поперечного r . Следовательно, продольный восстанавливающий момент корпуса в 11 раз выше, чем поперечный. Поэтому при действии даже очень сильного ветра дифферент швербота «М» на нос незначителен.

Вымпельный ветер, который вызывает опрокидывание швербота через борт (от потери поперечной остойчивости), едва в состоянии наклонить судно на $1-2^\circ$ на нос, т. е. практически не оказывает влияния на продольную остойчивость.

Иное дело катамараны. Их поперечная остойчивость намного выше, чем у швербота, но зато продольная — ниже. Продольная остойчивость катамаранов может оказаться иногда ниже, чем поперечная.

Отношение продольного метацентрического радиуса катамарана к его же поперечному

$$\frac{R}{r} = 0,285 \left(\frac{L}{B_0} \right)^2.$$

Отсюда вытекает, что при $\frac{L}{B_0} < 2$ отношение $\frac{R}{r} < 1$, т. е. продольная остойчивость катамарана ниже его поперечной остойчивости.

Для катамарана «Оселот»

$$\frac{R}{r} = 0,285 \cdot 0,67 \left(\frac{5,58}{2,44} \right)^2 = 0,91,$$

т. е. продольная остойчивость катамарана ниже поперечной.

При одинаковом со шверботом «М» усилении катамаран будет иметь дифферент в несколько раз больше. Судно может зарыться носом в воду, потерять ход, а при более сильном ветре и опрокинуться через нос.

Все это осложняется еще и тем, что на курсе фордевинд паруса потравить невозможно. Поэтому катамаран должен быть спроектирован так, чтобы он смог в продольном направлении выдерживать, не опрокидываясь, по меньшей мере ту же предельную силу ветра, на которую рассчитана его поперечная остойчивость. При этом дифферент катамарана должен быть незначительным.

Неотопляемость катамарана

Неотопляемость называется способность судна сохранять в достаточной мере свои мореходные качества при заполнении забортной водой части внутренних помещений.

Неотопляемость складывается в основном из обеспечения плавучести и остойчивости судна при затоплении его корпуса.

В результате заполнения водой судно может затонуть, но еще раньше оно может опрокинуться, так как вода, переливаясь

в сторону крена, вызывает перевешивание туда же ЦТ и уменьшение плеча l восстанавливающего момента.

Таким образом, чтобы судно было непотопляемым, оно должно быть достаточно остойчивым и иметь большой запас плавучести. Кроме того, на случай аварии должны быть предусмотрены средства для отлива воды и заделки пробоин и щелей.

На больших самодвижных судах внутренние помещения разделяют водонепроницаемыми продольными и поперечными переборками на ряд отсеков. При получении пробоин или вступления воды через палубные отверстия затопляется только один из отсеков, в то время как другие остаются сухими.

Кроме того, продольные переборки, разделяя свободную поверхность поступившей воды, уменьшают перепадающие массы жидкости и снижают вредное влияние свободного уровня воды на поперечную остойчивость. Поперечные переборки в аналогичных случаях улучшают продольную остойчивость.

На килевых яхтах и шверботах устанавливают, главным образом, поперечные переборки. Более важные продольные переборки не могут быть установлены из-за стесненности внутренних помещений.

В этом отношении катамараны находятся в лучшей доли. Многокорпусная конструкция аналогично продольным переборкам уменьшает влияние на остойчивость попавшей внутрь судна воды. Несколько поперечных переборки, разделяя корпусы на отдельные отсеки, обеспечивают непотопляемость катамаранов. Обычно устраивают носовую и кормовую водонепроницаемые переборки, которые делят каждый корпус на три примерно равные части.

При затоплении одного из отсеков катамаран получит некоторый крен и дифферент и сядет глубже. Чтобы выровнять посадку судна, следует уменьшить парусность и переместить грузы или экипаж.

Если требуется немедленно устранить пробойку, менают галс таким образом, чтобы корпус с пробойкой оказался наветренным. Создав достаточный угол крена, выводит пробойку из воды и закрывают ее пластырем. После этого, сбавив скорость, откачивают насосами воду и заделывают пробойку изнутри судна.

При определении запаса плавучести катамарана со швертом следует принимать в расчет не всю высоту F водонепроницаемого надводного борта, а высоту колодца шверта F_2 (рис. 20, а). Лучше всего шель швертового колодца выводить на палубу. При этом колодец и внутренние помещения корпуса будут изолированы (рис. 20, б).

Корпуса катамаранов должны быть водонепроницаемыми, а все палубные отверстия — наглухо закрываться крышками из резиновых прокладок.

Большое значение для непотопляемости катамарана имеет до-

полнительный запас плавучести, обеспечиваемый его конструкцией. Если катамаран изготовлен из дерева, то при затоплении его помещений водой он остается на плаву и даже может выдерживать вес экипажа.

Чтобы определить этот запас плавучести катамарана, необходимо определить его средний удельный вес.

Обозначим объем дерева в конструкции катамарана через V_1 , удельный вес дерева γ_1 и вес P_1 ; объем металла — V_2 , удельный вес его — γ_2 , вес — P_2 ; общий вес катамарана — G , объем всех деталей конструкции V , средний удельный вес конструкции — γ_{cp} .

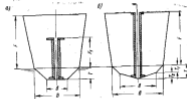


Рис. 20. Определение высоты водонепроницаемого надводного борта в шверте, когда швертовый колодец: а — не выводит до палубы; б — выводит на палубу.

Средний удельный вес конструкции определяют из равенства

$$\gamma_{cp} = \frac{P_1 + P_2}{V} = \frac{V_1 \gamma_1 + V_2 \gamma_2}{V_1 + V_2}$$

Деля числитель и знаменатель на V_1 , получим

$$\gamma_{cp} = \frac{\gamma_1 + \frac{V_2}{V_1} \gamma_2}{1 + \frac{V_2}{V_1}}$$

Объем металла в конструкции деревянного катамарана не превышает одного процента от объема дерева, т. е. $\frac{V_2}{V_1} \approx 0,01$.

Примем средний удельный вес дерева $\gamma_1 = 0,65 \text{ т/м}^3$, металла $\gamma_2 = 8,0 \text{ т/м}^3$. Тогда

$$\gamma_{cp} = \frac{0,65 + 0,01 \cdot 8}{1 + 0,01} = 0,725 \text{ т/м}^3$$

Таким образом, удельный вес деревянного катамарана меньше, чем удельный вес воды, поэтому он и плавает в затопленном состоянии.

Зная вес пустого катамарана G_0 и вычислив средний удельный вес конструкции $\gamma_{\text{ср}}$, можно определить запас плавучести, пользуясь формулой

$$\Delta P = G_0 \frac{\gamma_{\text{в}} - \gamma_{\text{ср}}}{\gamma_{\text{в}}}$$

Например, для гоночного катамарана «Джампхед» в деревянном исполнении

$$\Delta P = 90 \frac{1,025 - 0,725}{0,725} = 41 \text{ кг.}$$

т. е. после затопления судна экипаж может смело за него держаться, находясь на плаву.

Хуже обстоит дело, если катамаран построен из фанеры, пластика или металла.

Например, если катамаран типа «Джампхед» изготовлен из дуба и фанеры, имеющих удельный вес $\gamma_1 = 0,85 \text{ т/м}^3$, то

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{0,85 + 0,81 \cdot 8}{1 + 0,01} = 0,92 \text{ т/м}^3.$$

Запас плавучести в этом случае составляет всего 10 кг, что позволяет держаться за затопленное судно лишь одному-двум членам экипажа.

Если же судно сделать из стеклопластика с удельным весом 1,5, то $\gamma_{\text{ср}}$ будет больше единицы; следовательно, катамаран будет тяжелее воды и затонет.

Чтобы пластмассовые, металлические и фанерные катамараны имели запас плавучести при затоплении, на них устанавливают воздушные ящики — различной формы емкости, из латуни, оцинкованного железа, пластика или надутой воздухом резины. Их размещают под палубой вдоль бортов, под банками, в носу и в корме. Воздушные ящики непроницаемы для воды и держат катамараны с экипажем на плаву даже при полном затоплении остального объема. Кроме того, эти ящики представляют собой плавучесть, разнесенную по бортам, и могут обеспечить катамарану некоторую дополнительную остойчивость.

На многих катамаранах вместо ящиков в разных местах помещают куски пенопласта, имеющего весьма малый удельный вес. Обычно пенопластом закладывают различные неудобные для использования объемы.

На катамаранах с фанерными или пластмассовыми корпусами объем воздушных ящиков должен составлять 0,075—0,1 полного объема двух корпусов судна. Для воздушных ящиков металлических катамаранов сверх того необходим дополнитель-

ный объем, равный 0,075—0,1 м³, на каждые 100 кг веса металлического корпуса. Целесообразно также увеличивать объем воздушных ящиков на 0,075—0,1 м³ в соответствии с каждым 100 кг суммарного веса двигателей, металлических устройств и оборудования.

На крейсерских катамаранах необходимо устраивать глухие водонепроницаемые кокпиты с отделимыми трубами. Все помещения на мостике должны иметь сточные шлюги для быстрого слива воды, выходящей наружу судна при сильном волнении.

При проектировании катамарана надо соблюдать основной принцип непотопляемости: остойчивость должна сохраниться до потери плавучести, т. е. судно должно тонуть, не опрокидываясь, причем провольная остойчивость должна поддерживаться дольше, чем поперечная.

Катамараны при опрокидывании имеют тенденцию переворачиваться ларусами вниз (вверх дном). Это явление нежелательно. На спортивном катамаране, если не упустить время, можно избежать опрокидывания вверх дном — экипаж становится на шверт и своим весом возвращает судно в прямое положение. На крейсерских катамаранах для удержания опрокинувшегося судна в положении из боку в верхней части мачты устраивают всплывок. Для этого как используют пустотелый трос мачты, или на мачту насаживают дискообразный всплывок (см. описание катамарана «Мист Миллер»). Иногда устанавливают надувной всплывок, который срабатывает автоматически при превышении определенного угла крена. В качестве надувного всплывка Р. Харрис рекомендует использовать верхнюю часть ларусов из синтетических материалов.

С мачтой, лежащей на воде, катамаран может плавать сколько угодно времени. Его можно привести в порт или на мелководье и там поставить на ровный киль.

Поворотливость катамарана

Поворотливость яхты и ее устойчивость на курсе обеспечиваются с помощью руля. На катамаранах применяются как классические рули, выполненные из листов фанеры или металла, так и профилированные, имеющие в сечении форму авиационного профиля.

Руль судна можно рассматривать как авиационное крыло, движущееся вертикально в воде с углом атаки, равным углу перекладины α_0 (рис. 21). При обтекании руля потоком воды возникают гидродинамические силы. Равнодействующая этих сил R_0 может быть разложена на силу лобового сопротивления X_0 и подъемную силу Y_0 . Сила X_0 направлена навстречу движению яхты, а сила Y_0 перпендикулярна направлению движения яхты, а сила Y_0 перпендикулярна направлению движения яхты, а сила Y_0 направлена в сторону движения судна v , но направлена в обратную сторону.

Под действием руля катамаран поворачивается в сторону перекладки рулевой плоскости. Поворачивающий момент катамарана создается в основном подъемными силами рулей

$$M_{\text{пов}} = 2Y_p l.$$

Силы лобового сопротивления, создающие взаимно компенсирующие моменты, не оказывают влияния на поворачиваемость катамарана, а только увеличивают общее сопротивление судна.

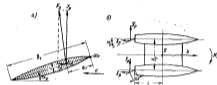


Рис. 21. Схема работы руля: а — силы, действующие на вершину руля; б — подъем и силы, из которых складывается поворачивающий момент.

Подъемную силу и лобовое сопротивление рулей можно найти по формулам

$$Y_p = C_{y_p} \frac{\rho v^2}{2} S_p, \quad (23)$$

$$X_p = C_{x_p} \frac{\rho v^2}{2} S_p, \quad (24)$$

где S_p — площадь верха руля.

Значения C_{y_p} и C_{x_p} находят по экспериментальным волюграм.

Как видно из этих выражений, силы, действующие на руль, зависят от формы руля, площади его верха, угла перекладки и скорости движения яхты при повороте.

Глубокий узкий руль подобен крылу с большим удлинением. Удлинение руля зависит от его формы. Если руль имеет сложную форму (рис. 22, а), то его удлинение $\lambda_p = \frac{l}{S_p}$.

Чем больше удлинение крыла, тем больше его подъемная сила Y_p и меньше лобовое сопротивление X_p при заданном угле атаки. Следовательно, глубокие, т. е. с большим удлинением, рули более эффективны, чем широкие и широкие (рис. 23). В то же время форма в плане мало влияет на качества рулей.

На катамаранах применяются только глубокие узкие рули с удлинением $\lambda_p = 1,5-2,5$.

С изменением угла перекладки меняется величина давления на руль. Чем больше удлинение, тем ниже кратчайший угол перекладки руля, соответствующий максимуму C_{y_p} (рис. 23). По этой причине на спортивных судах не рекомендуется переключать руль на угол α_0 , так как в противном случае вооружающая момент снижается.

Для современных спортивных парусных судов невыгоднейший угол перекладки руля равен $20-30^\circ$, а с учетом дрейфа

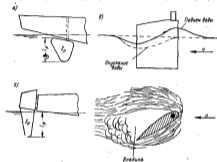


Рис. 22. Рули катамарана: а — разрезной под давлением балластных рулей; б — эргодической поверхностью воды подвески руля; в — влияние свободной поверхности на обтекание руля.

на циркуляции $35-45^\circ$. Под этим углом и следует устанавливать ограничители перекладки руля.

Профилировка поперечного сечения руля подобно дужке несущего крыла также оказывает большое влияние на величину подъемной силы, создаваемой потоком воды.

Наибольшую подъемную силу и наименьшее лобовое сопротивление дает плоская пластина. Профилированные рули дают большую подъемную силу при практически меньшем лобовом сопротивлении. Наибольшей эффективностью обладает руль с отношением толщины профиля ϵ к хорде δ_r (см. рис. 21, а), равным 0,2. Для тонких катамаранов относительную толщину

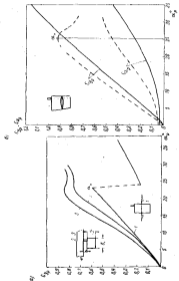


Рис. 23. Характеристики руля.

а — главные места расположения руля на его законной шпуре; $\alpha_r = 1^\circ$; $C_D = 0.05$; $C_D = 0.1$; $C_D = 0.15$; $C_D = 0.2$; $C_D = 0.25$; $C_D = 0.3$; $C_D = 0.35$; $C_D = 0.4$; $C_D = 0.45$; $C_D = 0.5$; $C_D = 0.55$; $C_D = 0.6$; $C_D = 0.65$; $C_D = 0.7$; $C_D = 0.75$; $C_D = 0.8$; $C_D = 0.85$; $C_D = 0.9$; $C_D = 0.95$; $C_D = 1.0$; $C_D = 1.05$; $C_D = 1.1$; $C_D = 1.15$; $C_D = 1.2$.
 б — главные места расположения руля на его законной шпуре; $\alpha_r = 1^\circ$; $C_D = 0.05$; $C_D = 0.1$; $C_D = 0.15$; $C_D = 0.2$; $C_D = 0.25$; $C_D = 0.3$; $C_D = 0.35$; $C_D = 0.4$; $C_D = 0.45$; $C_D = 0.5$; $C_D = 0.55$; $C_D = 0.6$; $C_D = 0.65$; $C_D = 0.7$; $C_D = 0.75$; $C_D = 0.8$; $C_D = 0.85$; $C_D = 0.9$; $C_D = 0.95$; $C_D = 1.0$; $C_D = 1.05$; $C_D = 1.1$; $C_D = 1.15$; $C_D = 1.2$.
 в — главные места расположения руля на его законной шпуре; $\alpha_r = 1^\circ$; $C_D = 0.05$; $C_D = 0.1$; $C_D = 0.15$; $C_D = 0.2$; $C_D = 0.25$; $C_D = 0.3$; $C_D = 0.35$; $C_D = 0.4$; $C_D = 0.45$; $C_D = 0.5$; $C_D = 0.55$; $C_D = 0.6$; $C_D = 0.65$; $C_D = 0.7$; $C_D = 0.75$; $C_D = 0.8$; $C_D = 0.85$; $C_D = 0.9$; $C_D = 0.95$; $C_D = 1.0$; $C_D = 1.05$; $C_D = 1.1$; $C_D = 1.15$; $C_D = 1.2$.

профиль рекомендуется выдерживать в пределах 5—6%. Характеристики одного из примененных в судостроении профилей приведены в следующей таблице.

Таблица одна из профилей НЕЖ

Отношение общей площади от площади хорды в процентах к ширине в мм	0	1,25	2,5	5,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100
Таблица значений коэффициента сопротивления	1	21,1	45,3	62,2	80,3	95,0	99,0	94,8	87,7	80,7	68,0	56,8	45,8	3

Несколько слов о положении центра давления воды (ЦД) на руле. Поскольку наибольшую величину гидродинамические силы имеют в районе передней трети пера, то и ЦД располагается на расстоянии 20—30% от передней кромки. Приближенно положение центра давления (см. рис. 21, а) можно найти по формуле Жесселя

$$a_1 = (0,195 + 0,305 \sin \alpha_r) b_1.$$

С увеличением угла перекалки ЦД смещается к середине руля. Момент руля относительно оси вращения равен

$$M_R = (C_{Dp} \cos \alpha_r + C_{Dn} \sin \alpha_r) a_1 S_p \frac{\rho v^2}{2}.$$

Величина M_R называется моментом на баллере руля и служит для расчета прочности рулевого устройства и необходимых усилий для перекалки.

Из формулы (23) видно, что поворачивающий момент руля тем выше, чем больше площадь S_p . Необходимая площадь руля не может быть найдена расчетом. Обычно ее выбирают на основе статистических данных или по прототипу и проверяют экспериментально. Площадь руля S_p принято выражать в отношении к площади диаметрала судна $S_{ди}$, или к произведению $L \cdot T$.

В табл. 2 приводятся значения $\frac{S_p}{S_{ди}}$ для различных катамаранов.

Можно ограничиться одним рулем, но лучше установить два. При крене катамарана одно руле, расположенный в плоскости симметрии судна, вылет из воды и будет плохо работать.

Из графиков на рис. 23, а видно, что руль, пересекающий поверхность воды, менее эффективен, чем руль, подвешенный

под корпусом. Для объяснения этого явления рассмотрим боковость обтекания руля, движущегося у поверхности воды. Давление на поверхности воды равно атмосферному, и давление на руле повышено и зависит от скорости хода судна и угла перекалки руля. На засасывающей стороне руля давление ниже атмосферного — здесь уровень воды опускается, а на стороне набегающего потока поднимаются брызговые струи. В связи с этим возникает поперечное растекание воды (см. рис. 22, а). При движении руля с постоянным углом перекалки по мере роста скорости растекание увеличивается. Точно так же при движении руля с постоянной скоростью по мере роста угла перекалки растет поперечное растекание. При некотором критическом угле атаки (или критической величине скорости) сторона разрежения полностью освобождается от воды. В жидкости за рулем образуется глубокая падьина, и обтекание становится отрывным.

В этой падьине давление равно атмосферному. Следовательно, при отрывном обтекании боковая сила $C_{\text{пр}}$ создается только за счет давления на одну поверхность руля. Поэтому с наступлением отрывного обтекания подъемная сила руля резко уменьшается.

На докритических углах перекалки такого руля падение подъемной силы связано с затратами энергии на волнообразование (см. рис. 22, в, сверху).

Если руль расположен под днищем, то такого резкого отрыва обтекающей воды у него не происходит. Кроме того, поверхность днища уменьшает перетекание жидкости через перемычку руля, снижая его индуктивное сопротивление и подъемную силу. Однако величина последнего фактора быстро убывает с увеличением зазора между верхней кромкой руля и днищем. Величина этого зазора на катамаранах обычно существенно зависит от угла перекалки руля, притом с ростом угла перекалки зазор быстро увеличивается. Даже при нулевом угле перекалки руля величина зазора такова, что величине корпуса увеличивает подъемную силу всего лишь на 3—10%. Поэтому влияние корпуса как твердой стенки можно не учитывать и считать, что подвешенный под корпусом руль является изолированным.

При расчете быстроходности катамарана руль учитывают как дополнительную площадь бокового сопротивления. Поскольку углы дрейфа меньше 10° , то обтекание руля, как и шверта, плавное, и его характеристика ($C_{\text{пр}}$ и $C_{\text{в}}$) можно считать не зависящими от скорости хода.

Для снижения влияния отрывного обтекания у рулей, перекающих поверхность воды, на новейших головных катамаранах делают рули суперкапитулирующей профиля (в воде вытянутого острем вперед клина).

Таким образом, можно утверждать, что рули катамаранов должны иметь большое относительное удлинение и профилированное сечение. В этом смысле наиболее удачными следует признать рули головного катамарана «Тайгерет» и мезовые удлинные рули «Ману-Кан».

Катамаран при перекалке руля не только движется по кривой циркуляции, но и вращается вокруг вертикальной оси. Сопротивление воды повороту тем выше, чем больше площадь погруженной части диаметра A и чем больше длина судна L . Кроме того, сопротивление воды зависит от формы подводной части катамарана — чем дальше от ЦТ размещены подводные части корпусов, тем больше момент сопротивления вращению.

Поскольку судно при повороте стремится сохранить направление своего движения, руль должен непрерывно отклонять его корпус от касательной к циркуляции. В связи с этим в начальный период вращения катамарана происходит с углами ускорения. Возникающие моменты сил инерции также препятствуют повороту судна. Поворотливость судна тем меньше, чем больше момент инерции веса корпуса.

На радиусе циркуляции влияет также момент, создаваемый парусами. Если катамаран совершает поворот оверштаг или приводится на ветер, поворотливость катамарана тем лучше, чем ближе к корме располагается ЦД ветра. Для облегчения поворота на парусных судах трапят стаксель и по мере поворота оверштаг подбарют грот. Это приводит к тому, что ЦД смещается в корму и ветровой момент помогает поворачивать яхту.

Если судно совершает поворот форлевиад или уваливает под ветер то, чтобы усилить действие ветрового момента, трапят грот и выбирают ятугу стаксель. ЦД ветра перемещается сильно в нос и способствует уваливанию яхты и началу поворота форлевиад.

Подведем некоторые итоги. Поворотливость судна будет тем выше, чем:

- меньше его размеры и вес;
- короче подводная часть судна;
- осадка в оконечностях меньше осадки в средней части яхты;
- больше площадь руля и чем дальше он отнесен в корму.

Судно с равномерно распределенной осадкой, например катамараны типа «Ману-Кан», обладают значительно худшей поворотливостью, чем швертботы и килевые яхты с короткими глубокими килем.

Головные катамараны той же парусности, что и швертботы имеют меньшее водоизмещение и большую площадь руля, поэтому их поворотливость или одинакова или даже лучше, чем

у швертботов. И, конечно, катамараны со швертами маневрируют намного легче, чем катамараны с клиновидными корпусами без швертов.

Устойчивость катамарана на курсе

Устойчивость на курсе зависит от тех же величин, что и поворотливость, но то, что улучшает поворотливость, ухудшает устойчивость на курсе. Задача конструктора катамарана сводится к тому, чтобы найти удачное компромиссное решение, удовлетворяющее в известной мере и тем и другим требованиям.

Как отмечалось ранее, работа со шкотами в значительной мере изменяет ветровой баланс яхты, перемещая центр давления ветра.

Рассматривая рис. 24, а, можно сделать следующие выводы:

— если ЦД ветра расположен впереди ЦС воды, то судно стремится увалиться;

— для удержания судна на курсе необходимо перекладывать руль на ветер;

— чем ближе ЦД ветра к ЦС воды, т. е. чем меньше a , тем меньше отклоняющий ветровой момент D_v , следовательно тем меньше надо перекладывать руль, чтобы удержать судно на курсе.

Любая перекладка руля, как уже нам известно, приводит к появлению вредного лобового сопротивления X_p , уменьшающего скорость хода. Поэтому, чем меньше момент D_v , тем выше скорость. В случае расположения центров давления ветра и воды на одной вертикали момент равен нулю, значит не нужно перекладывать руль. Судно, таким образом, оказывается «сбалансированным» и движется прямолинейно по курсу.

Из рис. 24, б видно, что:

— если ЦД ветра расположен позади ЦС воды, то судно стремится привалиться;

— для удержания его на курсе необходимо перекладывать руль под ветер;

— чем ближе ЦД ветра к ЦС воды, т. е. чем меньше a , тем меньше отклоняющий ветровой момент D_v , следовательно, тем меньше надо перекладывать руль для удержания судна на курсе.

Таким образом, для устойчивого прямолинейного движения судна требуется, чтобы ЦД ветра и ЦС корпусов располагались на одной вертикальной прямой, как показано на рис. 24, в.

Но это только теоретическое условие. В действительности размещение центров давлений должно быть несколько иное.

В парусном спорте взаимное соотношение положения центров давлений принято называть «центровкой яхты». Для упрощения вначале рассмотрим центровку однокорпусного судна.

Пусть ЦС воды и ЦД ветра располагаются на одной вертикальной оси. Это будет правильным для движения судна в кр-

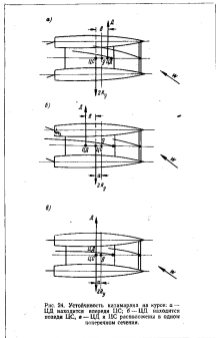


Рис. 24. Устойчивость катамарана на курсе: а — ЦД находится впереди ЦС; б — ЦД находится позади ЦС; в — ЦД и ЦС расположены в одной вертикальной плоскости.

той безветрия. Однако, если судно пойдет более волнивым курсом, то ЦД ветра вместе с парусом перемещается под ветер. Силы тяги T и дрейфа D паруса образуют вращающий момент (рис. 25)

$$M = T b_2 - D b_1.$$

Было бы желательно иметь равенство моментов $T b_2$ и $D b_1$. Но на практике это невозможно. Например, на волных курсах, когда силы D и R_0 очень малы, момент $M = T b_2$ и судно сильно

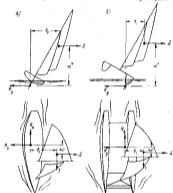


Рис. 25. Нарушение инерции от крена: а — атака, б — атака-шарка.

приводится. Во избежание этого полезно выносить стаксель «за бабочку» или поднимать вместо него спинaker. Таким образом, из-за несимметричного расположения парусов ЦС воды и ЦД ветра всегда не совпадают.

Но самое главное, что влияет на центровку яхты — это ее ходовой крен. При крене яхты ЦС воды практически не меняет своего положения. В то же время из-за наклона парусов ЦД ветра далеко смещается под ветер. Образуется огромный рычаг b_2 , за который силы T и R_0 поворачивают судно (рис. 25, в).

В то же время момент силы D и R_0 почти не меняется. Следовательно, при крене парусное судно сильно приводится. Для удержания его на курсе приходится перекладывать руль на очень большой угол. В результате яхта резко теряет ход.

Центровать яхту рекомендуется так, чтобы при совмещении плоскости парусов и диаметра корпуса ЦД ветра располагался немного впереди ЦС воды. Оптимизация таким образом яхты в слабый ветер (до двух баллов) будет слегка увеливать. В более сильный ветер стремление яхты приводиться из-за влияния крена будет компенсироваться увеличением за счет вынесенного вперед ЦД ветра. Яхта при этом идет прямо. Если ветер усилится, то судно начнет слегка приводиться.

Теперь остановимся на центровке двухкорпусного судна (рис. 26, б). У катамарана при крене сила сопротивления воды приложена к подветренному корпусу. В связи с этим плечо b_2 оказывается намного меньше, а значит намного меньше и момент приведения к ветру. Так как катамараны ходят с очень малыми кренами, то в действительности момент $T b_2$ будет еще меньше. Следовательно, катамараны принадлежат к числу хорошо сбалансированных судов. Даже при крене ЦД ветра к ЦС воды у них близки друг к другу. Поэтому предварительное смещение ЦД ветра к форштевию у катамаранов должно быть намного меньше, чем у однокорпусных судов, на некоторых катамаранах, наоборот, приходится размещать ЦД ветра позади ЦС воды.

Очень хорошо сбалансирован катамаран с параллельным парусным вооружением. Разделение парусности приводит к почти одинаковому ЦД ветра и приближению его к яхте. Поэтому при одинаковой парусности плечо b_2 у двухмачтового катамарана меньше, чем у одномачтового. Двумачтовый катамаран окажется идеально сбалансированным и, на зопутных курсах, когда его парусы можно установить «бабочкой».

Ходовые качества катамаранов

При движении с дрейфом корпуса катамарана можно рассмотреть как два изолированных крыла малого удлинения, на которые набегает поток воды со скоростью хода судна и под углом атаки, равным углу дрейфа δ (рис. 26, а). При этом длина корпуса L равна наибольшей хорде крыла, а осадка T — половине размаха крыла. Если катамаран движется инертом, то его можно представить в виде аэродинамической системы (рис. 26, б). Где шверты являются крыльями, а корпус фюзеляжем. Схема аэроплана получается путем зеркального отражения подводной части корпуса, поскольку горизонт воды является плоскостью симметрии для погруженной части корпуса.

Поток воды создает на каждом корпусе гидродинамическую силу, действующую, главным образом, в горизонтальной

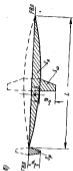
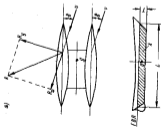


Рис. 26. Сила, действующая на катеран при движении с дрейфом: а — без дрейфа; б — со дрейфом.

плоскости (рис. 26, а). Эта сила может быть разложена, как известно, на лобовое сопротивление R_x , направленное навстречу движению судна, и поперечную силу R_y , перпендикулярную движению судна.

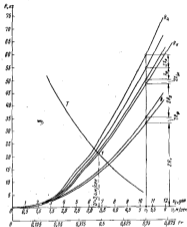


Рис. 27. Зависимость сопротивления в воде движению катерана от скорости его хода ($\varphi = 0^\circ$; $\delta = 0^\circ$; $V_s = 7$ м/сек).

Задача конструктора наружного судна состоит в том, чтобы создать корпус, у которого лобовое сопротивление R_x будет минимальным, а поперечная сила R_y максимальной.

Согласно гипотезе Фруда полное сопротивление судна равно сумме трех составляющих:

- 1) сопротивления трения R_t ;
- 2) сопротивления формы (вихревого) R_d ;
- 3) полного сопротивления R_p .

и может быть выражено через коэффициент соответствующего сопротивления, скорости течения и величиной смоченной поверхности

$$R = R_0 + R_{\text{в}} + R_{\text{с}} = (\zeta_{\text{в}} + \zeta_{\text{с}} + \zeta_{\text{с}}) \frac{\rho v^2 \Omega}{2}$$

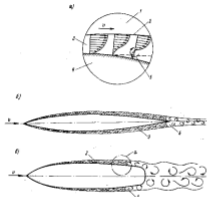


Рис. 28. Схема образования пограничного слоя: а — зона изменения скоростей в пограничном слое; б — пограничный слой судна с большим удлинением; в — пограничный слой судна с малым удлинением.

1 — тончайший слой воды; 2 — граница пограничного слоя; 3 — пограничный слой; 4 — корпус; 5 — место отрыва потока.

Рассмотрим сначала составляющие лобового сопротивления R_0 . В общем балансе сопротивлений катамарана значительную роль играет трение (рис. 27).¹ Область воды вблизи поверхности корпуса, в которой происходит трение частиц потока, принято

называть пограничным слоем. Толщина пограничного слоя меняется по длине корпуса и у кормы достигает наибольшей величины (рис. 28, б). В среднем в районе видела толщина пограничного слоя составляет 1% от длины по ГВЛ, а у кормы — около 2%. Трение частиц в пограничном слое воды, связанное с их относительным смещением (рис. 28, а), и создает сопротивление, направленное против движения судна.

Спротивление трения зависит от длины подводной части судна, от величины и чистоты поверхности, от скорости движения судна и от характера потока в пограничном слое. Различают два основных режима течения воды — ламинарный и турбулентный. При ламинарном течении вода движется как бы концентрическими слоями параллельно обтекаемой поверхности корпуса (струйное течение). При турбулентном течении частицы воды перемещаются не только вдоль обтекаемой поверхности судна, но и перпендикулярно ей, как бы перемешиваясь одна с другой.

При низких скоростях и небольших размерах обтекаемой поверхности наблюдается ламинарное течение. При увеличении скорости ламинарный поток переходит в турбулентный. Характер движения воды определяется числом Рейнольдса

$$Re = \frac{vL}{\nu}$$

где L — длина погруженной части корпуса, м; v — скорость хода судна, м/сек; ν — кинематический коэффициент вязкости воды; при температуре 20°С можно принимать $\nu = 1,0 \cdot 10^{-6}$ м²/сек.

Опыты показывают, что переход ламинарного потока в турбулентный происходит при $Re = 6 \cdot 10^5$. Для катамарана длиной 4 м при скорости хода $v_{\text{кр}} = 1$ узл. $Re = 2,0 \cdot 10^6$. Следовательно, практически при любой скорости хода катамаран обтекается турбулентным потоком. Сопротивление трения в турбулентном потоке выше, чем при ламинарном течении.

Чтобы знать сопротивление трения, необходимо знать площадь смоченной поверхности судна Ω . Смоченной называется поверхность корпуса судна, соприкасающаяся с водой.

При равном водоизмещении и равной длине однокорпусное судно имеет меньшую смоченную поверхность, чем геометрически подобное двухкорпусное (рис. 29). Для примера сравним и в этом отношении гоночный катамаран «Осело» ($L = 5,32$ м, $D = 0,32$ г) с галсированным швертботом «Летучий голландец» ($L = 5,48$ м, $D = 0,31$ г); у катамарана $\Omega = 6,32$ м², а у швертбота $\Omega = 5,27$ м², т. е. на 26% меньше. При проектировании следует стремиться предельно снижать смоченную поверхность катамарана. Наименьшую смоченную поверхность имеет корпус с поперечным сечением в виде полуокружности (рис. 29, в).

¹ Здесь и далее все расчетные графики и таблицы приведены для катамарана, теоретической четв. килеватки и основных размеров даны из рис. 28.

Полезной характеристикой для сравнения корпусных судов является отношение площади парусности S к площади смоченной поверхности Ω . Чем выше это отношение, тем быстрее ходит судно. Для гоночных швертботов $\frac{S}{\Omega} = 3-4$; у гоночных катамаранов

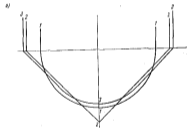


Рис. 29. Важные формы корпуса на величину смоченной поверхности в табуреты гуака; а — сравнение поверхностей сетчатой одноосевого и двухосевого судна равной длины и равного водоизмещения (конечная поверхность двухосевого судна на 44% больше, чем одноосевого); б — сравнение корпуса сферического водоизмещения, имеющих разную форму.

1 — округлые обводы; 2 — конические обводы; 3 — округло-конические обводы.

равно из-за увеличенной смоченной поверхности $\frac{S}{\Omega} = 2,8-4,0$.

При равной длине крейсерские катамараны намного легче, чем крейсерские килевые яхты (из-за отсутствия балластного кила), поэтому их смоченная поверхность меньше. Например, катамаран «Маму Каз» ($D=1,35$ т, $L=9,5$ м, $S=45,5$ м²) имеет

$\Omega=19$ м², а крейсерская килевая яхта примерно той же длины ($D=9,45$ т, $L=9,35$ м, $S=82,5$ м²) имеет $\Omega=35$ м². По относительной парусности крейсерский катамаран ($\frac{S}{\Omega}=2,4$) и крейсерская килевая яхта ($\frac{S}{\Omega}=2,35$) оказываются равноценными.

На рис. 30 приведен график, показывающий влияние различной степени шероховатости на сопротивление трения R_t корпуса спортивного катамарана длиной около 5 м. При рассмотрении этого графика ставятся совершенно очевидные требования всемерного снижения шероховатости обшивки судна. Лучшими в этом отношении являются суда с пластмассовыми корпусами. Снижение высоты бугорков с 0,5 до 0,05 мм при скорости хода $v_k=15$ узл. (см. рис. 30) приводит к уменьшению сопротивления трения с 74 до 45 кг. С повышением скорости влияния шероховатости корпуса значительно возрастает.

На сопротивление трения влияет относительно к шероховатости $\frac{k}{L}$

(k — высота бугорков шероховатости). Поэтому, чем меньше длина обтекаемой детали, тем ниже должна быть величина шероховатости. Это особенно важно для швертов и рулей. Они должны быть тщательно обработаны.

Толщина пограничного слоя воды, а следовательно, и сопротивление трения, в основном, зависят от степени шероховатости передних кромок обтекаемых деталей. Поэтому с особой тщательностью надо обрабатывать форштевень, а также передние кромки рулей и швертов. Передние половины поверхностей швертов и рулей желательно шлифовать и даже полировать.

Как видно из рис. 30, сопротивление трения R_t растет при увеличении скорости хода катамарана. Вместе с тем особенно большую роль R_t играет при малых скоростях, когда волновое сопротивление практически отсутствует. При больших скоростях ход

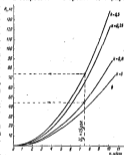


Рис. 30. Зависимость сопротивления трения корпуса от степени шероховатости. k — высота бугорка шероховатости.

волновой сопротивляемость значительно усложняется. Но и в этом случае у катамаранов, в отличие от однокорпусных судов, волновой сопротивление не является определяющим. При движении узких корпусов катамаранов волновой сопротивляемость оказывается равной сопротивляемости трения, поэтому при проектировании катамаранов необходимо уделять большое внимание уменьшению смоченной поверхности как основного фактора, влияющего на сопротивление трения.

Некоторую роль в общем балансе сопротивления корпуса играет вихревое сопротивление катамарана (как сопротивление формы).

При срыве вихрей за кормой судна образуются зоны пониженного давления, что приводит к образованию силы сопротивления. Чем короче и шире судно, тем интенсивнее перепад давлений в корме и в идеале, а значит, тем раньше происходит отрыв пограничного слоя. Следствием этого является более интенсивное вихреобразование и большее сопротивление формы (см. рис. 28, б и в).

Корпуса парусных катамаранов обычно бывают чрезвычайно узкими. Отношение $\frac{L}{B_k}$ у океанских крейсеров катамаранов равно 15—22, а у малых гоночных судов 8—15.

При выборе главных размерений катамаранов, рассчитываемых на получение больших скоростей, рекомендуется принимать высокие отношения $\frac{L}{B_k}$. В этом случае сопротивление формы у катамаранов, движущихся без крена и дрейфа, весьма мало.

Если корпуса катамарана расположены слишком близко один к другому, возникает взаимное влияние корпусов; при этом поток между ними приобретает большие скорости, что приводит к росту сопротивления формы. В некоторых случаях сопротивляемость формы возрастает в 2—3 раза. Чтобы исключить это вредное взаимное влияние корпусов, расстояние между ними B_2 должно быть в 5—7 раз больше ширины корпуса B_k . Современные катамараны имеют $\frac{B_2}{B_k} = 5-6$.

Сопротивление судна тем выше, чем полнее его обводы. При коэффициенте общей плавности $\delta < 0,5$ сопротивляемость формы незначительно и не превышает 8—9% от сопротивления трения. Рост сопротивляемости формы заметен только у очень полных судов ($\delta > 0,75$). Катамараны относятся к острым судам; у них $\delta = 0,25-0,45$, поэтому сопротивляемость формы двухкорпусных судов невелика.

Сопротивление формы, вызванное вихреобразованием, значительно возрастает за счет индуктивного сопротивления корпусов катамарана при движении с дрейфом. В этом случае корпус

судна можно рассматривать как два изолированных крыла большого удлинения $\lambda = \frac{2 \cdot T^2}{A}$ (см. рис. 26, а).

Напомним, что индуктивное сопротивление возникает вследствие перетекания струек воды из области повышенного давления в область разрежения. При этом происходит срыв вихрей и, как следствие, потеря энергии. Область вихреобразования увеличивается с уменьшением удлинения корпусов λ .

Сопротивление формы является основным фактором, создающим поперечную силу корпуса, которая противодействует дрейфу.

Расчет показывает, что на большой скорости ходя корпусов катамарана создается значительная поперечная сила, которая может полностью уравновесить силу дрейфа парусов при весьма малых углах дрейфа. Следовательно, быстроходные катамараны с достаточной осадкой корпусов могут не иметь швертов.

Чтобы еще сильнее противодействовать дрейфу, корпусам катамаранов, не имеющих швертов, придают несимметричную форму. При этом внутреннее борта имеют нормальные выпуклые образования, а наружные — почти плоские (рис. 31, а).

Катамаран с несимметричными корпусами можно рассматривать как два крыла малого удлинения несимметричного профиля. Из теории крыла несимметричного профиля известно, что даже при нулевом угле атаки крыло из-за несимметричного обтекания создает поперечную силу. Коэффициент поперечной силы C_{P_k} будет равен нулю при угле атаки δ_k с другой стороны под определенным углом $\delta_k = 87,5 \frac{B_k}{2L}$. Этот отрицательный угол атаки, при котором $C_{P_k} = 0$, называется углом нулевой поперечной силы. При несимметричном профиле корпуса угол атаки δ_k надо отсчитывать не от ДП, а от угла δ_0 . Следовательно, для подветренного корпуса эффективный угол атаки увеличивается ($\delta_k = \delta + \delta_0$), а для наветренного, наоборот, уменьшается ($\delta_k = \delta - \delta_0$).

У катамарана с несимметричными корпусами поперечная сила подветренного корпуса значительно возрастает, в результате общая поперечная сила оказывается существенно выше (в 1,25—2 раза), чем общая поперечная сила, создаваемая двумя симметричными корпусами (рис. 31, а). Преимуществом несимметричных корпусов особенно значительны при малых углах дрейфа ($\delta = 2-4^\circ$). В этом диапазоне даже один подветренный несимметричный корпус создает поперечную силу, превышающую суммарную поперечную силу двух симметричных корпусов.

Опыт эксплуатации катамаранов «Малу Кан», «Айкан» и других, а также модельные испытания показали, что несимметричная конструкция корпусов является весьма эффективной и обеспечиваетхождение под парусами очень крутым бездевиндом.

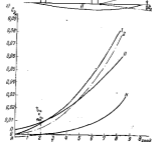
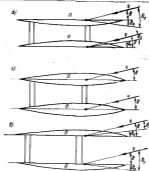


Рис. 31. Зависимость волновой поверхности судна от формы корпусов катамарана: а — корпус с двойной выпуклыми бортами; б — симметричные корпус; в — корпус с внутренними выпуклыми бортами; г — график зависимости коэффициента волновой силы C_w от угла атаки δ .

1 — волновая сила, создаваемая двумя несимметричными корпусами; 2 — волновая сила, создаваемая двумя симметричными корпусами; 3, 4 — волновая сила, создаваемая двумя несимметричными корпусами.

Существуют катамараны, у которых несимметричные корпуса повернуты выпуклыми бортами наружу (рис. 31, а). При ходе без крена они не уступают по эффективности катамаранам с внутренними выпуклыми бортами. Но при крене, когда наветренный корпус выходит из воды, угол атаки подветренного корпуса будет равен $\delta_0 - \delta - \delta_0$, а следовательно, поперечная сила будет ниже, чем у катамарана с симметричными корпусами.

Вопрос о применении несимметричных корпусов до сих пор не получил окончательного решения и вызывает много споров. Несимметричный профиль создает большую поперечную силу, но он вызывает и более высокое сопротивление, чем симметричные корпуса. Существует мнение, что сопротивление корпусов катамарана должно уменьшаться за счет выпуклости внутренних бортов согласно принципу движения среды в поле реактивного двигателя. Однако ни экспериментально, ни теоретически эти предположения не подтверждаются. Наоборот, известно, что при очень близком взаимном расположении корпусов сопротивление их увеличивается.

Катамаран с несимметричными корпусами, по мнению американского конструктора Г. Майера, имеет преимущества перед судном с симметричными корпусами в диапазоне скоростей

$$0,46 \sqrt{gL} < v < 0,9 \sqrt{gL}.$$

где $g = 9,81$ м/сек² — ускорение силы тяжести.

В этом диапазоне большую роль играет волновая сопротивление. Несимметричные суда с глубокими V-образными шпангоутами имеют меньшую ширину и меньшее волновое сопротивление.

При скоростях хода $v < 0,45 \sqrt{gL}$ и $v > 0,9 \sqrt{gL}$ значительную долю волнового сопротивления составляет сопротивление трения. Катамараны с симметричными U-образными корпусами имеют меньшую смоченную поверхность, чем несимметричные суда, а значит и меньшее сопротивление трения.

При высоких скоростях хода большую роль в балансе сопротивления играет волнообразование (см. рис. 27). Сущность этого вида сопротивления воды заключается в следующем. При обтекании судна водой происходит изменение давления вдоль смоченной поверхности корпуса (рис. 32). Давление у форштевяка повышается и становится больше атмосферного. В связи с этим уровень воды здесь поднимается на некоторую высоту, пропорционально повышению давления (рис. 32, а). В районе носидель давление оказывается ниже атмосферного, поэтому здесь уровень воды опускается. В кормовой части давление снова повышается, что приводит к подтому поверхности воды. Поскольку судно движется вперед, вода в носу и в корме выводится из равновесия, при этом она по sternу поднимается на высоту большую, чем это требуется для уравновешивания избыточного давления.

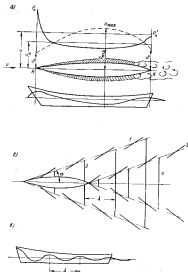


Рис. 32 Волнообразование при движении судна: а — образующая волна, вызываемая изменением давления воды по длине судна; б — системы расходящихся и поперечных волн; в — уменьшение размеров поперечных волн; г — волны расходящихся волн; 1 — крайние расходящиеся волны; 2 — крайние поперечные волны; 3 — внутренние поперечные волны.

Затем уровень воды опускается, а в дальнейшем происходит колебание поверхности воды в виде двух систем волн — носовой и кормовой.

Если посмотреть на движущееся судно сверху, то можно отчетливо различить две группы волн, образовавшихся у носа и кормы — расходящиеся и поперечные (рис. 32, б).

Расходящиеся волны идут короткими параллельными между собой отрезками, каждый из которых сдвинут в сторону от предыдущего. Середина гребней расходящихся волн располагается на прямых линиях, образующих угол $\alpha = 18-20^\circ$ с направлением движения судна. При ходе судна на глубокой воде этот угол практически остается постоянным, независимо от формы корпуса и скорости судна. Поскольку носовая и кормовая системы расходящихся волн располагаются под одинаковым углом α , они не встречаются. Высота расходящихся волн по мере удаления их от судна уменьшается.

Поперечные волны располагаются внутри «треугольника», образованного расходящимися волнами. По мере удаления поперечных волн от точки зарождения длина их гребней растет, а высота уменьшается (рис. 32, в). Падение высоты волны происходит пропорционально корню квадратному из расстояния от точки зарождения. Расстояние λ между гребнями поперечных волн равно друг другу. Величина λ называется длиной поперечной волны. Она зависит от скорости бега волны. Скорость бега судовых волн равна скорости хода судна v .

Длина волны равна

$$\lambda = \frac{2v^2}{g} \quad (25)$$

Следовательно, при увеличении скорости хода судна длина поперечных волн растет.

Волновое сопротивление зависит от водоизмещения, длины, формы подводной поверхности и скорости хода судна. Чем больше водоизмещение, чем полное обводы судна, тем интенсивней происходит волнообразование, поскольку траектории частиц воды, обтекающей судно, искривляются сильнее, а количество воды, вытесняемое судном, увеличивается. С ростом скорости перепада давления в носу и в корме судна резко возрастает, размеры волн увеличиваются, а следовательно, увеличивается и волновое сопротивление.

На рис. 33, а показана зависимость волнового сопротивления от скорости хода для двух судов разной длины. Поскольку волновое сопротивление в значительной мере зависит от длины судна L , при построении кривых волнового сопротивления по горизонтальной оси принято откладывать не абсолютное значение скорости v , а относительное, связанное с длиной судна L . Относительная скорость называется часто числом Фруда и обозна-

чается Fr . Число Фруда равно

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gL}}$$

При одинаковых числах Fr разное по длине и скорости движение суда вызывают волнообразование одинакового характера.

С увеличением скорости волновое сопротивление растет весьма интенсивно, намного быстрее, чем сопротивление трения и формы. Этим и объясняется, что на малых скоростях хода волновое сопротивление практически отсутствует, зато на больших оно играет значительную роль.

На кривых волнового сопротивления (рис. 33, а) можно заметить местные впадины и горбы. Эти отклонения от общей кривой вызваны интерференцией (наложением) носовых и кормовых поперечных волн (рис. 34).

Сильнее всего интерференция волн проявляется в том случае, когда на длине судна укладывается целое число полуволн. В этом легко убедиться проделав ряд построений волн по длине судна. Если число полуволн, расположенных по длине судна, четное, то гребень носовой волны встречается у ахтерштевня со впадиной кормовой волны. В результате сложения гребней и впадин суммарная высота волн снижается (рис. 34, в). Это приводит к уменьшению волнового сопротивления, так как энергия волнообразования пропорциональна квадрату высоты волн.

Если на длине судна располагается нечетное число полуволн (рис. 34, е), гребень носовой поперечной волны встречается у ахтерштевня с гребнем кормовой поперечной волны. Оба гребня, складываясь, дают высокую волну за кормой. В результате этого волновое сопротивление возрастает.

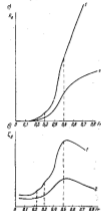


Рис. 33. Зависимость от скорости хода судна: R — волнового сопротивления; R_w — коэффициента волнового сопротивления.

1 — судно с малым отношением $\frac{L}{B}$
2 — судно с большим отношением $\frac{L}{B}$

(рис. 34, е), гребень носовой поперечной волны встречается у ахтерштевня с гребнем кормовой поперечной волны. Оба гребня, складываясь, дают высокую волну за кормой. В результате этого волновое сопротивление возрастает.

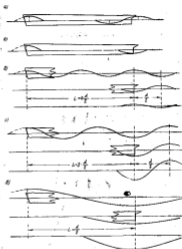


Рис. 34. Интерференция носовых и кормовых поперечных волн: а, б — дельта и расчетная схемы образования волн; в, с, д — интерференция волн при различном числе полуволн по длине судна.

Длина поперечных волн λ , как говорилось выше, зависит в зависимости от скорости хода судна (см. формулу (25)). При определенных скоростях возникает благоприятная интерференция волн, при других — неблагоприятная. Нетрудно определить эти скорости.

Из формулы (25), сделав правую и левую части на L , находим

$$\frac{\lambda}{L} = 2\pi \frac{v^2}{gL} = 2\pi Fr^2,$$

откуда

$$Fr = \sqrt{\frac{\lambda}{2\pi L}}.$$

Мы уже знаем, что интенсивная интерференция волн происходит тогда, когда по длине судна располагается целое число полуволн, т. е. $L = n \frac{\lambda}{2}$. Подставляя это значение L в выражение для Fr , находим

$$Fr = \frac{1}{\sqrt{2n}}. \quad (26)$$

При $n = 1, 3, 5, \dots$ имеет место неблагоприятная интерференция волн, если же $n = 2, 4, 6, \dots$, происходит благоприятная интерференция, что соответствует востроикам на рис. 34.

Посмотрим теперь, как изменяется волновое сопротивление в зависимости от скорости хода судна (см. рис. 33). Будем выражать скорость хода числом $Fr = \frac{v}{\sqrt{gL}}$.

На графике видно, что $R_w = 0$ при малых скоростях ($Fr \approx 0,15$). Обычно волновое сопротивление у коротких полных судов достигает заметных величин при числах Фруда $Fr = 0,15 - 0,17$.

При $Fr = 0,22$ у коротких полных судов наблюдается интенсивное возрастание сопротивления. Это объясняется неблагоприятной интерференцией поперечных волн, так как при такой скорости на длине судна располагается пять полуволн. Происходит сложение гребней с гребнями и впадин со впадинами, в результате высота поперечных волн возрастает. Аналогичная картина имеет место при $Fr \approx 0,3$ ($n = 3$).

Наконец, при $Fr \approx 0,5$ возникает наиболее неблагоприятная интерференция носовых и кормовых поперечных волн. В этом случае по длине корпуса располагается одна полная полуволна (рис. 34, б). Действительно, из формулы (26) при $n = 1$ получаем $Fr = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot 1}} = 0,56$.

Гребень носовой волны складывается с гребнем кормовой, точно также складываются и впадины носовой и кормовой волн.

За кормой судна образуется осеромажная волна, на поддержание которой затрачивается большая энергия. Волновое сопротивление судна резко возрастает (см. рис. 33, а). Судно как бы «защемлено» между носовой и кормовой волнами.

В теории корабля волновое сопротивление принято выражать формулой

$$R_w = C_w \frac{\rho v^3 L^2}{2}. \quad (27)$$

На рис. 33, б показан график зависимости коэффициента волнового сопротивления C_w от $\frac{v}{\sqrt{gL}}$. В отличие от коэффициента

сопротивления формы и трения, который мало изменяется при изменении скорости, коэффициент C_w испытывает резкие колебания при изменении скорости. Все холмы и впадины, связанные с благоприятной и неблагоприятной интерференцией поперечных волн, видны здесь особенно четко. Вместе с тем после наибольшего значения C_w (при $Fr = 0,5$) бросается в глаза резкое его снижение. Это связано с уменьшением волнового сопротивления на высоких скоростях.

Рассмотрим волновое сопротивление длинных острых судов, к которым относится катamarаны ($\delta < 0,5; \frac{L}{\delta} > 10$).

Волновое сопротивление начинает существенно проявляться только при относительной скорости $Fr = 0,20 - 0,25$. Максимумы на кривой волнового сопротивления R_w и на кривой коэффициента волнового сопротивления C_w при числе Фруда $Fr = 0,22$ и $Fr = 0,3$ у острых судов не наблюдается. Пик при $Fr = 0,5$ является ниже, чем у полных коротких судов. Уменьшение пика волнового сопротивления связано с тем, что носовые поперечные волны на большой длине успевают интерферировать с кормовыми прежде чем вступают в интерференцию с носовыми (см. рис. 32).

Если мощность механизма или тяга парусов достаточна для преодоления максимального пика волнового сопротивления, то при дальнейшем увеличении скорости свыше $Fr = 0,5$ возрастание волнового сопротивления происходит медленнее (рис. 33, а).

При дальнейшем увеличении скорости возникают вертикальные гидродинамические силы, которые выталкивают судно из воды. Судно переходит на режим глиссирования, при котором его сопротивление снижается за счет уменьшения смоченной поверхности корпуса.

Таким образом, характер изменения волнового сопротивления у длинных острых судов. Поскольку катamarаны относятся к числу длинных острых судов, их кривые сопротивления подобны рассмотренной выше. Однако имеются и некоторые

особенности при движении катамарана с высокими скоростями.

Одной из таких особенностей является интерференция расходящихся волн. У однокорпусных судов интерференция расходящихся волн невозможна. У двухкорпусных она имеет место (рис. 35). Яхтенный конструктор Н. Херсгоф обнаружил, что если расходящиеся носовые волны каждого корпуса катамарана

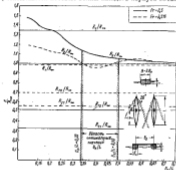


Рис. 35. Волновые расстояния между корпусами на сопротивлении катамарана.

R_{Σ} — суммарный drag корпуса, дающего эквивалентный drag от двух, R_1 и R_2 — сопротивления тела симметричного и асимметричного судов, R_3 и R_4 — волны симметричного и асимметричного судов.

Характеристики катамарана: $\frac{L}{B} = 14$, $\frac{B}{T} = 1.2$, $\beta = 0.5$, $\alpha = 0.85$

Характеристики однокорпусного катера: $\frac{L}{B} = 8$, $\frac{B}{T} = 2.5$, $\beta = 0.5$, $\alpha = 0.85$.

встречаются под мостком в нос от модельного сечения, то происходит увеличение сопротивления и потеря скорости судна. В том случае, когда волны встречаются ближе к корме (рис. 35), потери не происходят. Учитывая эту закономерность, выбирают такое расстояние между корпусами, при котором волновое сопротивление минимально.

Вторая особенность волнового сопротивления катамарана —

взаимное влияние корпусов на гидродинамические потоки. Выше, при рассмотрении сопротивлений формы, уже говорилось, что поток воды между близко расположенными корпусами оказывается сильно сжатым. Скорость воды при этом возрастает в много раз, чем при обтекании изолированных корпусов, в связи с чем высота поперечных волн увеличивается. Волновое сопротивление, особенно при скорости $F_r = 0.5$, резко возрастает (рис. 35). При уменьшении расстояния между корпусами волновое сопротивление растет очень интенсивно и может в два раза превысить сопротивление изолированных корпусов. Это явление сходно с ростом сопротивления судна при движении в узком канале.

Взаимное неблагоприятное влияние несимметричных корпусов, имеющих выпуклые внутренние борты (типа «Ману Канэ»), еще выше, чем у симметричных. Чтобы уменьшить вредное влияние корпусов на волновое сопротивление, необходимо выбирать расстояние между ними не менее $5-8 B_0$, а $B_0 > 0.35 L$ (рис. 35).

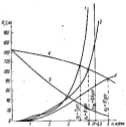


Рис. 36. Зависимость скачка сопротивления от скорости хода.

1 — корпусный drag; 2 — сопротивление от волнового сопротивления; 3 — сопротивление от волн же длины, но без волнового сопротивления; 4 — сумма drag при этих условиях; 5 — сумма drag при корпусной форме.

Если строится катамаран, у которого расстояние между корпусами по каким-либо соображениям должно быть минимальным, корпусам следует придать несимметричную форму, но выпуклые борты при этом необходимо располагать наружу.

Интересный пример взаимного влияния корпусов на волнообразование дает тримаран с корпусами, расположенными по треугольнику (например, «Траскаф» Х. Варкла). У такого тримарана два несимметричных корпуса расположены параллельно друг другу на одном уровне, а третий симметричный корпус помещается в месте встречи идущих от них расходящихся волн. При определенных скоростях интерференция волн, создаваемых передними корпусами, с волнами, создаваемыми задним корпусом, приводит к увеличению или уменьшению волнового сопротивления. В случае благоприятной интерференции волновое сопротивление заднего корпуса снижается на 83%.

На рис. 36 приведем кривые волнового сопротивления килевой яхты и двух катамаранов. Графики наглядно показывают преимущества катамаранной конструкции перед классической конструкцией яхты с балластом. Все суда имеют равную длину. Первый катамаран имеет то же водоизмещение, что и килевая яхта. Общее сопротивление этого судна немного ниже, чем у килевой яхты, несмотря на то, что его смоченная поверхность на 55% больше. Снижение общего сопротивления связано с уменьшением волнообразования.

Водоизмещение второго катамарана составляет только 56% от водоизмещения яхты. Уменьшение водоизмещения достигнуто за счет отказа от балластного кала, вес которого у яхты составляет 44% от водоизмещения. Благодаря этому снизилась смоченная поверхность и особенно волновое сопротивление.

При той же длине, что и у килевой яхты, катамаран имеет одинаковую с ней грузоподъемность, но вес его намного меньше, а скорость значительно выше, чем у классической килевой яхты.

Парусные килевые яхты и водоизмещающие швертботы являются сравнительно быстроходными судами. Их относительная скорость достигает величины 0,4—0,5. Но превысить эту скорость они не могут. Причина этого заключается в интенсивном росте волнового сопротивления тяжелых водоизмещающих судов при приближении их скорости к $Fr = 0,5$ —0,55. Имеющейся на яхтах мощности парусного вооружения не хватает, чтобы преодолеть пик волнового сопротивления (рис. 36). Увеличение парусности даже в 1,5—2 раза приводит лишь к незначительному росту скорости хода. Дальнейшее увеличение парусности ограничивается требованиями устойчивости. Предельная скорость хода v_{max} легко находится из числа Фруда $Fr = \frac{v}{\sqrt{gL}}$. Под-

ставляя сюда значение числа Фруда $Fr = 0,5$, при котором имеется максимальный пик волнового сопротивления, находим

$$v_{max} \approx 1,57 \sqrt{gL}. \quad (23)$$

Следовательно, для относительно коротких и тяжелых парусных судов существует «волновой барьер», преодолеть который они не могут. Этот волновой барьер и определяет их наибольшую скорость. Например, для швертбота «М» конструкции ЦЛСИ ($L = 5,77$ м) предельная скорость хода $v_{max} = 3,8$ м/сек, или около 7,5 узла.

В то же время у катамаранов пик волнового сопротивления намного ниже. Поэтому силы тяги их парусов хватает, чтобы преодолеть волновой барьер (рис. 36). Они развивают весьма большие скорости, намного превышающие $Fr = 0,5$. Возьмем, например, «Ману Кян» ($L = 9,6$ м), скорость которого достигает 20 узлов. Для этого судна $Fr = \frac{0,514 \cdot 20}{\sqrt{9,81 \cdot 9,6}} = 1,06$.

Для «Тайгерет» при длине по ватерлинии 4,52 м и наибольшей скорости 22 узла. относительная скорость $Fr = 1,66$.

Из рассмотрения кривых сопротивления катамаранов (рис. 33, 6) можно заметить, что на высоких скоростях ($Fr > 0,5$) роль волнового сопротивления падает. Но очень больших скоростей хода значительную долю в общем балансе сопротивления яхты составляет трение в погруженном слое. Поэтому еще раз следует подчеркнуть необходимость всемерного уменьшения смоченной

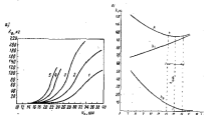


Рис. 37. Зависимость от длины судна: а — волнового сопротивления; б — общего сопротивления.

№ п/п	$\frac{L}{D}$	$\frac{R}{T}$
1	0,5	2,0
2	0,5	2,8
3	0,5	3,8
4	0,5	5,0
5	0,5	7,5

поверхности катамарана при сохранении предельно возможной длины корпусов.

Рассмотрим влияние длины катамарана на волновое сопротивление. Длина судна является одним из важнейших факторов, влияющих на волнообразование и волновое сопротивление. Из рис. 37, а можно видеть насколько резко уменьшается волновое сопротивление при увеличении длины, если водоизмещение судна и форма сечений сохраняются постоянными. Изменение длины получено за счет уменьшения поперечных размеров, но при сохранении отношения $\frac{D_x}{T}$. Это — лучший путь снижения волнового сопротивления.

Обеспечение устойчивости катамаранов за счет большого расстояния между корпусами позволяет уменьшать ширину ватерлинии до минимума, необходимого только для создания плавучести. Тем самым становится возможным значительное увеличение отношения $\frac{L}{B}$.

Однако при увеличении длины судна, как уже упоминалось, растет площадь смоченной поверхности. Поэтому снижение общего сопротивления происходит лишь тогда, когда увеличение сопротивления трения компенсируется резким уменьшением волнового сопротивления. Суммарное сопротивление при увеличении длины сначала падает, но затем медленно возрастает. Минимум общего сопротивления определяет наименьшую длину судна. В качестве примера на рис. 37, б приведены кривые сопротивления, вычисленные по расчетным графикам (см. ниже) для катамарана водоизмещением 1,98 т при отношении $\frac{B}{T} = 1,63$ и скорости 10 узл. Из диаграммы видно, что минимальное полное сопротивление достигается при $\frac{L}{B} = 13$. На практике обычно приходится отступать от оптимального удлинения судна в сторону его уменьшения, так как увеличение длины и уменьшение поперечных размеров невыгодно с точки зрения прочности и вызывает существенное увеличение корпуса и увеличение его строительной стоимости. Ряд других эксплуатационных требований часто также ограничивает стремление к увеличению длины.

Но из этой же диаграммы видно, что значительная отступания от оптимального удлинения могут быть допущены без большого ущерба для снижения сопротивления.

Влияние ширины корпуса также весьма значительно. Волновое сопротивление узкого судна растет пропорционально квадрату его ширины. Изменению ширины тесно связано с изменением длины и осадки судна. При этом и той же волонизации и длине судна уменьшение его ширины за счет увеличения осадки почти всегда способствует уменьшению волнового сопротивления.

Увеличение коэффициента обшей волноты судна δ при неизменных главных размерениях (L , B и T) повышает объем подводной части, что влечет за собой увеличение сопротивления воды движению катамарана.

Снижению волнового сопротивления быстролодных судов способствует увеличение коэффициента остроты $\psi = \frac{L}{\sqrt{V}}$.

До сих пор мы рассматривали так называемое сопротивление «голова» корпуса. Но, помимо корпуса, сопротивление воды вызывают все выступающие на него части — шверты и рули. При

ходе катамарана без дрейфа (полными курсами) сопротивление выступающих частей незначительно. Но при движении в бездрейфид и галфинд, когда судно идет с дрейфом, шверты и рули могут создавать весьма большое сопротивление.

Шверт, в поперечном сечении имеющий профиль двенадцатого крыла, эффективнее плоского (рис. 38). При одинаковых углах дрейфа он дает одинаковую с плоским поперечную силу (рис. 38, б, в), но меньшее лобовое сопротивление. При угле дрейфа $\beta = 2^\circ$ лобовое сопротивление профилированного шверта

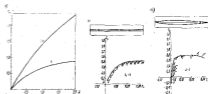


Рис. 38. Графики: а — для определения коэффициента поперечной силы при движении судна с дрейфом; б — полярная лобовая шверта; в — шверта профилированного шверта.

и 2,5—3 раза меньше, чем плоского. Поэтому все скоростные суда имеют профилированные шверты.

Существует ошибочное мнение, что профилированный шверт может быть сделан меньше по площади. Сравнение рис. 38, б и в показывает, что при одинаковых углах дрейфа коэффициенты $C_{R\beta}$ у обоих типов швертов одинаковы. Следовательно, при одинаковой силе дрейфа катамаран с профилированным швертом меньшей площади будет иметь больший дрейф, чем катамаран с плоским швертом нормальной площади. Например, на прототипе катамарана «Тайгерлет» были установлены шверты площадью $S_{ш} = 0,255 \text{ м}^2$ при удлинении $\lambda_{ш} = 2 \times 2,75$ и относительной толщине $\frac{t}{b} = 0,02$, т. е. толщина швертов составила 2% от средней ширины хорд. На серийных судах площадь швертов была уменьшена до $S_{ш} = 0,145 \text{ м}^2$, но удлинение увеличено до $\lambda_{ш} = 2 \times 4$ и относительная толщина возросла до 0,84%. Несмотря на увеличение $\lambda_{ш}$ и $\frac{t}{b}$, против ветра серийные суда ходят хуже, чем их прототип.

На головных судах применяют шверты с несимметричной профилировкой. Такие шверты, опускаемые поочередно в зависимости от галса, дают большую поперечную силу, чем симметричные. Их работа аналогична работе несимметричного корпуса, поэтому мы не будем останавливаться на этом вопросе подробно. На рис. 39, а показан асимметричный шверт катамарана «Тайгеркет». Шверты сделаны из алюминиевых листов

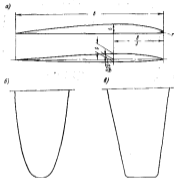


Рис. 39. Формы швертов: а — несимметричный плоско-выпуклый и двояковыпуклый профили; б — эллиптический; в — треугольный.

толщиной 6,4 мм с загибом по внутренней стороне. Наибольшая толщина сечения лежит приблизительно на расстоянии $\frac{1}{3}$ от входящей кромки; входящая кромка имеет небольшой радиус закругления, задняя кромка заострена.

Хорошие результаты дает применение двояковыпуклых несимметричных профилей.

Относительная толщина профилированных швертов составляет обычно 5—6%. Удлинение швертов по отношению к длине корпуса равно 2,5—3,0.

Наилучшая форма шверта в плане — эллиптическая, но неплохие результаты дает и трапеция с скругленными кромками (рис. 39, в).

Чтобы повысить эффективность швертов, их устанавливают в корпусе с небольшим углом ($0,5—2^\circ$) к ДП, поворачивая входящими кромками внутрь судна (рис. 40, а). При этом угол

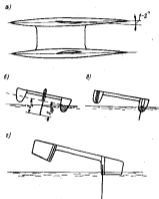


Рис. 40. Установка швертов на катамаране: а — шверты с заданным углом α ; б — шверт установленный на мостике; в — шверты в корпусе катамарана.

атаки шверта увеличивается, а следовательно, растет и его эффективность.

Вредное влияние на работу шверта оказывает илея в колдесе. Она снижает эффективность шверта и создает дополнительное сопротивление. Чтобы уменьшить это вредное влияние, илея закрывают неопределеными сальниками или резиновыми накладками. Сопротивление можно также понизить сносив заднюю торцовую стенку колдеса.

Площадь швертов, необходимую для создания достаточной поперечной силы, выбирают на основе статистических данных в зависимости от площади парусности и площади диаметрали.

Как было уже сказано, узкие корпуса катамаранов сами создают некоторую поперечную силу. Поэтому площадь швертов на катамаранах меньше, чем на однокорпусных шверботах. Если у швербота погруженная площадь шверта составляет 3—5,0% от площади парусности, то у катамаранов погруженная площадь одного шверта (при установке двух швертов в корпусах) составляет всего 0,7—0,8%.

Остановимся теперь на выборе системы швертов для катамарана. В случае установки швертов в корпусах их общая поверхность будет больше, чем поверхность одного шверта, закрепленного на мостике. Но при установке в корпусах рабочая поверхность каждого шверта может быть меньше, чем у расположенного на мостике. Это объясняется тем, что при крене катамарана часть шверта, расположенного на мостике, выходит из воды и не работает (рис. 40, б). Поэтому, чтобы компенсировать выходящую из воды часть, расчетную площадь шверта увеличивают. Например, на катамаране «Шираатер-III», имеющем один шверт на мостике, погруженная площадь шверта равна 1,4% от площади парусности. При крене катамарана с двумя швертами задетренный шверт всегда погружен в воду и эффективно работает (рис. 40, в). К недостаткам шверта, расположенного на мостике, следует отнести также вызываемое им волнообразование, хотя, по-видимому, влияние этого недостатка на ходкость судна незначительно. Можно считать, что с точки зрения гидродинамики обе системы швертов равноценны. По крайней мере на катамаране «Шираатер» при установке той и другой системы швертов видимой разницы в скорости хода получено не было.

Достоинством швертового устройства на мостике является возможность переменного угла установки шверта в зависимости от скорости хода и курса, что повышает его эффективность.

При наличии двух швертов полезно устанавливать их у внутренних бортов (рис. 40, в). В этом случае шверты получают наклон плоскостей наружу и при крене работают очень эффективно, так как движутся в воде почти вертикально.

В табл. 2 приведены относительные площади швертов катамаранов.

Катамаран, как и любая яхта, на ходу не сбалансирован в горизонтальной плоскости из-за смещения центров давления воды и ветра, поэтому для удержания его на курсе приходится перекачивать руль. Это приводит к появлению добавочного сопротивления руля (см. раздел об управляемости).

Все что сказано выше о швертах полностью можно перенести и на рули. Сечения пера симметрично профилированные. Удли-

нение рулей головных судов $\lambda_r = 2,5-3$. Площадь рулей выбирается в зависимости от площади диаметрали. Относительные значения площадей приведены в табл. 2. Обычно суммарная площадь рулей катамаранов несколько больше, чем у шверботов.

Поскольку угол перекадки рулей для удержания судна на курсе значителен, то добавочное сопротивление рулей достигает больших величин. При плохой центровке добавочное сопротив-

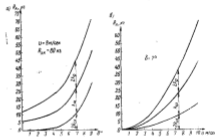


Рис. 41. Зависимость сопротивления шверта и рулей катамарана: а — от угла дрейфа; б — от скорости ветра.

ление двух рулей может составить почти 100% общего сопротивления голого корпуса.

На сопротивление корпуса судна значительное влияние оказывают дрейф и крен. Расчеты показывают, что дрейф катамарана приводит к существенному повышению сопротивления воды. Особенно резко увеличивается общее сопротивление с ростом угла дрейфа. На рис. 41, а показана зависимость сопротивления от величины дрейфа катамарана, теоретический чертёж которого дан на рис. 54. Основная причина такого увеличения — рост выдвинутого сопротивления корпуса R_{k1} и особенно швертов и рулей. С повышением скорости хода при сохранении постоянного угла дрейфа сопротивление также резко возрастает (рис. 41, б).

Следует, однако, заметить, что у катамаранов в связи с большим боковым сопротивлением корпуса, создающим дополнительную поперечную силу, дрейф меньше, чем у классических

извербован и кильемих яхт. Снижению дрейфа способствует также большая скорость хода катамарана (чем выше скорость хода, тем меньший угол атаки необходим для создания одинаковой поперечной силы).

Помимо дрейфа, на сопротивление парусного судна оказывает влияние крен. Рассмотрим влияние крена на каждую составляющую полного сопротивления катамарана.

При крене катамарана наветренный корпус выходит из воды, а подветренный погружается в воду на большую глубину. В результате смещенная поверхность наветренного корпуса умень-

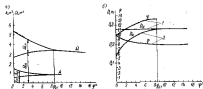


Рис. 42. Влияние крена на характеристики корпуса катамарана: а — смоченная поверхность; б — коэффициенты сопротивления

А — наветренный корпус; В — подветренный корпус.

шается, а подветренного растет. У катамаранов с широкими плоскими шпангоутами (типа «Джамхед» и «Жеминке») увеличение смоченной поверхности подветренного корпуса при малых углах крена невелико. Это объясняется незначительным увеличением осадки подветренного корпуса. В то же время смоченная поверхность наветренного корпуса убывает очень резко, поэтому в целом при увеличении крена общая смоченная поверхность катамарана уменьшается (рис. 42, а). Минимум смоченной поверхности достигается при выходе наветренного корпуса из воды.

Аналогичная картина наблюдается и при крене катамарана с узкими глубокосидящими корпусами (типа «Ману Кан»), но у этих судов уменьшение смоченной поверхности выражено не столь резко, как у мелкоосидящих широких катамаранов.

Уменьшение при крене катамарана смоченной поверхности ведет к снижению сопротивления трения. Даже при выходе наветренного корпуса из воды сопротивление трения катамарана ниже, чем при ходе в прямом положении.

Сопротивление формы при крене катамарана увеличивается. Волновое сопротивление катамарана с увеличением крена также растет. Это связано с ухудшением обводов ватерлиний и увеличением относительной ширины корпуса. Особенно вредное влияние на сопротивление формы оказывает искажение корпусных ветвей ватерлинии. Если форма заканчивается тупым срезом — трапецией, то при большом крене происходит значительный рост антробразования. В связи с увеличением площади мидельшпангоута уменьшается корпусное заострение, что также способствует возрастанию сопротивления формы.

Нарастание волнового сопротивления у подветренного корпуса происходит быстрее, чем уменьшение у наветренного, поэтому в целом волновое сопротивление при крене растет. Но при малых углах крена волновое сопротивление возрастает незначительно. Это подтверждается также опытами с другими парусными судами и с моделями самоходных судов.

Остановимся кратко на влиянии крена на дрейф катамарана. При крене площадь действующей диаметрали А наветренного корпуса уменьшается, а подветренного увеличивается (рис. 42, а). В связи с этим поперечная сила наветренного корпуса уменьшается, а подветренного растет. При полном выходе наветренного корпуса из воды поперечная сила создается только подветренным корпусом, швертом и рулем. В этом положении площадь действующей диаметрали подветренного корпуса меньше, чем суммарная площадь диаметрали двух корпусов. Следовательно, катамаран при крене будет двигаться с большим углом дрейфа, чем в прямом положении.

Кроме того, при крене судна уменьшается фактический угол атаки шверта. Но если крен не превышает угол отрыва корпуса от воды, то уменьшение угла атаки влечет за собой мало и его можно не учитывать.

Увеличение дрейфа, вызванное креном, приводит к росту индуктивного сопротивления катамарана, однако если крен катамарана не превышает значительно угол отрыва корпуса, то это увеличение сопротивления невелико.

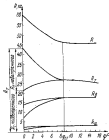


Рис. 43. Влияние крена на сопротивление катамарана

В результате при малых углах крена ($\varphi < \varphi_{кр}$) сопротивление катамаранов с относительно широкими плоскими корпусами уменьшается, поскольку резкое уменьшение сопротивления трения компенсирует медленное увеличение всех других составляющих общего сопротивления (рис. 43). Это подтверждается опытом эксплуатации катамарана «Джампед», который при отрыве наветренного корпуса от воды увеличивает свою скорость с 15 до 18 узл.

У катамаранов с узкими, глубокими корпусами при малых углах крена общее сопротивление также уменьшается, но не столь резко, как у судов первого типа.

При значительных кренах, называемых $\varphi_{кр}$, суммарное сопротивление волнового и вязкого сопротивлений преобладает над уменьшением сопротивления трения, поэтому общее сопротивление, начиная с некоторого угла крена, резко возрастает. Однако напомним, что обычно катамаранам ходят с углами крена $\varphi < \varphi_{кр}$.

• Катамараны с несущими плоскостями

При высоких скоростях хода начинается глиссирование судов, т. е. скольжение судна по поверхности воды. Сущность глиссирования легко увидеть рассмотрев движение плоской пластины под углом к поверхности воды (рис. 44, а). Набегающий поток создает давление на нижнюю часть пластины. Общее давление R можно разложить на подъемную силу R_y и лобовое сопротивление R_x . Вертикальная сила R_y выталкивает судно из воды, поддерживая его на поверхности, а горизонтальная сила R_x оказывает сопротивление движению.

В общем случае вес судна уравновешивается весом вытесненной воды и гидродинамическими подъемными силами, т. е.

$$G = \gamma_w V + R_y,$$

Но при низких скоростях хода величина силы R_y ничтожно мала, и суда плавают практически только на основе закона Архимеда, т. е. $G = \gamma_w V$.

Различают три режима движения судна по поверхности воды:

1) плавание, когда $R_x = 0$ и судно держится на поверхности гидростатическими силами ($G = \gamma_w V$);

2) переходный режим, когда возникают значительно по величине вертикальные гидродинамические силы. В этом случае $G = \gamma_w V_1 + R_y$, где V_1 — погруженная в воду часть корпуса судна ($V_1 < V$);

3) глиссирование, когда судно скользит по поверхности воды; при этом сила плавучести очень мала ($\gamma_w V_1 \approx 0$), а судно

поддерживается гидродинамической подъемной силой, т. е. $G = R_y$.

Режимы движения судна принято характеризовать числом $F_v = \frac{v}{\sqrt{g \Delta / V}}$, где V — объемное водоизмещение судна в статическом положении, Δ — скорость хода, м/сек.

При $F_v < 1$ судно плавает на поверхности по закону Архимеда. Если F_v лежит в промежутке между 1 и 3, то судно

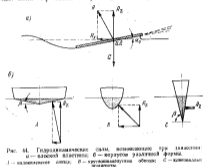


Рис. 44. Гидродинамические силы, возникающие при движении: а — плоской пластины; б — корпусом закругленной формы; в — клиновидным телом; А — водоизмещение телом; В — водоизмещение обшивки; С — клиновидный телом.

движется в переходном режиме. При $F_v > 3$ начинается глиссирование.

Переход на режим глиссирования при высоких скоростях движения возможен для любого судна. Однако не все глиссирующие суда достигают скоростей чистого глиссирования, при котором отсутствуют гидростатические силы поддержания. Полное исчезновение силы плавучести на режиме глиссирования наблюдается при скоростях, соответствующих значениям $F_v > 5$.

Для достижения скоростей, соответствующих этому режиму, требуется затраты большой мощности механизмов, обеспечить которую на судне иногда невозможно.

Современные ларунские катамараны и швертботы достигают весьма высоких скоростей F_v . Например, глиссирующий ката-

маран «Джамплет» при скорости хода 19 узл. имеет $F_v = 4,5$. Глиссирующие швертботы «Летучий голландец», «505», «Корвет» и другие достигают скоростей 16 узл. т. е. $F_v = 3,1-3,2$. Следовательно, они движутся в начале режима глиссирования. Катамараны «Шарватер-III» и «Тайгеркет» достигают $F_v = 4,1-4,35$, однако чистого глиссирования на них не получают.

Почему же при таких высоких скоростях хода большинство катамаранов не глиссирует? Оказывается, что на режим глиссирования выходят лишь те суда, у которых корпус имеет специальные обводы, приближающиеся к плоским пластинкам. Для таких судов глиссирование начинается при $F_v > 3$. У большинства же катамаранов форма корпусов круглая или клиновидная. Эти формы не способствуют созданию больших гидродинамических сил. Хотя в принципе суда с такими формами могут глиссировать, но для этого их нужно разогнать до очень большой скорости, F_v должно быть немного больше пяти, что неосуществимо.

Рассмотрим различные формы поперечных сечений корпуса на глиссировании судов. На рис. 44, б показаны модель-шпангоуты трех судов разного водоизмещения, но различных по форме. Из теории глиссирования известно, что гидродинамическая сила пропорциональна углу атаки пластины α_0 . Если обводы днища судна отличаются от плоской пластины, то значение силы R снижается, так как при наклоне днища уменьшается фактический угол атаки. Кроме того, уменьшается проекция силы R на вертикальную ось. Следовательно, величина силы R_v резко сокращается.

Наклон днища характеризуется углом внешней килеватости β (рис. 44). Для судна, имеющего малую килеватость, почти плоское днище (катамаран типа «Джамплет»), сила R_v равна 90% от подъемной силы $R_{\text{пл}}$, создаваемой плоской пластиной при угле атаки $\alpha_0 = 5^\circ$. У круглошпангоутных судов («Тайгеркет», «Шарватер-III») сила R_v равна половине $R_{\text{пл}}$. Суда с клиновидными шпангоутами («Ману Кан», «Бел Кит») создают силу R_v , равную только 4% от $R_{\text{пл}}$. Поэтому круглошпангоутные катамараны не глиссируют, несмотря на большое значение скорости F_v . О глиссировании катамаранов с клиновидными шпангоутами вообще говорить не приходится.

Таким образом, для увеличения вертикальной гидродинамической силы и облегчения перехода на режим глиссирования корпусу судна следует придавать специальную форму. Наиболее рациональной является форма с плоским днищем или с угловатыми шпангоутами, имеющими малый угол килеватости. Так, например, у катамаранов «Жемчужина» и «Джамплет» носовые

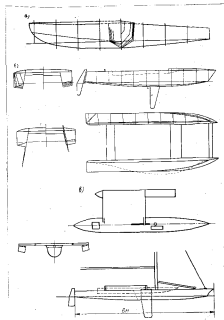


Рис. 45 Чертежи плоскокорпусных глиссирующих судов: а, б — катамараны, в — тримаран

скошенности корпусов имеют остроносые шпангоуты, а корпусные образования приближаются к плоским поверхностям.

Для глассирования весьма важно отношение длины судна к ширине. Чем шире судно, тем выше подъемная сила, создаваемая корпусом. Лучшие результаты получаются при $\frac{L}{B_k} =$

$= 3,5 - 6,5$. У катамарана «Джамхед» $\frac{L}{B_k} = 8$, у «Жеминья»

$\frac{L}{B_k} = 7,5$. Остальные суда, упомянутые выше, имеют $\frac{L}{B_k}$ больше 12. Такое большое удлинение корпусов также не позволяет этим судам выйти на режим глассирования.

Немаловажной характеристикой глассирующего судна является коэффициент остроги судна φ . Чем выше φ , тем легче (при равной длине) судно; значит, тем быстрее оно может выйти на режим глассирования. У глассирующих судов коэффициент остроги должен лежать в пределах $\varphi = 7 - 9$.

Чтобы парусные суда могли частично глассировать, необходимо придать им большую парусность. Отношение площади парусности S к смоченной поверхности Ω должно быть больше трех. Этому условию удовлетворяет катамаран «Джамхед»,

у которого $\frac{S}{\Omega} = 3,6$. Помимо этого, отношение $\frac{VS}{\frac{1}{2}V}$ должно быть

не менее 7 (у «Джамхед» $\frac{VS}{\frac{1}{2}V} = 8$).

Отношение $\frac{D}{S_{\text{гид}}}$ глассирующего судна должно быть не выше 75—80 кг/м². Из всех упомянутых выше катамаранов только «Джамхед» и «Жеминья» удовлетворяют этому условию (у «Джамхед» $\frac{D}{S_{\text{гид}}} = 63$ кг/м²).

Только отдельные, специально сконструированные катамараны удовлетворяют всем перечисленным условиям и могут глассировать (см. табл. 2). Остальные быстроходные катамараны с круглыми или слабокалеватыми шпангоутами могут ходить только на переходных режимах. Глубокоосадящие быстроходные катамараны движутся только в режиме плавания.

Глассирование представляет существенные преимущества для уменьшения сопротивления движению и открывает перспективу значительного повышения скоростей судов. При выходе корпуса из воды резко уменьшается смоченная поверхность и погруженный объем корпуса, что приводит к уменьшению сопротивления трения и волнообразования. Благодаря этому при равной парусности глассирующие суда развивают более высокие скорости хода, чем водоизмещающие (рис. 46). Однако разо-

гнать судно за тихой воде до скоростей зоридка $F_z = 2,5 - 3$ возможно только при сильном ветре (4—3 баллов). При слабом ветре глассирующие суда обычно прогнывают в скорости круглошпангоутным водоизмещающим судам. Кроме того, глассирование возможно только при полных курсах, так как на острых курсах этому мешают лобовое сопротивление выступающих частей и крен судна. С этой точки зрения катамараны находятся в более благоприятных условиях, чем шверботы, так как катамараны движутся с весьма малыми углами крена и дрейфа. На рис. 45, б показан глассирующий катамаран, у которого при крене глассирующие поверхности повышают свою эффективность.

На глассирование большое влияние оказывает волнение. При сильном волнении удары воды в носовую часть судна тормозят его ход и сбивают с курса, нарушая тем самым режим глассирования. Поэтому глассирование возможно только при плавании в закрытых водоемах или вблизи от берегов, где волнение незначительно.

Глассирование используется и для повышения скоростей тримаранов. Известно, например, тримаран «Колу Найк», у которого основной корпус и корпус аутрагеров выполнены глассирующими. Тримаран конструкции Д. Морнуда также имеет глассирующие аутрагеры (рис. 45, в).

При оценке сопротивления катамаранов на режиме глассирования необходимо учитывать сопротивление выступающих частей (швертов и рулей). На курсе фордевинд — полный бакашта сопротивление швертов не принимается во внимание, так как их поднимают.

В последние годы в спортивном судостроении все большее распространение получают подводные крылья. На парусных судах (на тримаране) крылья вначале были применены вместо балластов (рис. 47, а). Задача крыльев заключалась, главным образом, в обеспечении устойчивости за счет создания гидродинамического воссоздающего момента при погружении крыла в воду. Затем появились яхты, использующие крылья для создания вертикальной силы поддержания R_z (рис. 47, б, в).

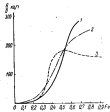


Рис. 46. Сопротивление спортивного судна.

1 — подводные крылья; 2 — глассирующий катамаран; 3 — швербот.

При малых скоростях яхта с подводными крыльями движется как обычное водонепushающее судно. Затем по мере усиления тяги парусов и разгона яхты крылья создают подъемную силу R , которая приподнимает корпус из воды. При этом смоченная поверхность и погруженный объем корпуса уменьшаются. Следовательно, уменьшается сопротивление трения и волнообразования. Скорость судна растет. Если сила ветра достаточно, то подъемная сила R в состоянии уравновесит вес яхты. Корпус судна полностью выходит из воды (рис. 47, а). Сопротивление уменьшается до минимума (оно состоит только из сопротивления крыльев, поддерживающих их стоек и рулей). В этот момент скорость судна резко увеличивается (до 25—30 узл.).

Применение подводных крыльев позволяет достигать очень больших скоростей, превышающих скорость хода глиссирующих парусных судов. Это объясняется более высокой эффективностью подводного крыла по сравнению с глиссирующей пластиной. В то время как у глиссирующей пластины подъемная сила создается только за счет понижения давления снизу, у подводного крыла к этому добавляется разрежение на верхней поверхности. В идеальном случае при равных условиях коэффициент подъемной силы подводного крыла в два раза выше, чем у глиссирующей пластины. Любое сопротивление подводного крыла ниже, чем у глиссирующей пластины.

Поскольку на малых скоростях судно, снабженное крыльями, движется как обычное яхта, то его корпусу надо придать обводы, обеспечивающие возможность достижения скоростей при которых происходит выход на крылья. До выхода на крылья сопротивление у этих судов выше, чем у обычных (см. рис. 46), за счет дополнительного сопротивления крыльев и стоек. Поэтому для возможности выхода на крылья такие суда должны иметь мощную парусность. Нужно стремиться, чтобы вес судна был как можно меньше. Парусность яхты на крыльях надо рассчитывать на преодоление нека волнового сопротивления и сопротивления крыльев.

Для повышения эффективности несущих крыльев их сечение выполняют в форме авиационного профиля, установленного под небольшим углом атаки относительно набегающего потока. Чтобы снизить сопротивление, стойки крыльев также придается форма авиационного профиля.

Коэффициент подъемной силы крыла зависит от формы профиля, удлинения крыла и глубины его погружения. С увеличением глубины погружения подъемная сила крыла растет. При уменьшении глубины погружения подъемная сила крыла падает из-за волнообразования на поверхности воды и кавитации на нижней поверхности крыла.

Форма крыльев и их расположение должны обеспечивать

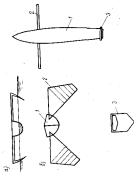
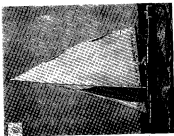


Рис. 47. Контуры на подводных крыльях: а — план уза с установившимся течением; б, в — сечение и обводы из стали и алюминия; г — корпус; д — стойки; е — рулевое устройство; ж —

1 — крыло; 2 — стойка; 3 — рулевое устройство; 4 —

продольную и поперечную устойчивость судна при режиме движения на крыльях. Помимо этого, силами плавучести должна обеспечиваться устойчивость на малых скоростях хода и на стоянке. Оба эти требования заставляют разносить крылья как можно дальше от ДП судна (см. рис. 47), что приводит к увеличению веса конструкции.

Недостатком судов на крыльях является относительно большой вес крыльев, стоек и т. п., а также меньшие скорости, чем у обычных судов в слабый ветер.

Применение несущих плоскостей (глансирующих корпусов, подводных крыльев) позволило существенно увеличить скорости хода парусных судов. Если скорость обычных водоизмещающих судов редко превышает величину 6—7 узл., то скорость глансирующих швертботов и катамаранов в 2—3 раза выше.

Глансирующие парусные суда достигают скорости движущего их ветра и даже превышают ее. Это возможно благодаря резкому уменьшению сопротивления воды. Достижение и превышение скоростей ветра возможно на всех курсах, кроме крутого бейдевинда и фордевинда. Не вдаваясь в теорию этого вопроса,¹ отметим только, что парусное судно сможет тогда достичь и превысить скорость движущего ветра, когда выполняется условие

$$K_V = \frac{T_V}{R_V} > \frac{1}{2}. \quad (29)$$

где $T_V = C_V \frac{\rho}{2} S V_V^2$ — сила тяги парусов в предположении,

что яхта неподвижна, т. е. при $W_T = V_V$;
 R_V — общее сопротивление яхты в предположении, что она движется со скоростью ветра V_V .

Поскольку наибольшая скорость яхты достигается при курсе, близком к $\alpha = 90^\circ$, то значение C_V находится по поляре парусов при $\theta = 45^\circ$. Принимая среднее значение $C_V = 0,75$ для различных парусов и $\rho = \frac{1}{8}$ кг/сек²/м³, находим

$$T_V = 0,0475 S V_V^2.$$

Формулы и кривые буксировочного сопротивления позволяют определить, может ли яхта достичь скорости ветра на курсе галфвинд. Для этого при принятой скорости ветра V_V находят значение T_V , а затем с кривой буксировочного сопротивления снимают величину R_V . Если неравенство (29) выполняется, то

при принятом астре V_T яхта будет двигаться быстрее астра. Если неравенство (29) не выполняется, то яхта не сможет достичь скорости астра.

Например, для глансирующего швертбота «Летучий голландец» при $V_T = 4$ м/сек $T_V = 13$ кг и $R_V = 31,0$ кг. Отношение $\frac{T_V}{R_V} = \frac{13}{31,0} < \frac{1}{2}$, значит при этой скорости швертбот движется

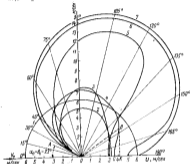


Рис. 48. Поляры скоростей яхт.
 1 — скорость ветра; 2 — водоизмещающий швертбот ($K_C = 0,40$); 3 — глансирующий швертбот ($K_C = 1,1$); 4 — водоизмещающий катамаран ($K_C = 1,80$); 5 — катамаран на крыльях ($K_C = 1,2$); 6 — бунт ($K_C = 6$); 7 — криволинейная скорость хода (максимальная скорость судна, $K_C = 1$).

медленнее астра. При $V_V = 8$ м/сек получаем $\frac{T_V}{R_V} = \frac{81}{86,5} > \frac{1}{2}$,

значит швертбот достигнет скорости астра и даже превышает ее. На рис. 48 показаны полярные диаграммы скоростей различных быстроходных парусных судов.

Но какова предельная скорость хода парусных судов? Для данной силы и направления астра скорость яхты будет наибольшей тогда, когда она движется устойчиво на курсе бейдевинда, дрейфа и дифферента, имея при этом максимальное сопротивление. Вообразим идеальное парусное судно, у которого

¹ Этот вопрос обсуждался на страницах журнала «Судостроение» № 6 и 9, 1961 г.

лобовое сопротивление ничтожно мало, а боковое — бесконечно велико. Скорость хода такого идеального судна и будет предельной скоростью любой парусной яхты при заданных силе и направлении ветра. Теоретические исследования показали, что скорость идеального парусного судна равна

$$v_0 = V_0 (K_0 \sin \alpha - \cos \alpha),$$

где $K_0 = \frac{C_{\text{д}}}{C_{\text{в}}}$ — максимальное значение парусов, определенное по плану (рис. 6);
 α — курсовой угол яхты.

Отношение скорости хода реального парусного судна v к предельной скорости v_0 характеризует совершенство конструкции парусной яхты с точки зрения гидромеханики. Отношение $\frac{v}{v_0}$ можно назвать гидродинамическим коэффициентом полезного действия корпуса яхты.

В табл. 4 приведены относительные скорости различных яхт. Сравнение этих скоростей с данными идеального судна позволяет оценить совершенство каждой яхты.

Таблица 4

Относительные скорости хода яхт (при $V_0 = 8$ узл., $K_0 = 2$;
 $v_0 = 16$ узл., $\alpha = 90^\circ$)

Относительная скорость яхты	Тип яхты					идеальная парусная яхта
	швербот обычной конструкции	подводная катамаран	глиссерующий швербот	яхта на крыльях	бур	
$\frac{v}{v_0}$	0,334	0,405	0,47	0,59	0,57	1,0
$\frac{v}{V_0}$	0,668	0,81	0,94	1,18	1,04	2,0

У современных глиссерующих шверботов («Легуачи голландца», «505» и др.) при ветре в 4—5 баллов (12—16 узл.) скорость хода равна 15—16 узл. Еще более быстроходными являются лодочные катамараны («Оселот», «Бел Кит», «Широкот-III» и т. п.), достигающие скоростей 20 узл. Глиссерующий катамаран «Джампвелл» при скорости ветра 12 узл. развивает скорость хода 18 узл.

Весьма быстроходны океанские крейсерские катамараны. Например, знаменитый «Ману Каю» при ровном свежем ветре 16—20 узл. развивает скорость хода более 20 узл. Катмаран

«Амалан» на океанских гонимях при скорости ветра 25 узл. шел с бейдевинд со скоростью 20 узл.

Наибольшую скорость показала яхта на подводных крыльях «Монитор» (см. рис. 47, в). При скорости ветра 8—13 узл. она достигала скорости хода 30 узл.

Мореходность катамаранов

Расчеты ходкости судна производится, как правило, для идеальных водных условий, т. е. без учета волнения. Поэтому скорость хода, рассчитанная таким образом, будет всегда выше фактической, так как парусное судно в силу характера своего движителя ходит обычно в условиях повышенной шероховатости воды.

Потери скорости на волне связаны с рядом причин. Прежде всего при движении по изволнованной поверхности изменяется форма действующей ватерлинии. Судно периодически всплывает и погружается, вследствие чего величина снимаемой поверхности на волнение увеличивается. Это приводит к росту сопротивляемая трения. Кроме того, изменяется равномерный характер обтекания корпуса, что также повышает сопротивление судна.

Интересно отметить, что при данной полуволны, близкой к длине корпуса и при скорости яхты, приближающейся к скорости волны, общее сопротивление возрастает на 25—30% по сравнению с сопротивлением на тихой воде. Это явление часто наблюдается при движении легких шверботов на курсе фордевинд, когда волна как бы подталкивает швербот вперед.

Волны ухудшают устойчивость судна на курсе. Периодические оголение носа и кормы приводит к раскачиванию судна, что также вызывает потерю скорости.

Продольное раскачивание судна приводит к периодическому, повторяющемуся сопротивлению зарыванию носа и кормы.

Бортовая качка также изменяет форму и размеры смоченной поверхности корпуса судна. Но опытами над моделями торговых судов установлено, что при бортовой качке до 10° сопротивление повышается всего на 3%. Следовательно, для катамаранов, у которых бортовая качка значительна, потеря скорости из-за этой причины также невелика. Основную роль в повышении сопротивления на волнении играет явление качки: максимум сопротивления судна на волне совпадает с максимумом килевой качки. Потери скорости тем больше, чем полнее обводы судна и чем меньше его размеры по сравнению с длиной волны.

Следовательно, чтобы уменьшить потерю скорости на волнении, надо стремиться уменьшать размах килевой качки. Помимо этого, полезно повышать надводный борт в носовой части судна и делать его с развалом. Это повышает объем носовой

оконечности и улучшает всхожесть судна на волну. Для той же цели следует создавать в носу и корме небольшие свесы корпуса. Кормовую оконечность лучше выполнять трапециевидной, что увеличивает ее надводный объем, при этом корма меньше зарывается в волну. На некоторых катамаранах носовой поперечной балке придают в сечении профиль эллиптического крыла и угол атаки, что также улучшает всхожесть судна на волну.

Мореходность судна понижается из-за заливаемости палубы водой. Одним из средств уменьшения заливаемости является подъем и развал носовой оконечности, установка в носу фальшбортов и волноотбойников.

Удары волн в корпус судна сбивают его с курса, снижают скорость хода. Сильные удары больших масс воды могут разрушить конструкцию. Особенно опасны удары волн в мостики катамаранов.

Чтобы уменьшить силу ударов, необходимо ограничивать длину мостика. Она не должна превышать $\frac{1}{4}$ полной длины судна. Всею конструкцию мостика следует сдвигать как можно дальше в корму, чтобы уменьшать зарываемость в воду. Для снижения ударных нагрузок от волн носовой оконечности мостика целесообразно придавать обтекаемую форму санных обводов. Высокие плоские конструкции, особенно с большими поперечными плоскостями, нежелательны.

Нижней поверхностью мостика следует придавать небольшой уклон в корму (до 4°). Такая конструкция мостика, действуя как глассирующая поверхность, облегчает всхожесть на волну.

Для обеспечения лучшей скорости хода на волнении было бы желательно устанавливать мостик как можно выше от грузовой ватерлинии, чтобы уменьшить площадь смачиваемой волнами поверхности. Однако в этом случае повышается центральность и ухудшается остойчивость. Практика выработала компромиссные значения вертикального клиренса, которые приведены в табл. 3.

Одним из важных показателей мореходности судна является его способность противостоять качке. Качка не только снижает скорость судна, но и вызывает неприятные ощущения у экипажа. Резкая, порывчатая качка создает большие силы инерции в деталях судна. Особенно большие инерционные нагрузки возникают в мачтах и поперечных балках мостика. При ходе косым курсом в воде оконечности корпусов катамарана (рис. 49, а) периодически всплывают на гребьях и проседают на впадинах в конструкции мостика при этом возникают скручивающие усилия, которые могут вызвать разрушение поперечных связей.

Качка катамаранов имеет меньшие периоды и более высокие ускорения, чем у однокорпусных судов. Различия между периодами и ускорениями килевой и бортовой качки у катамаранов также меньше.

Сильная качка происходит редко (только в случае резонанса). Паруса и шверты оказывают демпфирующее влияние на качку, уменьшая размахи колебаний.

Чтобы объяснить эти особенности, рассмотрим качку зарусных катамаранов.

Если катамаран вывести из положения равновесия, например наклонить за мачту и отпустить, то он начнет раскачиваться.

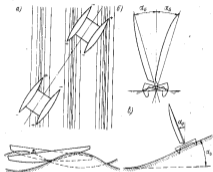


Рис. 49. Качка катамарана: а — качка на косом курсе в волне; б — амплитуда бортовой качки; в — бортовая качка на длинной волне.

Наибольшее отклонение судна от положения равновесия называется амплитудой (рис. 49, б), а время, в течение которого судно совершает одно полное колебание, называется периодом свободных колебаний судна. Период бортовой качки T_b будет тем меньше, чем больше поперечная МЦВ A и чем меньше момент инерции судна. У катамаранов в связи с разлосом корпусов момент килеван выше, чем у однокорпусных судов. Однако эта разница не превышает 25—30%. В то же время поперечная МЦВ катамарана в 8—10 раз выше, чем у однокорпусного судна равного водоизмещения. Поэтому период бортовой качки двухкорпусных судов очень мал (в 3—4 раза меньше, чем у однокорпусных). Например, для показанного на рис. 54

катамарана период бортовой качки $T_3 = 0,85$ сек. Следовательно, собственная качка его будет весьма резкой.

На волнении судно качается с частотой бегов волн. Период вынужденных колебаний судна на волнении совпадает с периодом бегов волн t .

Рассмотрим некоторые случаи бортовой качки катамарана.

1. Судно движется параллельно гребням волн, у которых период бегов t совпадает с периодом свободных бортовых колебаний судна T_3 . В этом случае однокорпусные суда начинают резонировать, и амплитуда колебаний судна значительно возрастает.

У катамаранов явление резонанса не носит столь неприятного характера, как у однокорпусных судов. Поскольку период бортовой качки катамарана весьма мал, то резонанс у них наступает с волнами малой длины (например, для рассмотренного выше случая при $\lambda = 1,1$ м). При этом по ширине корпуса катамарана располагается более одной волны, а связи с чем амплитуда колебаний резонирующего катамарана незначительна.

2. Судно движется параллельно гребням волн, длина которых примерно в полтора раза больше ширины катамарана, т. е. $\lambda = 1,5 B_2$. В этом случае размахи качки будут наибольшими. Для рассмотренного примера $\alpha_0 = 1,2\alpha_0$ (α_0 — угол волнового склона) или около $17-25^\circ$. В действительности размахи бортовой качки будут несколько ниже, так как сопротивление парусов и швертов уменьшает амплитуду колебаний судна.

3. Судно движется параллельно гребням волн, длина которых намного больше ширины судна B_2 . В этом случае $\alpha_0 = \alpha_0$, т. е. катамаран следует за изменением волнового склона, а качка его будет перпендикулярна линии волнового склона (рис. 49, ж). Ниже говоря, на длинных волнах катамаран качается вместе с полкой неподобие цюта.

Аналогично происходит и килевая качка катамарана. Продольная МЦВ H у катамаранов одного порядка или выше, чем поперечная A , что компенсирует до некоторой степени возрастание момента инерции. В связи с этим период свободных килевых качаний катамарана T_1 также весьма мал и близок к периоду бортовой качки T_3 . Для рассмотренного случая $T_1 = 0,62$ сек., а $T_3 = 0,85$ сек.

Незначительная величина периода T_1 практически исключает возможность сильных резонансных килевых колебаний катамарана, так как резонанс у него возникает при очень малой длине волны (в рассматриваемом случае $\lambda = 0,5$ м).

По мере увеличения длины волны λ амплитуда килевых колебаний растет. Наибольшая амплитуда имеет место, когда длина волны соизмерима с длиной судна. На основании опытов с грузовыми судами установлено, что килевая качка имеет наи-

большие размахи, когда $\frac{\lambda}{L} = 0,8$. Для рассматриваемого катамарана в этом случае $\alpha_0 = 1,2\alpha_0$. Если длина волны превышает длину судна, то катамаран при килевой качке следует за склоном волны ($\alpha_0 = \alpha_0$), т. е. ведет себя как плот.

В заключение заметим, что при плавании в различных водных бассейнах судно будет вести себя по-разному. В каждом бассейне преобладают какие-то определенные волны. Проектируя катамаран, следует рассчитывать его так, чтобы длина судна не оказалась в неблагоприятном соотношении с наиболее вероятной волной.

Малый крен, незначительные размахи качки, большая устойчивость на курсе, высокая скорость хода на волнении и некоторые другие качества катамаранов ставят их по мореходности вперед килевых крейсерских яхт. Подтверждаем этому могут служить неоднократные океанские переходы катамаранов в условиях штормовой погоды. Например, океанский крейсерский катамаран «Анкане» в гонках через Тихий океан (Сан-Франциско — Голланду) протяженностью 2000 миль обогнал на 26 часов первую килевую яхту. Средняя скорость хода в лавировку при ветре 4—5 баллов составляет у «Анкане» около 14 узл. В то время, когда килевые яхты начинают рифиться, «Анкане» идет с полным парусами почти без крена.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАТАМАРАНОВ

Последовательность разработки проекта

Приступая к проектированию катамарана, необходимо прежде всего точно определить его назначение (точечный, прогулочный, крейсерский) и район плавания (внутренние воды, озера, прибрежные районы, открытое море).

В процессе проектирования устанавливаются главные размеры и подмещение судна, его конструкция и материал, бытовые удобства и снабжение, быстрозходность и дрейф, остойчивость и непотопляемость, управляемость и мореходность.

Разработку начинают с эскизного проекта, который должен удовлетворить в общих чертах поставленным требованиям и дать приближенное представление о судне. Расчеты ведутся как по судну-прототипу, или на основе статистических данных. При этом всегда имеется в виду, что в процессе дальнейшей разработки в проект будут вноситься уточнения и изменения.

В техническом проекте, который разрабатывается на основе эскизного, производят более точные расчеты и окончательно выдают теоретический чертеж судна, конструктивные чертежи корпуса и мостика, чертежи парусности, общего расположения и т. п.

После разработки технического проекта приступают к выполнению рабочих чертежей деталей, по которым строится судно.

Общая последовательность разработки эскизного и технического проектов следующая:

- 1) выбор формы обводов судна;
- 2) выбор материала и способа постройки;
- 3) приблизительный подсчет весов (корпус, вооружение, оборудование, снабжение, экипаж);
- 4) определение главных размеров и сравнение их с аналогичными судами по соотношениям;
- 5) предварительный теоретический чертеж, сравнение его с подобными судами по коэффициентам полноты;
- 6) предварительный чертеж общего расположения;

7) предварительный конструктивный чертеж и спецификации набора;

8) предварительный чертеж парусности;

9) предварительный расчет весов и центра тяжести;

10) предварительный расчет плавучести, остойчивости и дифферентовка;

11) сравнение эскизного проекта с аналогичными судами, замесания и дополнения проекта;

12) окончательный теоретический чертеж;

13) окончательный чертеж расположения;

14) окончательный чертеж парусности;

15) уточненные расчеты плавучести и осевой нагрузки, окончательная дифферентовка;

16) уточненные расчеты остойчивости;

17) расчеты прочности, окончательное определение размеров деталей, окончательный конструктивный чертеж;

18) оценка ходовых качеств судна.

Каждый из этих этапов проектирования в зависимости от обстоятельств может вызвать существенные изменения в проекте и различного рода переделки.

Главные размеры и их соотношения

Проектирование любого судна начинается с выбора его главных размеров.

Основными геометрическими размерами, или главными размерами, эти являются длина, ширина, углубление корпуса, высота надводного борта. Различные соотношения между главными размерениями определяют характеристику яхты в целом. Для катамаранов эта система усложняется из-за наличия двух корпусов. В дальнейшем будем различать следующие главные размеры катамарана (рис. 50):

1) длина по ГВЛ, или конструктивная длина (L), — расстояние между точками пересечения грузовой ватерлинии с форштевнем и килерштевнем;

2) длина наибольшая, или полнот (L_m), — расстояние между крайними точками осевой и кормовой оконечностей (без учета руля);

3) длина по палубе (L_n) — расстояние между крайними точками палубы; для современных катамаранов длина по палубе большей частью совпадает с наибольшей длиной;

4) ширина по ГВЛ катамарана (B) — расстояние между точками пересечения плоскости ГВЛ с крайними ветвями модель-шипауголов двух корпусов;

5) ширина наибольшая катамарана (B_m) — расстояние между крайними точками наружных бортов корпусов;

6) ширина конструктивная катамарана (B_k) — расстояние между ДП двух корпусов;

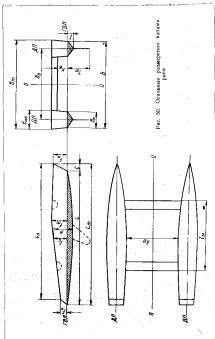


Рис. 80. Основные размеры катамарана

7) ширина по ГВЛ корпуса (B_c) — расстояние между точками пересечения плоскости ГВЛ с мидель-шпангоутом одного корпуса;

8) ширина наибольшая корпуса (B_{max}) — расстояние между крайними точками бортов одного корпуса;

9) углубление или осадка корпуса (T) — расстояние от ГВЛ до самой нижней точки киля корпуса (без учета различных выступающих частей — рулей, швертов, якоров и т. п.);

10) осадка швертом ($T_{ш}$) — расстояние от ГВЛ до самой нижней точки опущенного шверта;

11) высота борта (H) — расстояние от нижней кромки киля до палубы, измеренное на середине длины катамарана;

12) высота надводного борта (F) — расстояние от ГВЛ до нижней кромки палубы, измеренное на середине длины катамарана. Следует различать также высоту надводного борта в носу F_n , в корме F_k , наибольшую F_m и наименьшую F_{min} ;

13) вертикальный клиренс (K_v) — пролет между уровнем воды в спокойном состоянии и нижней поверхностью мостика катамарана. Измеряется расстоянием от ГВЛ до нижней кромки мостика по вертикали;

14) поперечный клиренс (K_p) — пролет между двумя корпусами, измеренный кратчайшим расстоянием между двумя корпусами в поперечном направлении.

Наибольшая длина, наибольшая ширина и осадка являются габаритными размерами катамарана, которые надо учитывать при проходе через мели, узкосты, при перевозке по шоссе и железным дорогам и т. п.

По американским правилам, например, для катамаранов длиной 5,5—5,8 м наибольшая ширина не должна превышать 2,4 м, что является предельным габаритом грузов, перевозимых на трейлерах.

Наибольшая длина определяется общим расположением килей, оборудования и устройств, а также размещением необходимой парусности и площадью бокового сопротивления. Наибольшая ширина выражается в процентах к длине и площади парусности.

Составленная планка размеров во многом определяет мореходные и маневренные качества судна, поэтому их выбору следует уделять особое внимание. Для катамаранов наиболее характерны следующие отношения:

1. Отношение конструктивной ширины к длине по ГВЛ $\frac{B_0}{L}$ определяет остойчивость катамарана. При предельных процентах конструктивная ширина катамарана B_0 может приниматься в пределах от 50 до 33% от длины по ГВЛ. Большие значения относятся к малым катамаранам, меньшие —

к крупным океанским судам. Хорошую остойчивость катамарану обеспечивает отношение $\frac{B_0}{L} = 0,33-0,40$.

2. Отношение наибольшей длины к наибольшей ширине катамарана $\frac{L_m}{B_m}$ влияет на остойчивость. По данным Р. Чоп, катамаран остойчив и плавание на нем безопасно, если $\frac{L_m}{B_m}$ не превышает 3. Минимальным значением $\frac{L_m}{B_m}$ следует считать 2, так как более широкий катамаран становится плохо управляемым.

3. Отношение наибольшей длины к длине по ГВЛ $\frac{L_m}{L}$ определяет развитость свесов катамарана и влияет на общую мореходность судна. Для гоночных катамаранов $\frac{L_m}{L} = 1,05-1,07$ и редко увеличивается до 1,15—1,17. Океанские гоночные и крейсерские катамараны имеют более длинные свесы: у них $\frac{L_m}{L} = 1,1-1,3$.

4. Отношение длины корпуса по ГВЛ к ширине корпуса по ГВЛ $\frac{L}{B_K}$ определяет ходкость яхты. Чем больше это отношение, тем острее судно и тем меньше сопротивление воды его движению. Для современных быстрходных катамаранов $\frac{L}{B_K} = 15-20$ (иногда достигает 40).

5. Отношение длины по ГВЛ к высоте борта $\frac{L}{H}$ определяет прочность судна: чем больше это отношение, тем меньше прочность. Океанские крейсерские катамараны имеют $\frac{L}{H} = 6,2-6,5$, реже 7—8. У небольших гоночных катамаранов $\frac{L}{H} = 7-7,5$.

6. Отношение ширины корпуса катамарана по ГВЛ к углублению $\frac{B_K}{T}$ влияет на ходкость яхты и устойчивость ее на курсе. Чем больше $\frac{B_K}{T}$, тем хуже его устойчивость на курсе.

7. Отношение длины по ГВЛ к углублению $\frac{L}{T}$ оказывает существенное влияние на поворачиваемость катамарана; чем меньше это отношение, тем более поворачивало судно (но менее устойчиво на курсе).

8. Отношение высоты борта к углублению $\frac{H}{T}$ имеет боль-

шее значение для остойчивости, непотопляемости и прочности судна. С увеличением этого отношения остойчивость, непотопляемость и прочность катамарана возрастают.

9. Отношение вертикального клирса к полной длине катамарана $\frac{K_K}{L_m}$ влияет на его мореходность.

10. Отношение длины среднего моста к наибольшей длине $\frac{L_m}{L_m}$ также влияет на мореходные качества катамарана.

Определение главных размеров гоночных катамаранов

Главные размеры гоночного судна выбирают с таким расчетом, чтобы обеспечить ему возможно более высокие ходовые качества. Основными отличительными особенностями гоночных катамаранов являются относительно короткие свесы и дающие узкие корпусы. Шпангоуты, как правило, имеют округлую форму; водоизмещение минимальное. Парусное вооружение большой площади, высокое, обычно состоит из двух парусов.

Исходной величиной при проектировании гоночного судна чаще всего принимается площадь парусности. По заданной площади парусности S , исходя из отношения $\frac{V \cdot S}{L}$ определяют длину L .

по ГВЛ. Значение $\frac{V \cdot S}{L}$ выбирают из диапазона, установленного для гоночных катамаранов (см. табл. 3). При заданной площади парусности S желательно, чтобы это значение было минимальным. Конструктивную ширину B_0 катамарана определяют из отношения $\frac{B_0}{L}$. Отношение $\frac{B_0}{L}$ должно быть больше 0,33, так как в противном случае ухудшится поперечная остойчивость судна, но меньше 0,43, так как иначе ухудшится продольная остойчивость и поворачиваемость катамарана.

При выборе величины B_0 следует руководствоваться также соображениями ходкости. Экспериментально установлено, что оптимальным с точки зрения ходкости расстояние между корпусами бывает в том случае, когда их носовые расходящиеся волны встречаются позади трех четвертей длины судна (см. рис. 35). Исходя из этого условия можно найти минимально допустимое расстояние между корпусами

$$B_0 > \frac{3}{4} L \operatorname{tg} \alpha + \frac{B_K}{2}.$$

Принимая максимальное значение угла между расходящимися волнами $\alpha = 20^\circ$, получают

$$B_0 > (0,274 + \frac{B_K}{2L}) L.$$

Если исходить из правила Херрегофа, то $B_2 > L/20$, или $B_2 > 0,365L$. Почти все современные катамараны удовлетворяют этому условию.

С точки зрения продольной остойчивости необходимо, чтобы $\frac{B_2}{L} < 0,535 \sqrt{\alpha}$ ($\alpha = \frac{S_{ГВЛ}}{L \cdot B}$ — коэффициент полноты площади ГВЛ) или при $\alpha = 0,65-0,67$ $\frac{B_2}{L} < 0,43-0,44$.

В табл. 3 приведены оптимальные значения $\frac{B_2}{L}$. По отношению $\frac{L}{H}$, приведенном также в табл. 3, определяют высоту борта H . По найденным L , B_2 и H выполняют кубический модуль судна $L \cdot B_2 \cdot H$. В зависимости от конструкции судна и материалов, из которых изготовлены корпусы, принимают ориентировочное (по табл. 3 или по прототипу) значение веса корпуса катамарана q на единицу кубического модуля. Затем находят вес корпуса судна $P_c = q \cdot L \cdot B_2 \cdot H$.

К этому весу надо добавить вес снабжения, оборудования, оборудования и экипажа. Вес оборудования катамаранов с облегченными корпусами составляет обычно 25—30%, а вес снабжения гоночных судов 9—10% веса корпуса. Количество экипажа определяется площадью парусности. При $S = 14-18 \text{ м}^2$ экипаж состоит, как правило, из двух человек. Если $S = 20-30 \text{ м}^2$ экипаж увеличивается до трех человек, а при $S = 30-45 \text{ м}^2$ до трех-четырех человек. Вес одного человека принимается в среднем равным 75 кг. По этим данным находят полное весовое водоизмещение катамарана D .

Ширину B_2 корпуса гоночных катамаранов находят из отношения $\frac{L}{B_2}$ (по табл. 3). Для водоизмещающих катамаранов принимают наибольшее значение $\frac{L}{B_2}$, для легких судов с плоско-клеватыми корпусами, движущихся в переходном (от планания к глиссированию) режиме, рекомендуются меньшие из возможных значений $\frac{L}{B_2}$.

По прототипу (см. табл. 3) выбирают коэффициент водоизмещения δ . Сведения о выборе δ приведены также в разделе «Построение теоретического чертежа». Затем находят осадку судна по формуле

$$T = \frac{D}{\gamma_{\text{с.л.}} \cdot \delta \cdot g}$$

Таким образом, определялись основные размеры катамарана L , B_2 , T , B_2 , H . После этого полезно произвести проверку соответствия длины L водоизмещению $V = \frac{D}{\gamma_{\text{с.л.}}}$. Для этого необхо-

димо найти коэффициент остроты $\psi = \frac{L}{\sqrt{V}}$ (водоизмещения данного корпуса $V_k = \frac{V}{2}$).

У гоночных катамаранов с круглыми шпангоутами $\psi = 8-10$, с плоскоклеватыми 8,5—9,0, с клиновидными 9—11. Желательно получить наибольшее в рекомендуемых пределах значение коэффициента остроты, но в тех случаях, когда катамаран с плоскоклеватыми шпангоутами рассчитывается на движение в режиме глиссирования, значение ψ должно быть ближе к нижнему пределу.

В заключение полезно проверить площадь парусности по соотношению $\frac{V \cdot S}{V}$, значение которого должно лежать в пределах, рекомендуемых табл. 3 (по возможности ближе к большему).

Для предварительного определения размеров L_0 и B_0 можно также воспользоваться табл. 3. Осадку T проверяют по отношению $\frac{L}{T}$ и $\frac{B_2}{T}$, сравнивая их с данными табл. 2 и 3. Для судов с круглыми и плоскоклеватыми шпангоутами оптимальное отношение $\frac{B_2}{T} = 2$.

После определения главных размеров корпуса находят основные размеры мостика (см. табл. 3). Поскольку для гоночного катамарана обязательность играет второстепенную роль, а главное внимание уделяется быстродвижности, то длина мостика принимается минимальной; во всяком случае она не должна превышать $\frac{1}{3}$ полной длины корпуса. Вертикальный клиренс выбирают по статистическим данным (см. табл. 3).

Чтобы уяснить порядок определения главных размеров гоночных катамаранов, рассмотрим пример.

Предполагая, что хотим построить небольшой катамаран, предназначенный для спорта и прогулок во внутренних водах или в прибрежной морской полосе и что мы решили принять площадь парусности $S = 17 \text{ м}^2$, придадим корпусам плоскоклеватые обводы, несомненным преимуществом которых является простота постройки, и снабдим судно швертом.

По табл. 2 и чертежам в приложении выбираем в качестве прототипа гоночной катамаран «Джайнтс» ($S = 15,5 \text{ м}^2$, $L = 4,5 \text{ м}$, $B_2 = 1,33 \text{ м}$).

По табл. 3 находим $\frac{\sqrt{S}}{L} = 0,83$. Отсюда $L = \frac{\sqrt{S}}{0,83} = \frac{\sqrt{17}}{0,83} = 4,95 \text{ м}$. Окончательно принимаем $L = 5$.

Ширина корпуса определяется из отношения $\frac{L}{B_k}$. Примем по прототипу $\frac{L}{B_k} = 8$, тогда $B_k = \frac{L}{8} = \frac{5}{8} = 0,625$ м. Окончательно принимаем $B_k = 0,65$ м.

Далее из отношения $\frac{B_0}{L}$ находим ширину мостика B_0 . Чтобы сделать мостик как можно более легким, выбираем минимально допустимое значение $\frac{B_0}{L} = 0,33$, откуда $B_0 = 0,33L = 0,33 \cdot 5 = 1,65$ м.

Определим высоту борта H . Чтобы получить легкое и вместе с тем достаточно мореходное судно, берем по табл. 3 среднее из рекомендуемых значений $\frac{L}{H} = 8,5$. Отсюда $H = \frac{L}{8,5} = \frac{5}{8,5} = 0,59$ м. Принимаем $H = 0,6$ м.

Вес корпуса прототипа на единицу кубического модуля $\varphi = \frac{P_k}{L B_k H} = \frac{13}{4,5 \cdot 1,83 \cdot 0,6} = 32$ кг/м³, где $P_k = 132$ кг — вес корпуса катамарана «Джамахеда».

«Джамахеда» имеет фанерную обшивку, а проектируемый катамаран предполагается строить с тонкой деревянной обшивкой из реек. Поскольку при лобательской настройке сделать судно столь легким трудно, примем для нашего катамарана $\varphi = 35$ кг/м³, оговорившись, что в дальнейшем будут приняты все меры для уменьшения этой величины. Вес корпуса катамарана составит $P_k = \varphi L B_k H = 35 \cdot 5 \cdot 1,65 \cdot 0,6 = 173$ кг.

Вес вооружения принимаем равным 25% от P_k , т. е. $0,25 \cdot 173 = 43$ кг. Вес экипажа равен $2 \cdot 75 = 150$ кг. Тогда общий вес (водоизмещение) судна D с учетом снабжения (9 кг) будет равен $173 + 43 + 9 + 150 = 375$ кг.

Объемное водоизмещение при плавании катамарана в море находим из равенства $V = \frac{D}{\gamma_w} = \frac{375}{1025} = 0,366$ м³, где $\gamma_w = 1025$ кг/м³ — удельный вес морской воды. Объемное водоизмещение одного корпуса $V_k = \frac{V}{2} = \frac{0,366}{2} = 0,183$ м³.

Далее необходимо определить осадку судна. Для катамарана с угловатыми шпангоутами коэффициент δ изменится в пределах 0,25—0,27. Для проектируемого судна возьмем $\delta = 0,27$, тогда $T = \frac{V}{2 \cdot 1025 \cdot 0,66 \cdot 0,27} = 0,21$ м. Принимаем $T = 0,2$ м.

В дальнейшем и в процессе проектирования теоретического чертежа и расчетов плавучести полученные в первом приближении главные размеры будут уточняться.

В заключение проверим соответствие длины судна и площади парусности водоизмещению. Оба эти фактора значительно влияют на скорость парусного судна.

Коэффициент острогты корпуса $\phi = \frac{L}{\sqrt{V_k}} = \frac{5}{\sqrt{0,183}} = 8,8$. Полученная величина ϕ лежит в пределах рекомендуемых значений для судов с плоскоклеватыми шпангоутами.

Относительная парусность $\frac{\sqrt{S}}{\sqrt{V}} = \frac{17}{\sqrt{0,366}} = 5,8$ соответствует нижнему пределу рекомендуемых величин для голеных судов.

Определение главных размерений крейсерских катамаранов

Крейсерские катамараны должны отличаться в первую очередь мореходными качествами, поэтому для них характерны прочные и относительно тяжелые корпуса, рангоут и такелаж; увеличенный надводный борт; большое углубление корпуса, особенно у судов без швертов; более развитые свесы; большая селловатость или вышуклость палубы.

Если в качестве исходных величин принимаются даны или водоизмещение судна, то проектирование несколько упрощается. Рассмотрим более сложный случай — проектирование катамарана на заданное количество экипажа.

Задача заключается в том, чтобы при возможно меньших габаритах судна обеспечить экипажу хорошие бытовые условия. Емкость корпусов катамарана зависит от его обводов, которые в первом приближении определяются формой мидель-шпангоута. Будем рассматривать три формы мидельового сечения судна: круглую, плоскоклеватую и килевидную.

На рис. 51 приведены типовые каюты парусных яхт с габаритными размерами. Определим минимальную длину корпуса судна, необходимую для размещения каждой из этих кают. С учетом ширины шпангоута и толщины обшивки минимальная длина по ГВЛ определяется из выражения

$$L_{\min} = \left(\frac{L}{\alpha_k} \right) (C + 0,15), \quad (30)$$

где C — габаритные поперечные размеры помещения.

В табл. 5 даны значения минимальной длины L_{\min} для крейсерских катамаранов с различной формой шпангоутов. Из этой таблицы видно, что, например, на судне с круглыми шпангоутами при длине $L = 23,4$ м, в корпусах могут быть размещены каюты типа Б (два дивана и складной стол), при $L = 22,2$ м — кубрик типа В (две койки), при $L = 14,4$ м — койка и откидной столик (тип Г), а при $L = 8,6$ м — только койка.

Минимальная длина корпуса катamarана, необходимая для размещения мостка

Тип катмарана (по рис. 51)	Поверный габаритный размер С, м	Тип плавсредств и отнесенная длина корпуса		
		калюские, 18	округлые, 12	плоскодонные, 9
Салон А	2,55	46	30,5	22,9
Двухместная каюта В	1,95	35	23,4	17,5
Двухместный кубрик В	1,85	33,3	22,2	16,5
Одноместная каюта Г	1,2	21,6	14,4	10,8
Койба	0,7	12,6	8,4	6,3

Таким образом, для каждого типа катamarана существует минимальная длина, при которой его корпус могут использоваться в качестве жилых помещений. Если при проектировании крейсерского судна длина L оказывается меньше L_{\min} , то все жилые помещения приходится размещать на мостике, а корпус использовать для хранения судовых запасов и как проходы в помещении мостика. Конечно, в ущерб быстротходности можно принять $\frac{L}{B_k} < 9$ и втиснуть в корпус койку, однако при этом необходимо помнить, что минимальная средняя ширина койки равна 0,55 м, а минимальная высота свободного пространства над койкой должна быть не ниже 0,75 м.

Определение главных размерений крейсерского судна начинается с вычисления длины L и водоизмещения D . Обе эти величины известны в advance; от количества экипажа и предусмотренных бытовых удобств. Чтобы определить L и D , составим уравнение плавучести катamarана

$$(qLB_0H)K + (P_g + P_s + P_m + P_f) = 2qLB_0T_{\text{ср}}$$

В этом уравнении первое слагаемое учитывает вес корпуса, вооружения и оборудования; второе слагаемое состоит из веса экипажа P_g , снабжения P_s , двигателя P_m и топлива P_f ; сумма — водоизмещение судна. Выразив главные размерения через их отношения, получим для L следующую формулу:

$$L = \sqrt[3]{\frac{\Sigma P}{R}} \quad (31)$$

где $\Sigma P = P_g + P_s + P_m + P_f$;

$$R = 2q_{\text{ср}} \left(\frac{\delta_k}{L} \right) \left(\frac{T}{L} \right) - q \left(\frac{\delta_k}{L} \right) \left(\frac{H}{L} \right) K.$$

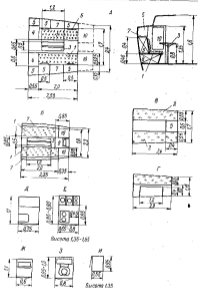


Рис. 51. Оборудование и габаритные размеры типовых отсеков катamarанов.

1 — салон; 2 — двухместная каюта; 3 — двухместный кубрик; 4 — одноместная каюта; 5 — ватерлиний рубки; 6 — мостик; 7 — мостик; 8 — мостик; 9 — мостик; 10 — мостик; 11 — мостик; 12 — мостик; 13 — мостик; 14 — мостик; 15 — мостик; 16 — мостик; 17 — мостик; 18 — мостик; 19 — мостик; 20 — мостик; 21 — мостик; 22 — мостик; 23 — мостик; 24 — мостик; 25 — мостик; 26 — мостик; 27 — мостик; 28 — мостик; 29 — мостик; 30 — мостик; 31 — мостик; 32 — мостик; 33 — мостик; 34 — мостик; 35 — мостик; 36 — мостик; 37 — мостик; 38 — мостик; 39 — мостик; 40 — мостик; 41 — мостик; 42 — мостик; 43 — мостик; 44 — мостик; 45 — мостик; 46 — мостик; 47 — мостик; 48 — мостик; 49 — мостик; 50 — мостик; 51 — мостик; 52 — мостик; 53 — мостик; 54 — мостик; 55 — мостик; 56 — мостик; 57 — мостик; 58 — мостик; 59 — мостик; 60 — мостик; 61 — мостик; 62 — мостик; 63 — мостик; 64 — мостик; 65 — мостик; 66 — мостик; 67 — мостик; 68 — мостик; 69 — мостик; 70 — мостик; 71 — мостик; 72 — мостик; 73 — мостик; 74 — мостик; 75 — мостик; 76 — мостик; 77 — мостик; 78 — мостик; 79 — мостик; 80 — мостик; 81 — мостик; 82 — мостик; 83 — мостик; 84 — мостик; 85 — мостик; 86 — мостик; 87 — мостик; 88 — мостик; 89 — мостик; 90 — мостик; 91 — мостик; 92 — мостик; 93 — мостик; 94 — мостик; 95 — мостик; 96 — мостик; 97 — мостик; 98 — мостик; 99 — мостик; 100 — мостик.

Отношения главных размерений определяются по табл. 3 или по прототипу (табл. 2) в зависимости от принятых ранее обводов корпуса. Коэффициент δ можно взять по табл. 2. Величина q принимается по табл. 3 или по прототипу. Коэффициент K , учитывающий вес вооружения и оборудования, связанного с корпусом, следует брать не ниже 1,30—1,5.

Вес снабжения рассчитывается на каждого члена экипажа, приняв в среднем по 10 кг личных вещей плюс на каждые сутки 2,5 кг пищи и 3 л воды на человека. Запасы пищи и воды рассчитываются по продолжительности плавания.

Вес двигателя с валами и другими относящимися к нему устройствами выбирается по каталогу. Запас горючего определяется по удельному расходу на л.с./час и предполагаемой продолжительности хода под двигателем.

После вычисления L необходимо проверить по принятому отношению $\frac{L}{B_k}$ и формуле (30) возможность размещения каят в корпусе.

Далее по принятым отношениям находим B_k , H , V , и T . Эти размеры позволяют вычислить вес корпуса, а следовательно, и водоизмещение судна.

После этого полезно проверить соответствие длины катамарана водоизмещению по коэффициенту острогости ψ . Для крейсерских судов $\psi = 8,5-9$ при плоскоклевых, $\psi = 9-11$ при круглых и $\psi = 10-11$ при эллиптических шпангоутах.

Необходимую площадь декуности определяем по отношению $\frac{V/S}{V}$, принимаемому из табл. 3 или по прототипу. Остальные размеры корпусов находятся по данным табл. 3.

Размеры мостика также устанавливаются по данным табл. 3. Длина мостика l_m должна быть по возможности небольшой, чтобы уменьшить вес воды, попадающей на палубу, и лобовое сопротивление ветру. На крупных катамаранах прибрежного плавания мостик следует укорачивать еще и для того, чтобы уменьшить нагрузку от зробоной волны. Максимальная длина l_m мостика не должна превышать 0,75L. При длине мостика менее 0,5L возникают трудности в обеспечении поперечной прочности судна.

Полуясь рис. 51, следует проверить возможность размещения необходимых каят на мостике. Площадь мостика можно принимать равной $l_m B_k$.

Вертикальный клиренс K_k выбирают в пределах, указанных в табл. 3. Он должен быть больше высоты гребня самой неблагоприятной волны. Наиболее неблагоприятной является вода, длина которой равна длине судна по ГВЛ. Принимая высоту

гребня волны равной $\frac{L}{15}$, находим величину клиренса $K_k \geq \frac{L}{15}$:

Длина судов по ГВЛ, м	K_k , м
До 8,0	0,46
11,5	0,61
12	0,76
15	0,91
18	1,22

Чтобы доказать порядок определения главных размерений крейсерских катамаранов, рассмотрим пример.

Предположим, мы заданы целью спроектировать парусный катамаран для прибрежного плавания по Черному морю. Расстояние между портами Черного моря не превышает 200 миль. Следовательно, наибольшая продолжительность непрерывного перехода под парусами не превосходит суток. В связи с этим можно не брать на судно больших запасов.

Определим главные размерения судна с экипажем в 8 человек. Предположим, что мы выбрали корпус с круглыми шпангоутами и решим, что судно будет иметь шверты.

Выберем отношения главных размерений, пользуясь табл. 3,

$$\frac{B_k}{L} = 0,365; \quad \frac{L}{B_k} = 13; \quad \frac{L}{H} = 6,5; \quad \frac{L}{T} = 22.$$

Приняв $\delta = 0,42$, $q = 32$ кг/м², $K = 1,35$. Рассчитываем вес экипажа и вес запасов (на расчете из 5 суток плавания): $P_k = 8 \cdot 75 = 600$ кг; $P_z = 8(2,5 + 3)5 + 8 \cdot 10 = 300$ кг.

Вес подвесных моторов мощности 2-10 л.с. принят по каталогу равным 2-31=62 кг. Расход горючего 450 г/л.с./час. Если предположить, что любой из переходов в штиль может быть совершен под моторами, то, подлагая ориентировочную скорость равной 8 узл., найдем, что вес топлива будет составлять 245 кг.

Следовательно, $\Sigma P = 600 + 300 + 50 + 245 = 1195$ кг, а $R = -2 \cdot 0,42 \cdot 1025 \cdot \frac{1}{18} \cdot \frac{1}{22} - 32 \cdot 0,365 \cdot \frac{1}{6,5} \cdot 130 = 0,69$ кг/м³.

$$\text{Длина судна } L = \sqrt{\frac{1195}{0,69}} = 12,6 \text{ м.}$$

При принятом отношении $\frac{L}{B_k} = 13$, чтобы разместить в корпусе койку, минимальная длина должна быть равна $13(0,55 + + 1,15) = 9,1$ м; для размещения кубрика типа GL_{min} должна быть равна 15,6 м.

Следовательно, разместить в корпусах даже простейший кубрик (койка и столик) не удастся. При принятии обводов и удлинении корпуса придется ограничиться устаканкой койки.

При этом $B_0 = \frac{L}{13} = \frac{12,6}{13} = 0,97$ м. За вычетом толщине

шпангоутов и обшивки ширина внутри корпуса составит 0,82 м. Между койкой и бортом остается место шириной 0,82 — 0,55 = 0,27 м, которое можно использовать для шкафа, полки и т. п. Койку следует делать откидной, что позволит оставить проход в корпусе.

Находим далее $B_1 = 0,365 \cdot 12,6 = 4,6$ м; $H = \frac{12,6}{6,5} = 1,94$ м и $T = \frac{12,6}{22} = 0,575$ м.

Вес корпуса судна $P_k = 32 \cdot 12,6 \cdot 4,6 \cdot 1,94 \cdot 1,35 = 4850$ кг. Водоизмещение $D = P_k + \Sigma P = 4850 + 1195 = 6045$ кг.

Объемное водоизмещение $V = \frac{D}{1025} = \frac{6045}{1025} = 5,90$ м³; $V_k = \frac{5,90}{2} = 2,95$ м³.

Проверим правильность вычислений: $\delta = \frac{V_k}{L \cdot B_0 \cdot T} = \frac{2,95}{12,6 \cdot 0,97 \cdot 0,575} = 0,418$. Принятое значение $\delta = 0,42$ отличается от полученного на 0,5%, что вполне допустимо.

Коэффициент остроты $\phi = \frac{12,6}{\sqrt{2,95}} = 8,83$ несколько ниже рекомендуемых цифр. Значение ϕ можно увеличить, удлинив судно и уменьшив соответственно его ширину или осадку (если лучше добиться уменьшения веса).

Принимая отношение $\frac{\sqrt{S}}{\sqrt{V}}$ равным 5,5, найдем необходимую площадь парусности $\sqrt{S} = 5,5 \sqrt[3]{V} = 5,5 \sqrt[3]{5,90} = 9,9$, откуда $S = 98$ м².

Отношение $\frac{\sqrt{S}}{L} = \frac{9,9}{12,6} = 0,785$ также лежит в рекомендуемых пределах.

Находим основные элементы мостика: длина $L_0 = 0,5 \cdot 12,6 = 6,3$ м; высота над уровнем воды $K_0 = 0,07L = 0,07 \cdot 12,6 = 0,885$ м; площадь $B_0 L_0 = 4,6 \cdot 6,3 = 29$ м².

Следует проверить, как разместятся на мостике все необходимые помещения. Предположим, что в корпусе будут установлены две койки, а в мостике устроено три салона типа А. Общая площадь салонов равна $3 \cdot 2,55 \cdot 2,4 = 18,5$ м². На оставшейся площади мостика (более 10 м²) могут быть оборудованы палуба, кокпит и дополнительные помещения.

При выборе обводов катамарана необходимо одновременно учитывать расположение внутренних помещений. На крейсерских судах вообще проектирование следует начинать с планировки внутренних помещений и уже затем переходить к построению теоретического чертежа.

После предварительного выбора типа обводов катамарана и определения его главных размерений по найденным размерам строят габаритный эскиз корпуса. По этому эскизу производится предварительная планировка корпуса и мостика.

При планировке помещений на катамаране конструктор встречается с двумя основными трудностями: в корпусах для кают недостаточно широко, а на мостике — не хватает высоты. В связи с этим целесообразно узкие высокие помещения (камбуз, гальюны, умывальники и проходы) располагать в корпусах, а широкие и низкие (кубрики, салоны и т. д.) — на мостике.

Вопросы оптимального расположения решаются в соответствии с назначением судна и условиями, в которых его предполагается эксплуатировать.

На мостике небольших скоростных катамаранов целесообразно устраивать просторный комплект самоотпливающей конструкции. Корпуса судна полезно делить на ряд водонепроницаемых отсеков. Для доступа в них за палубу устраиваются люки с хорошо пригнанными крышками. В отсеках хранятся предметы снабжения, одежда, провiant и т. п. Если нет полной уверенности в герметичности отсеков, следует предусмотреть в корпусах воздушные шлюзы.

На больших гоночных катамаранах, имеющих длинные узкие корпуса (рис. 52, а), спальные места размещают на мостике. Для уменьшения аэродинамического сопротивления мостика высота его делается минимальной (9—20% от B_0), однако свободная высота над койкой должна быть не меньше 0,75—0,8 м.

Мостик прогулочных катамаранов обычно делают без рубок и надстроек. В этом случае он представляет большую и удобную площадку для отдыха, рыбной ловли и т. п.

Планировка корпуса крейсерского катамарана является весьма ответственным делом. На чертежах расположения должны быть показаны отдельные помещения с мебелью и оборудованием. При этом необходимо выдерживать габариты обводов, а также поперечные размеры деталей набора, в частности шпангоутов, толщину обшивки, переборки, кник и т. д.

На крейсерском катамаране средних размеров должны быть предусмотрены следующие помещения: салон с диванами и столом, кубрики с койками для экипажа, гальюн, камбуз, шкафы для верного плетя, белья и дождевиков, шкафы для обуви, буфет, кладовые провiantные и шилперские, шестерны для

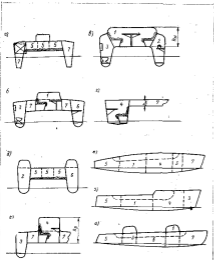


Рис. 52. Различные варианты размещения палубы на катамаранах.
 а — гетингс-рейсовый катеринг с плоским днищем шпангоутами, шкелы настила и рубки; бустером показаны табуретки, выходящие для увеличения объема;
 б — катамаран с открытым минималистич. мостом средней высоты с рубкой; в — катеринг с плоским днищем шпангоутами и надстройкой на мостике; г — катамаран с плоскоконическими шпангоутами и шкелы выстоями; д — катамаран с плоскоконическими надстройками над корпусами; е — катамаран с вышкой мачты и высотой рубки; ж — катамаран с вышкой мачты; з — катамаран с палубой; и — катамаран с вышкой мачты;
 и — шкелы, в которых можно только сидеть и спать; л — шкелы, в которых можно сидеть; з — палубы; д — палубы, в которых можно сидеть и спать; е — палубы (только для сна); в — рубки с открытой палубой (можно стоять); г — шкелы, выходящие для сна.

пресной воды, водонепроницаемые чехлы для топлива и смазочного масла, шестой ящик.

На крупном крейсерском катамаране к этому добавляются штурманский стол, радиорубка и умывальники. Гальюны и умывальники оборудуются по одному в каждом корпусе.

На рис. 51 показаны типовые яхтенные помещения минимально допустимых габаритов. Чтобы разместить в низком мостике кубрик типа Г с диванами и столом, следует установить над ним рубку, позволяющую свободно сидеть на диване (рис. 52, б).

Если вместо рубки над мостиком спроектировать надстройку такой же высоты, то в ней можно расположить салон типа А или Б (рис. 52, в) с диванами для сидения. Камбуз, гальюны и умывальники помещаются в этом случае в корпусах.

В корпусах крупных катамаранов с плоскоконическими шпангоутами можно расположить салоны типа Б или кубрики типа Г. Высота корпуса при этом позволяет стоять в полный рост (рис. 52, г). На таких судах все бытовые помещения оборудуются в корпусах. Низкий без надстроек мостик используется для хранения запасов и как прогулочная палуба.

Если высота корпусов недостаточна, то над ними иногда сооружают продольные рубки (рис. 52, д).

В некоторых случаях в мостике оборудуют высокий, в рост человека, салон (рис. 52, е).

На катамаранах с невысокими корпусами в местах расположения бытовых помещений устанавливают поперечные рубки. Балки этих рубок служат дополнительными связями между корпусами.

Над помещениями, для которых требуется большая высота, устраивают надстройку в виде полукаба (рис. 52, з). Однако воздушное сопротивление такой надстройки неблагоприятно отражается на скорости хода, кроме того, ухудшается обзор в нос.

Более целесообразно для обеспечения необходимой высоты помещений применить выпуклую палубную дугу (рис. 52, ж), или, как ее иногда называют, обратную седловатость.

При выборе высоты мостика можно ориентироваться на следующие величины:

- а) для мостика без надстроек и рубок (рис. 52, г, д) $A_m = (0,9 - 0,20) B_0$;
- б) для мостика с надстройкой (рис. 52, в) высота надстройки $A_n = (0,21 - 0,27) B_0$;
- в) для мостика с рубкой (рис. 52, е) высота рубки $A_r = (0,34 - 0,46) B_0$.

В качестве примера рассмотрим планировку крейсерского катамарана длиной $L = 12,5$ м с плоскоконическими ободами

корпуса и удлиненным $\frac{L}{B_k} = 9$. Наибольшая ширина корпуса

$B_k = 1,23$ м. При наименьшем значении $\frac{L}{H} = 6$ высота корпуса составит 2 м. В корпусах можно расположить односторонние каюты типа Г, гальюмы, камбузы и т. п. При $\frac{B_k}{L} = 0,365$ получаем $B_k = 4,5$ м. Наибольшая высота надстройки равна $0,27 B_k$, т. е. 1,2 м, а рубки 2 м. В надстройке можно разместить спальные места, а в рубке салон типа А.

Для судна длиной по ватерлинии 9 м при тех же соотношениях выдем: наибольшая ширина корпуса $B_k = 0,83$ м, наибольшая высота корпуса $H = 1,5$ м, наибольшая высота надстройки $A_k = 0,9$ м, наибольшая высота рубки $A_r = 1,5$ м. В корпусе такого судна можно разместить только койки, гальюмы, камбузы, шкафы и т. п. В низкой надстройке возможно расположить только спальные места, а в рубке — салон с диванами.

Якорный шпиль или лебедку удобно помещать в носовой части мостика. Пространство между передней кромкой мостика и носовой поперечной балкой можно затянуть брезентом или сеткой и использовать его для отдыха. Удачным примером может служить катамаран «Э66 энд Флоу». Все бытовые помещения этого судна располагаются в корпусах. Здесь находятся койки для экипажа, салон, штурманская рубка, два гальюма, умывальники, камбуз. Выкрутая талубная линия увеличивает высоту малых помещений. В кормовой части заднего корпуса находятся кокпиты, из которых ведется управление парусами. Кроме того, небольшой дополнительный кокпит для рулевого предусмотрен в кормовой части мостика.

Мостик «Э66 энд Флоу» представляет собой мощную силовую ферму. Помимо продольных и поперечных балок, он укреплен диагональными связями. Мостик используется как рабочая и прогулочная палуба, в больших внутренних отсеках мостика помещаются различные судовые zestамы.

В судне длиной по ватерлинии 8,63 м (рис. 53), чтобы получить достаточный свободный объем, устроена поднятая над корпусами рубка. Низкий мостик годен только для спальных мест.

Корпуса крейсерских катамаранов делятся водонепроницаемыми переборками на ряд отсеков. В носу и в корме следует устраивать глухие герметичные выгородки, образующие воздушные шпанги.

Каждый крейсерский катамаран должен иметь одну или две цистерны для пресной воды. На судне с экипажем в 7 человек минимальный объем водных цистерн составляет 100 л.

Размеры цистерны для топлива и смазочного масла определяются из расчета продолжительности плаванья под мотором.

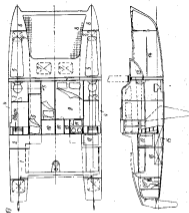
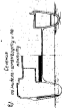
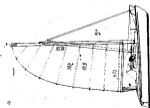


Рис. 53. Крейсерский катамаран длиной 8,63 м — одна выгородка и одна цистерна; 6 — обшивка палубы; 7 — поперечные отсеки по ватерлинии; 8 — обшивка палубы; 9 — обшивка палубы; 10 — обшивка палубы; 11 — обшивка палубы; 12 — обшивка палубы; 13 — обшивка палубы; 14 — обшивка палубы; 15 — обшивка палубы.



Объем проваляющихся отсеков также определяется расчетной продолжительностью плавания.

Отсеки, отведенные для топлива, воды и провизии, должны удобно сообщаться с остальными помещениями. Цистерны пресной воды, должны легко извлекаться из корпуса; во избежание коррозии их следует лудить или цемментировать.

После того как помещения будут распланированы, необходимо проверить возможность погрузки и установки предметов снабжения в оборудование.

В заключение следует отметить, что только на катамаранах длиной более 12 м можно создать также же комфортабельные помещения, как на килевых катках.

Построение теоретических чертежей

Рассмотрим особенности теоретических чертежей катамарана и принципы их построения.

Поскольку оба корпуса катамарана являются зеркальным отображением друг друга, то принято вычерчивать теоретический чертеж только для одного из них.

Если корпуса катамарана симметричны относительно ДП, то на проекции «корпус» вычерчивается только одна ветвь шпангоута, по одну сторону от ДП. Обычно с правой стороны от ДП изображаются носовые шпангоуты, а с левой — кормовые. По той же причине вычерчивается только одна ветвь ватерлинии (полуширота). На полушироте подводные ватерлинии изображаются сплошными линиями, а надводные — пунктирными. Если же корпус катамарана не симметричен относительно ДП, то на проекции «корпус» и полушироте проводится все ветви шпангоутов и ватерлиний.

Практично вычерченный теоретический чертеж должен удовлетворять двум главным условиям:

1. Все его точки должны быть согласованы, т. е. расстояние от какой-либо плоскости проекции до любой точки теоретического чертежа должно быть одинаковым на двух соответствующих проекциях. Например, ширина шпангоута по ватерлинии должна быть одинакова на корпусе и полушироте.

2. Все полученные сечения должны иметь вид впаиваемых крышек (если судно с округлыми шпангоутами).

На теоретических чертежах изображают калубные, бортовые и скуловые линии. В некоторых случаях строятся креновая ватерлиния, строение по шпангоутам и ватерлиниям, кривая водоизмещения, контуры швертов и рулей, развертка трапа и другие вспомогательные линии. Они необходимы для оценки мореходных качеств проектируемого судна.

На рис. 54 показан теоретический чертеж катамарана с округлыми шпангоутами.

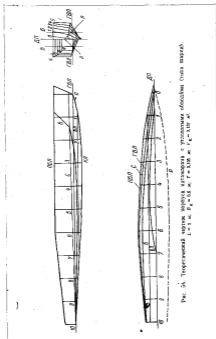


Рис. 54. Теоретический чертеж корпуса катамарана с округлыми шпангоутами (план шпангоут).
 $L = 12$ м; $B = 0,8$ м; $\Gamma = 3,12$ м; $V_{\text{в}} = 3,12$ м.

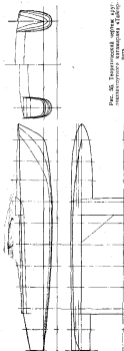


Рис. 45. Теоретический чертеж круглопантоногов катамарана

Хороший теоретический чертеж — это одно из основных условий достижения катамараном высоких скоростей при удовлетворительных мореходных качествах. При одинак и тех же размерах катамаран можно придать настолько неудачные обводы, что он будет ходить намного хуже других судов, имеющих другую форму с ним парусность.

Для вычерчивания теоретического чертежа катамарана берут 10—20 шпангоутов, 4—6 ватерлиний и 2—3 батокса. Для построения теоретического чертежа катамарана наиболее удобен масштаб М 1 : 10.

Построение теоретического чертежа катамарана с круглоскладными обводами (рис. 45) во-первых определяем основным элементом L , B , T , δ , α и β начинают с вычерчивания сетки. Сетку наносят карандашом и обводят тонкой цветной тушью. На проекции корпуса тонкой линией намечают мидель-шпангоут желаемой формы и проецируют его площадь. Она должна быть равна V_{TR} . Затем вычерчивают линии палубы и кила и намечают ГВЛ. Необходимую площадь ГВЛ определяют из равенства $S_{ГВЛ} = L \cdot B \cdot \alpha$. Если площадь ГВЛ ока-

жется недостаточной, то в оконечностях приподымают обводы. Вычерченная шпангоуты, соблюдают постоянство изменения их форм. По полученным шпангоутам строят промежуточные ВЛ. Их кривизна должна быть также плавной без резкого изменения формы от одной ВЛ к следующей. Если кривизна ВЛ не удовлетворяет этим требованиям, ее подправляют в нужном участке и сразу же переносят эти изменения на соответствующие шпангоуты. Согласованные таким образом проекции можно обвести по декалу или рейке более четко.

Для проверки правильности кривизны обводов и уточнения согласованности всех трех проекций строят вертикальные сечения вдоль ДП — батокса. При этом с корпуса на бок переносят точки пересечения плоскости батокса с ватерлиниями. Построения по этим точкам кривая должна быть желаемой кривизны и плавности. Если необходимо подправить кривую, то соответственно исправляют обводы и на двух других проекциях.

Если наружная обшивка катамарана выполняется из листового фанеры, то для того, чтобы ее можно было прикрутить шпангоутам, она должна разветвляться на плоскость. В этом случае теоретический чертеж строится по лучевому методу.

Ниже излагаются основные принципы проектирования специальных конических обводов корпуса с фанерной обшивкой, поверхность которой разветвляется на плоскости.

Характер обводов днища определяется положением вершины конуса A (рис. 56), которое колеблется в сравнительно узких пределах. Вершина A находится по длине на расстоянии, равном приблизительно 30% полной длины корпуса, в нос от пересечения скуловой бруска с форштевнем; в плане — на расстоянии, равном наибольшей ширине по скуле от ДП; по вертикали — под скулой при миделе на расстоянии от 10 до 15% полной длины корпуса.

Перемещая в небольших пределах вершину A вниз, вверх от ДП и очень немного вперед, будем получать все более округлые обводы, переходящие окончательно в тип обводов, разветвляемых по цилиндру.

Обычно построение теоретического чертежа начинают с того, что наносят на проекции борта и задупироты линию скулы. Однако, если скула значительно выше ГВЛ, целесообразнее выбрать такую линию, которая бы более полно выявила характер обводов судна, например ГВЛ. Помимо этого, при построении теоретического чертежа по ГВЛ сразу же учитываются определенные ранее главные размеры судна.

Вершину конуса лической обшивки A (рис. 56) соединяют с какой-нибудь точкой ГВЛ (целесообразно выбирать точки пересечения ГВЛ с плоскостями теоретических шпангоутов). В данном примере вершина A на полушироте соединяется

с точкой *C* пересечения шпангоута № 3 и ГВЛ. Таким же соединением на проекции бока точка *A* и *C*. Лучи *AC*, будучи проекциями одной линии, пересекаются с любыми продольными сечениями корпуса, дают согласованные между собой точки,

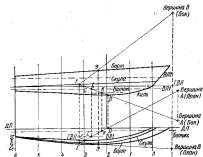


Рис. 56. Правила построения теоретического череха лусами металлом.

принадлежащие поверхности днища. Пользуясь этим свойством лучей, находим линию киля. Для этого из точки *D* пересечения линии *AC* с линией ДП на полушироте проводим перпендикуляр до пересечения с линией *AC* на боку, где получаем точку *B*, принадлежащую линии киля. Повторяя несколько раз такие построения, найдем ряд точек, по которым строим килевую линию на боку.

Для построения скулы проводим ее линию на проекции бока. Продлив за этой проекции луч *AC* до пересечения со скулой в точке *E*, опускаем вертикаль до пересечения с лучом *AC* в плане. Точка пересечения *E* дает положение скулы на полушироте. Несколько найдемых таким образом точек позволяют определить линию скулы на полушироте.

Построение борта производится в том же порядке, что и построение днища. На боку прочерчиваем бортовую линию и выстраиваем вершину конуса в точке *B*, которая располагается несколько вперед носа на расстоянии от $\frac{1}{2}$ до $\frac{3}{4}$ полной длины

конуса над скулой у форштевня. Для того чтобы получить в корме некоторый завал борта, вершину *B* следует поместить от ДП на расстоянии, равном ширине транца по скуле. Провода из вершины *B* лучи х точкам *E*, находим точку *G*, которая определит положение бортовой линии на полушироте.

Наконец необходимо провести на полушироте 1—2 батокса, а на боку 2—3 ватерлинии в подводной части и столько же в надводной. По точке *K* пересечения батокса с лучами *AC* на полушироте находим точку *K* батокса на боку. Это позволяет построить линию батокса на боку. Точка *L* пересечения луча *AC* с ватерлинией на боку дает возможность найти точку *L* ватерлинии на полушироте. По батоксам и ватерлиниям строится третья проекция — корпус судна со всеми теоретическими шпангоутами.

Если полученный чертеж по каким-либо причинам не удовлетворяет проектировщика, то он может быть изменен передвижением вершины *A* и *B*.

На ходовые и мореходные качества судна оказывает влияние коэффициент полноты водоизмещения δ . Ниже приведены коэффициенты δ , вычисленные в предположении подобия шпангоутов судна, что характерно для современных катамаранов. При определении δ предполагалось, что ветви ватерлиний образованы параболой или синусоидой. Формы действительных ватерлиней лежат между этими двумя кривыми. Диаметраль прикидывалась в виде параболы, синусоиды и трапеции; шпангоуты — полукруглые, параболосообразные, треугольные и трапециевидные.

Для параболосообразных ватерлиний и параболосообразной диаметральной $\delta = 0,536\beta$ (β — коэффициент полноты мидель-шпангоута). В случае синусоидальных ватерлиний и синусоидальной диаметральной $\delta = 0,55$. В зависимости от формы шпангоутов коэффициенты полноты δ колеблются в пределах при круглых шпангоутах ($\beta = 0,785$) от 0,43 до 0,39, при параболосообразных ($\beta = 0,666$) от 0,36 до 0,33, при треугольных ($\beta = 0,5$) от 0,27 до 0,25.

Если проекция бока приближается к трапеции (суда типа «Малу Кам»), то $\delta = (0,56 - 0,53)\beta$. В этом случае при треугольных шпангоутах $\delta = 0,330 - 0,315$, при параболосообразных $\delta = 0,44 - 0,42$.

Если шпангоуты имеют форму трапеции или сложную угловатую форму (см. рис. 30), то коэффициент полноты мидель-шпангоута β находится по выражению $\beta = \frac{1}{2} \left[\left(1 + \frac{\delta}{\beta} \right) \frac{T_1}{T} + \frac{\delta}{\beta} \frac{T_2}{T} \right]$ (обозначения понятий из рис. 30).

Общее сопротивление катамарана, как уже говорилось выше, складывается из сопротивления трения, формы водообразо-

вания. Сопротивление трения определяется в основном величиной смоченной поверхности Ω , которая зависит от формы корпуса катamarана. На рис. 29, б—г показаны три наиболее распространенные формы шпангоутов двухкорпусных судов. При равных длинах и равных водонизменениях наименьшую смоченную поверхность имеет судно с полукруглыми шпангоутами (рис. 29, б). Отклонения от полукруглой формы в любую сторону вызывают увеличение смоченной поверхности. Смоченная поверхность судна с треугольными (рис. 29, в) шпангоутами примерно на 12% больше чем у полукруглого. При этом немного увеличивается также осадка и ширина корпуса. Если же сделать шпангоуты округлыми в нижней части и закругленными прямыми в верхней (рис. 29, г), то осадка окажется почти такой же, как у судна со шпангоутами полукруглой формы (рис. 29, б), а смоченная поверхность возрастет всего на 6,7%. Для треугольных и круглых шпангоутов оптимальное отношение $\frac{B_0}{T}$, при котором значение Ω наименьшее, равно двум. Во всех остальных случаях следует стремиться получить отношение $\frac{B_0}{\sqrt{S_{\text{ж}}}} = 1,85$, при котором значение Ω минимальное.

Выбирая форму шпангоутов, следует учитывать и другие факторы. При установке на судне швертов лучшей формой шпангоутов является полукруглая, для катamarанов без швертов целесообразнее треугольная форма с острым углом у кила.

Наибольшее влияние на вихревое сопротивление оказывает нормальная оконечность судна: чем острее кормовые образования, тем вихревое сопротивление меньше.

Опыты, проведенные на моделях, показали, что у судов с длиной кормового заострения $L_{\text{ж}} = 4,68 \sqrt{S_{\text{ж}}}$ не бывает ни значительного вихреобразования за кормой, ни большого сопротивления формы. Длина кормового заострения должна быть не менее 7—8 размеров T . Вихреобразование становится заметным при угле заострения кормовых катерингов $\alpha_{\text{к}} = 16—18^\circ$. Минимальное сопротивление формы обеспечивают углы, начиная с $\alpha_{\text{к}} = 12^\circ$. Дальнейшее уменьшение $\alpha_{\text{к}}$ не приносит улучшения. Угол кормового заострения рыб, по которым происходит обтекаемые круглешпангоутных судов, также должен быть не выше $12—14^\circ$.

У судов с угловатыми шпангоутами заострение оконечностей образуется преимущественно кил за счет сужения бортов (рис. 57, б), или за счет подьема дна (рис. 57, в). Скоулывые линии должны следовать линиям потока, а не пересекаться струями воды. В тех случаях, когда B_0 больше T , сужение бортов играет небольшую роль и заострение должно быть получено

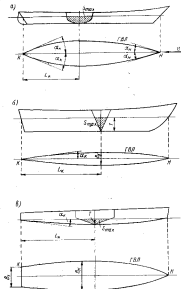


Рис. 57. Кормовые заострения судов с различной формой корпусов: а — округлые шпангоуты; б — V-образные (классовые) шпангоуты при $B_0/T < 1$; в — V-образные шпангоуты при $B_0/T > 1$.

лутем подъема днища до уровня воды (рис. 57, в); при этом корма будет заканчиваться отрезком B_1 , который должен быть тем ближе к B_2 , чем больше $\frac{B_2}{T}$. В тех случаях, когда T больше B_2 , кормовую оконечность следует образовывать за счет сужения бортов и заканчивать ее прямым или наклонным шпангоутом (рис. 57, б).

Большую роль в волнообразовании играет продольное распределение водонеконечности, которое характеризуется коэффициентом продольной полноты φ . Значение φ можно найти через коэффициент общей полноты β и коэффициент полноты площади киля β_0 по формуле:

$$\varphi = \frac{\beta}{\beta_0}$$

Легкие гоночные катамараны имеют незначительное волновое сопротивление. Поэтому при проектировании их обводов стремятся уменьшить смоченную поверхность, выбирая форму киля-шпангоута близкую к параболе или даже к окружности ($\beta = 0,67 - 0,78$). При этом $\varphi = 0,5 - 0,55$, объем корпуса «стянут» к килю. Более тяжелые крейсерские катамараны создают значительное волновое сопротивление. В связи с этим при проектировании их обводов стремятся к уменьшению β до $0,5 - 0,55$, что приводит к росту φ . При скорости $Fr = 0,45 - 0,5$ включаются оказываются коэффициенты φ порядка 0,65; с увеличением скорости наименьшие коэффициенты продолжают возрастать. Для крейсерских и тяжелых гоночных катамаранов можно рекомендовать $\varphi = 0,63 - 0,65$ (отклонения желательны в меньшую сторону). В этом случае решающее значение имеет обшая ширина судна — ее целесообразно уменьшать, слегка приподнимая оконечность.

Обтекание носовой части судна происходит преимущественно по ватерлинии. Поэтому главное внимание надо уделить проектированию носовых ветвей ватерлиний. Они должны быть слегка выгнутыми. Уменьшение угла носового заострения ватерлиний (рис. 57, а) является одним из основных средств снижения волнового сопротивления. При $\varphi = 8 - 8,5$ угол носового заострения α_n может быть равен 10° , причем увеличение угла на два градуса приводит к возрастанию сопротивления примерно на 1%. У более острых судов ($\varphi = 9$) угол α_n может быть доведен до 14° . Если длина корпуса не позволяет получить оптимальное значение α_n , то следует немного сдвинуть в корму наибольшую ширину ГВЛ. Однако сдвиг наибольшей ординаты ГВЛ в корму уменьшает кормовое заострение, с чем следует считаться.

Современные катамараны со швертами (мелконадкающие) имеют углы заострения $10 - 12^\circ$ в носу и $7 - 10^\circ$ в корме; без швертов (глубоконадкающие) $8 - 10^\circ$ в носу и $6 - 8^\circ$ в корме.

У нижних ватерлиний наибольшая ордината может быть сдвинута вперед от середины длины без ущерба для сопротивления. Это придает большую легкость и плавный подъем кормовым батоксам.

Обтекание кормовой части судна происходит близко к направлению батоксов. Следовательно, форму кормовой оконечности в отличие от носовой желательно проектировать с плавным подъемом батоксов или рыбин. Крутые батоксы способствуют подъему воды и вызывают вихреобразование в корме.

Форма шпангоутов мало влияет на волновое сопротивление. Носовым шпангоутом катамаранов полезно придавать U-образную форму; она обеспечивает большее заострение носовой ветви ГВЛ, чем V-образная (при одинаковом углублении и равной площади шпангоутов).

Несколько слов о проектировании обводов мостика.

Входящая кромка мостика должна быть смещена подальше от носа, во избежание ударов встречной волны в днище.

Нижнюю часть мостика располагают тем выше от поверхности воды, чем больше расчетная скорость хода судна и высота волны. Однако высоко расположенный мостик уменьшает прочность катамарана, приводит к повышению его ЦТ, и, следовательно, ухудшению остойчивости. При проектировании следует находить компромиссное решение. Переднюю кромку мостика рекомендуется выполнять обтекаемой. Это не только уменьшает аэродинамическое сопротивление, но и снижает до некоторой степени силу удара волны. Подъем днища мостика к носу облегчает всплытие катамарана на встречной волне и обеспечивает быстрый слив воды с килита.

Выходную (заднюю) кромку мостика удобно закончить в точке, где блок гика-шкота закрепляется на гике.

Выбор обводов корпуса зависит также от материала, используемого для постройки катамарана, конструкции судна и требуемой прочности.

Для постройки корпусов катамаранов наиболее подходящими материалами являются фанера, пластмасса, легкие сплавы, дерево и стеклопластик. Дерево, пластмасса, легкие сплавы и стеклопластик позволяют выполнять обводы судна любой формы. Фанерную обшивку из листов могут иметь только корпуса, наружная поверхность которых разорочается на плоскость (в частности, катамараны с обводами типа шпринг и клиновидными шпангоутами). Сула, обшивка которых выполняется из шпона формовкой на специальном болване, могут иметь произвольные обводы.

С точки зрения асесома характеристики при небольшой длине преимущественно обладают фанерные суда с деревянным набором. Суда, изготовленные из пластмассы и легких сплавов, несколько тяжелее.

Самыми дешевыми являются деревянные, фанерные и стеклопластиковые суда.

На крейсерских катамаранах выбор обводов корпуса необходимо увязывать с планировкой на судне помещений.

Формы обводов катамаранов различных типов могут быть охарактеризованы следующим образом.

Гонимый галсесурующий катамаран для прибрежных районов или внутренних вод. Корпуса плоскоклиноватые (угол клиноватости уменьшается с носа в корму). Динне в кормовой части почти плоское. Носовые шпангоуты имеют небольшой развал. Кормовой свес отсутствует, носовой — минимальный. Форштевень прямой. Высота борта средняя. Удлинение корпусов минимальное ($\frac{L}{B_k} = 7-8$). Палубная линия прямая, полого поднимающаяся от кормы в носу, или слегка выпуклая. Осадка минимальная. Ватерлиния острая в носу и широкая в корме. Корма транцевая, широкая. Имеется шверт. Конструктивная ширина наименьшая из рекомендуемых.

Гонимый водоизмещающий катамаран для прибрежных районов или внутренних вод. Корпуса с круглыми шпангоутами, приблизительно одинакового профиля. Носовые шпангоуты имеют небольшой развал. Кормовой свес отсутствует, носовой — минимальный, Форштевень прямой. Высота борта средняя. Удлинение корпусов среднее ($\frac{L}{B_k} = 11-13$). Палубная линия прямая с подъемом в нос или слегка выпуклая. Осадка минимальная. Ватерлиния острая в носу и в корме. Корма транцевая, узкая. Имеется шверт на мостике или в корпусах. Конструктивная ширина наименьшая. Мостик короткий.

Прогулочный катамаран для прибрежных вод. Шпангоуты круглые или клиновидные (в последнем случае шверт отсутствует). Борт выше, чем у гонимого катамарана. Палуба седловатая или прямая с большим подъемом в носу. Форштевень ложкообразный. Имеется кормовой в носовой свесы. Удлинение корпусов находится в пределах $\frac{L}{B_k} = 9-12$. Ватерлиния острая в носу и в корме. Корма имеет маленькую транец. Вертикальный клиренс выше среднего. Конструктивная ширина наибольшая. Мостик длинный.

Мореходный гонимый-крейсерский катамаран. Шпангоуты круглые (со швертом) или клиновидные (без

шверта). Борт высокий, палуба имеет седловатость с большим подъемом в нос и корму. Свесы развитые. Форштевень ложкообразный. Удлинение корпусов достигает $\frac{L}{B_k} = 15-18$. Ватерлиния острая в носу и в корме. Вертикальный клиренс очень большой. Конструктивная ширина минимальная. Мостик предельно короткий. Если судно в процессе эксплуатации будет часто проходить мимо прибрежных отмелей, то корма делается острой, а свесы — возможно большей длины.

Мореходный крейсерско-гонимый катамаран. Обводы круглые или плоскоклиноватые. Надающий борт высокий, палуба имеет седловатость или выпуклость, нос сильно поднят. Свесы умеренные. Форштевень ложкообразный, корма транцевая. Удлинение корпусов в пределах $\frac{L}{B_k} = 9-12$. Ватерлиния острая в носу и в корме. Конструктивная ширина большая, мостик удлиненный. Вертикальный клиренс наибольший.

Проектирование парусного вооружения

На первых порах любителю можно рекомендовать один из известных типов парусного вооружения: например, шлюп, который выдержал испытание временем и широко применяется на катамаранах. Хорошие результаты дает также латвиское вооружение.

Выбрав тип парусного вооружения, необходимо определить площадь парусов. В табл. 3 приведены данные для выбора отношения $\frac{V^2 S}{L}$ для гонимого и $\frac{V^2 S}{L V}$ для крейсерского катамарана.

Если парусность не превышает 10—13 м², то можно ограничиться одним парусом латвиского типа. Если же S больше 15 м², целесообразнее применить вооружение типа шлюп. При $S = 60-90$ м² можно использовать двухмачтовые конструкции.

Распределение площади парусности между стакселем и гротом можно произвести, руководствуясь табл. 2 и данными, приведенными в приложении. Обычно площадь стакселя составляет 30—40% общей площади парусов.

Стаксель, как правило, делают треугольной формы. Заднюю шкаторину на катамаранах принято не заносить далеко за мачту. Величина захода стакселя за мачту у большинства гонимых катамаранов не превышает 18—20% от длины нижней шкаторины s (рис. 58). У крейсерских катамаранов, как правило, стаксель не имеет захода за мачту, а нижняя шкаторина стакселя крепится к рейку. Для увеличения длины передней шкаторины максимально опускается галсовый угол, а фаломый поднимается до предела, при котором остается достаточное

пространство между гротом и стакселем. Сильным высокоподнятым стакселем начинает задуть в грот. Рекомендуемая высота стакселя A_2 (рис. 58) равна 0,7—0,95 от высоты парусности A_1 .

В любом случае следует стремиться к наиболее высокому размещению стакселя. Необходимо помнить, что фаловый угол

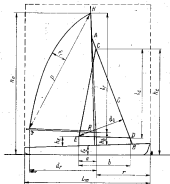


Рис. 58. Парусное вооружение яхты.

стакселя должен быть не менее 20—25°, иначе стаксель трудно ставить и он плохо работает в верхней части.

Заднюю шкаторину стакселя делают прямой, а у гонимского стакселя — слегка выгнутой.

Удлинение стакселей $\lambda_2 = \frac{L_2}{S_2}$ обычно равно 3,5—5,0.

У крейсерских катамаранов, имеющих высокие узкие стаксели, λ_2 приближается к 5—6. У гонимских катамаранов, имеющих относительно низкие стаксели с некоторым заходом за мачту, удлинение равно примерно 3,5—4,5.

Подобляющее большинство современных катамаранов имеет грот треугольной формы с горбом (рис. 58). Горб позволяет

значительно увеличить площадь паруса. Например, на катамаране «Тайгеркет» использование горба дало возможность увеличения парусности грота на 43% при сохранении тех же габаритных размеров. При этом, правда, несколько повышается положение центра парусности и уменьшается удлинение грота. Парус с горбом при такой же высоте парусности, как у треугольного грота и при равных удлинениях, дает возможность укоротить нижнюю шкаторину. Грот, имеющий большой горб, необходимо снабжать большим количеством сквозных лат.

Обычно число сквозных лат бывает от 7 до 10. Треугольные гроты и гроты с малым горбом могут иметь только 4—5 коротких лат.

Нижнюю шкаторину грота следует располагать как можно горизонтальнее, но так, чтобы она не задевала за надстройки, оборудование, расположенное на палубе, и головы сидящих по борту людей.

Высота фалового угла грота над уровнем воды, которую принято называть высотой парусности A_1 , обычно выбирается в зависимости от полной длины катамарана L_m . Для большинства крейсерских катамаранов отношение $\frac{A_1}{L_m} = 1,1 - 1,4$. Гонимые катамараны имеют более высокую парусность: $\frac{A_1}{L_m} = 1,4 - 1,7$.

Только у катамаранов конструкции Уффа Фосса (например, «Бел Кет») $\frac{A_1}{L_m}$ немного ниже — 1,2—1,25.

Удлинение грота, как правило, меньше, чем стакселя, и равно $\lambda_1 = 3 - 4,5$.

Площадь паруса легко рассчитать по правилам геометрии. Площадь стакселя и треугольного грота высчитывается как площадь треугольника (см. рис. 58). Если грот имеет горб, то к площади треугольной части надо добавить площадь горба, которую можно найти по выражению $S_{гор} = \frac{2}{3} f r$, где f — величина стрелки прогиба горба, r — длина задней кромки паруса.

Определив общую площадь парусов S и распределив ее на грот и стаксель, можно приступить к измерению эскиза парусности (лучше всего в масштабе М 1 : 10). По главным размерам катамарана строим надводную часть корпуса судна. Затем находим предварительное положение мачты. Из условий центровки на катамаранах принято располагать мачту несколько дальше к корме, чем на обычных яхтах. Расстояние g от палубы от носа до мачты равно для катамаранов 0,38—0,5 L_m . Мачту устанавливают или строго вертикально, или с наклоном к корпусу на 2—6°. Наметьте положение мачты, можно приступить к определению габаритных размеров парусов.

Размеры парусов легко найти из принятой величин удаленности λ . Например, длина стакселя

$$l_s = \sqrt{\lambda S_s}$$

а ширина

$$b_s = \frac{2S_s}{l_s}$$

После этого подбираем заход стакселя за мачту a и высоту стакселя над водой h_s .

Если полученная форма и размеры парусов удовлетворительны, то построение эскиза парусности за этом заканчивается.

После построения контура парусов необходимо проверить их габаритные размеры. На современных катамаранах принято, чтобы заруса включались в габариты судла (пунктирные прямоугольники на рис. 58). Лучше всего если задняя точка грота G не будет выходить за пределы габарита корпуса. В тех случаях, когда это не удается, применяют горбатый грот, сохраняя эквивалентную площадь парусности. Очевидно, что при установке актерштага парус и так не должен выходить за его пределы. На крейсерских катамаранах два актерштага крепятся за транцы каждого корпуса, что позволяет несколько удлинить гик.

Отнесем часть площади грота на горб. Обычно эта величина составляет 10—30% от общей площади грота. Большую величину горба следует называть u относительно ширинных катамаранов. Обозначим площадь горба через $S_{гор}$. Тогда оставшаяся треугольная часть паруса будет иметь площадь $S_1 = S_s - S_{гор}$. Используя вычисленную ранее длину грота l_s , находим поперечный размер $d_g = \frac{2S_1}{l_s}$. Повторяя построение, определяем новое

положение точки G паруса. Если она не выходит за габариты корпуса, то можно считать вопрос решенным. Остается только найти размер стрелы f_s горба. Измерив расстояние p грота, находим

$$f_s = \frac{3}{2} \frac{S_{гор}}{p}$$

От фалового угла стрелку f_s следует располагать на расстоянии, равном 25—30% p . Линия горба проводится по дуге радиусом p изогнутой дуге. Стрелка f_s для грота с короткими латами не превышает 2,5—3% p и располагается на середине длины шкаторины. У гротов со сквозными латами стрелка f_s достигает 16% от p .

Если при размещении шкотового угла — точки B грота — а пределах габарита корпуса окажется, что горб очень велик, то следует увеличить высоту парусности h_s .

Построением эскиза парусов не заканчивается проектирование парусности. В дальнейшем по мере разработки конструктивного и теоретического чертежа размеры, форма и размещение парусов уточняются.

Размеры парусности необходимо тесно увязывать с остойчивостью. Может оказаться, что при полученных размерах парусности катамаран будет сильно крениться или даже опрокидываться. О проверке парусности по остойчивости будет рассказано ниже. Здесь же заметим, что если катамаран не способен нести спроектированные паруса, то они должны быть уменьшены в соответствии с требованиями остойчивости. Если уменьшение площади парусности нежелательно, то следует перейти на двухмачтовое вооружение или на параллельную установку парусов на каждом корпусе.

В дальнейшем размещение парусности уточняется при центровке, т. е. при согласовании расположения центра давления ветра и центра сопротивления воды. В процессе центровки возможно смещение всей парусности вместе с мачтой в нос или в корму. Иногда можно ограничиться только перемещением одного стакселя. Подробное о центровке будет рассказано ниже.

При размещении парусов могут возникнуть трудности, связанные с расположением отдельных ответственных частей катамарана. Поэтому проектирование парусности необходимо тесно увязывать с общим проектированием судна.

После завершения работы над эскисным проектом необходимо проверить соответствие площади парусности другим элементам судна. Обычно эта проверка производится путем построения векторов безразмерных отношений с данными построения эскизов судов. Если эти отношения оказываются удовлетворительными, то можно приступить к выполнению рабочих чертежей катамарана.

Несколько слов о выборе «пуза» парусов. Для мягких парусов катамаранов по выбеганию заполостивания следует принимать малые значения пуза — не более 7—10%. Если паруса имеют сквозные латы, то величину пуза можно увеличить до 10—12%, так как жесткие латы сохраняют форму паруса вплоть до теоретических предельных углов хода катамарана и позволяют регулировать величину пуза.

Мачту катамарана следует сделать с запасом по высоте, чтобы установить скользящий вертикальный гик. Перемещая вертикаль по долауку, можно изменить высоту парусности над уровнем воды. В слабый ветер, повышая парусность, можно увеличить тягу парусов за счет использования более высокой скорости ветра сверху. Наоборот, в сильный ветер, снижая

зарусность, можно уменьшать силу дрейфа и расстояние до ЦД, что приведет к уменьшению кренящего момента ветра.

Если катamarан строится под имеющийся парус, например под комплект парусов швертбота «Летучий голландец», «М»

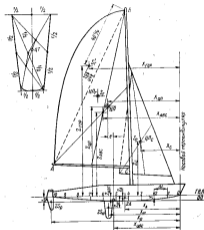


Рис. 59. Определение ЦП и ЦС.

и т. д., то при проектировании отпадает целый ряд вопросов, связанных с расчетами зарусности, и задача сводится только к размещению имеющихся парусов на чертеже зарусности и согласованию их с остойчивостью, центровкой и общим расположением.

После определения габаритных размеров заруски необходимо произвести центровку катamarана, т. е. согласовать положение ЦД ветра и ЦС воды.

Поскольку фактическое положение ЦД ветра и ЦС воды переменны и его чрезвычайно трудно определить, то при центровке яхты принято вместо центров давления находить геометрические центры площадей. При этом исходят из предположения, что сила давления ветра на парус и сила давления воды на подводную часть судна равномерно распределены по своим площадям. За точку приложения равнодействующей давления ветра принимают геометрический центр тяжести поверхности парусов, когда они помещены в диаметральной плоскости яхты. Эту точку называют центром зарусности и обозначают буквами ЦП. Центр давления воды также находится как проекция центра тяжести подводной части яхты на диаметральную плоскость. При этом надо учитывать площадь корпуса, швертов и рулей. Центр тяжести диаметра, рулей и шверта называется центром бокового сопротивления (ЦБС).

Для нахождения ЦП заруса яхты разбивают на ряд простейших фигур (рис. 59). Центр тяжести треугольника лежит в точке пересечения его медиан, т. е. линий, соединяющих середины сторон с противоположными углами. Центр тяжести площади горба можно считать расположенным посредине длины хорды ρ на расстоянии $\frac{1}{3}$ от хорды. Расстояние общего центра зарусности от носового перпендикуляра и от ГВЛ находится по формулам

$$x_{\text{ЦП}} = \frac{\sum Sx}{S};$$

$$z_{\text{ЦП}} = \frac{\sum Sz}{S};$$

где $\sum Sx$ — сумма произведений площадей фигур S на расстояния x от носового перпендикуляра до ЦТ фигуры.

$\sum Sz$ — сумма произведений S на расстояния z от ГВЛ до ЦТ фигуры;

S — общая площадь зарусности.

Координаты ЦТ площади диаметра находят приближенным способом, пользуясь методом трапеций (табл. 6).

Обозначая через D , B и C окончательные цифры в нижней строке таблицы, будем иметь для расчета следующие формулы: площадь бокового сопротивления (площадь диаметра)

$$A = \Delta L D;$$

абсцисса ЦТ площади от носового перпендикуляра

$$x_{\text{Ц}} = \Delta L \frac{B}{D};$$

Таблица 6

Переделание обложки ЦТ площади диаметрами корпуса судна

Номер шпалгоута, k	Ординаты диаметров от ГВЛ, r, m	x, m	r, m^2	Расчетные формулы
0	0	0	0	$\Delta L = 0,5 m$
1	0,143	0,143	0,020	Площадь диаметров $A = \Delta L D = 0,5 \cdot 1,277 = 0,638 m^2$
2	0,182	0,364	0,032	
3	0,195	0,565	0,034	
4	0,150	0,763	0,036	
5	0,170	0,889	0,029	
6	0,145	0,870	0,021	Масса ЦБС от нового перекладкула $x_A = \frac{\Delta L}{D} \cdot \frac{B}{1,277} = 0,5 \cdot \frac{5,541}{1,277} = 2,18 m$
7	0,115	0,810	0,013	
8	0,082	0,658	0,007	Ордината ЦБС от ГВЛ $z = \frac{1}{2} \cdot \frac{C}{D} = \frac{1,277}{2} = 0,638 m$
9	0,045	0,405	0,002	
10	0,020	0,200	0,0004	
Сумма Σ	1,287	5,641	0,216	Ордината ЦБС от ОП $z_A = T - z = 0,158 - 0,084 = 0,074 m$
Поправка Δ	0,04	0,100	$\sim 0,0$	
Исправленные суммы $\Sigma - \Delta$	$D = 1,277$	$B = 5,541$	$C = 0,216$	

ордината ЦТ площади от ГВЛ

$$z_A = \frac{1}{2} \cdot \frac{C}{D}$$

где $\Delta L = \frac{L}{n}$; n — число делений

Центр тяжести руля и шверта можно найти приближенно как для трапеции (рис. 59). Если контур руля или шверта имеет более сложную форму, то можно воспользоваться правилом трапеций.

Положение ЦБС можно найти по формулам (рис. 59).

$$x_{\text{ЦБС}} = \frac{\Sigma x_k}{S_{\text{ЦБС}}}$$

$$z_{\text{ЦБС}} = \frac{\Sigma x_k}{S_{\text{ЦБС}}}$$

где s — площадь фигуры;

x и z — координаты от центра тяжести;

$S_{\text{ЦБС}}$ — суммарная площадь бокового сопротивления всех частей судна.

При этом можно найти расстояние между ЦП и ЦБС $A_k = z_{\text{ЦП}} + z_{\text{ЦБС}}$. При эскизном проектировании положение ЦБС можно быстрее определить, уравнивая на высоте ниже вырезанный из картона чертёж боковой поверхности.

Как уже говорилось, для получения хорошего баланса яхты необходимо ЦП помещать впереди ЦБС. Расстояние e (см. рис. 59) называется «центровкой» и измеряется в процентах от длины яхты по ГВЛ. На однокорпусных яхтах центровка составляет 8—12%. Чем меньше остойчивая яхта, тем больше должна быть центровка. Кроме того, чем больше высота ЦП над ЦБС, тем дальше к носу надо сдвинуть ЦП. Точнее: центровка должна быть тем больше, чем значительнее величина $\frac{SA_k}{Dh}$.

У швертботов значение $\frac{SA_k}{Dh}$ выше, поэтому их центровка должна быть больше. У катамаранов, вследствие рассмотренных выше причин, центровка должна быть существенно ниже, чем на однокорпусных яхтах (2—4% и меньше). На некоторых проектах катамаранов мачта и парус значительно сдвинуты в корму и центровка имеет отрицательную величину (рис. 59).

Чем шире катамаран и чем он тяжелее, тем меньше должна быть центровка парусов. Чем ниже парусность катамарана и чем меньше она, тем ниже центровка.

При эскизном проектировании намечаются размеры швертовых парусов и положение двух или трех рифов на гроте из условий соблюдения центровки. Последний риф обычно уменьшает площадь грота на 50%.

Для катамаранов качество парусов имеет особенно большое значение, рифление же сильно вытягивает грот и искажает его профиль, поэтому лучше иметь уменьшенный на 20—40% швертовой грот, а для особо сильных ветров трисье из прочной парусины площадью 45—50% от площади грота. При центровке швертовых парусов необходимо учитывать, что их ЦП желательно сдвигать в корму на 3—6%, так как при сильных ветрах и уменьшенной парусности на центровку яхты заметно влияет давление ветра на мачту, такелаж и подмачты бак, что затрудняет приведение к ветру и особенно выполнение поворота шверта. Последнее условие особенно легко выполнимо на крейсерских катамаранах с двухмачтовым вооружением. При уборке грота яхта легко центруется башнями и стакеелем, размеры которых должны быть соответственно подобраны при проектировании.

Таблица нагрузок и расчет положения ЦТ катамарана «Дуга» (рис. 91)

№ п/п	Статья нагрузки	Объем, м ³	γ, кг/м ³	Плечи, м		Моменты, кгм	
				x	z	P _x	P _z
Корпус (таблица 6)							
1	каль	17,5	11,4	5,07	-0,78	25,36	-7,06
2	киль	5,0	0,65	6,40	0,05	3,24	0,03
3	шпангоуты и бимсы	25,0	16,3	3,04	0,247	16,75	3,67
4	форштевень	3,0	2,64	0,20	0,31	0,53	0,78
5	транец	3,60	1,80	5,80	0,28	9,36	0,45
6	стопинки	0,2	0,81	0,75	0,80	0,45	0,054
7	обшивка бортов и палубы	0,075	60,00	3,04	0,247	180,30	15,19
8	приманки	13,5	8,30	3,87	3,37	33,48	1,12
9	металлические изделия и крепеж	3,50	12,00	—	—	—	—
10	краска	—	10,00	—	—	—	—
11	арматура	14,3	12,2	3,15	0,254	35,5	2,86
12	арматурный фланец корпуса без зап. в и в марше полностью	36,5	13,3	2,59	0,45	26,80	4,80
		—	112,2	—	—	323,3	26,44
		—	127,2	—	—	—	—
Судно в целом							
1	корпус (табл.)	—	274,4	3,24	0,27	891	51,20
2	мостик	—	65,3	3,07	0,278	200	21,20
3	рулевое устройство	—	33,3	3,88	0,257	129	7,81
4	вооружение	—	25,0	2,85	3,24	85	265,00
5	запаски	—	100,0	3,39	0,73	335	105,00
Всего		—	0-10⁴	—	—	1497	391,21
приманки + запасы		—	407,6	—	—	742	288,25
		—	147,6	—	—	—	—
Положение ЦТ				$x_c = \frac{177,5}{10}$		$z_c = \frac{1497}{10}$	
вероятно				$x_{c1} = \frac{200,35}{47,6} = 4,20$ м		$z_{c1} = \frac{1380}{407,6} = 3,41$ м	
с запасами				$x_c = \frac{200,35}{147,6} = 1,35$ м		$z_c = \frac{1497}{557,6} = 2,68$ м	

После построения теоретического чертежа, эскиза парусности, эскиза планировки мостика и корпуса можно приступить к разработке конструктивных чертежей корпуса, мостика и парусного вооружения. Описание основных типов узла, а также некоторые соображения о выборе типов конструкции помещены в главе IV. Там же приведены необходимые сведения для выбора размеров сечений основных деталей корпуса, мостика и парусного вооружения.

Конструктивные чертежи судна включают в себя продольный разрез и несколько поперечных сечений корпуса, продольные и поперечные сечения мостика, план корпуса со снятой палубой. На чертежах должны быть показаны все детали, включая шверты, рули и другие выступающие части, с указанием их основных размеров. Детально разрабатывается чертеж парусного вооружения с указанием необходимых размеров ригельюта, такелажа и парусов.

На основании этих чертежей производится расчет веса судна. Для этого суммируются веса отдельных частей катамарана

$$G = P_x + P_y + P_z + P_4 + P_5 + P_6$$

где P_x — вес корпуса;

P_y — вес механизмов (мотор, помпы и т. п.);

P_z — вес парусного вооружения;

P_4 — вес снабжения, включающего в себя спасательные и водооградные средства, запасные вещи, топливо, съедобные материалы, воду и т. д.;

P_5 — вес экипажа;

P_6 — запас водоизмещения, необходимый на случай просчетов (этот запас принимается 2—5% от водоизмещения).

Подсчет веса производится в таблице, которая называется таблицей нагрузки. В табл. 7 приведен пример вычисления веса катамарана по статьям нагрузки. Вычисления следует производить как можно тщательнее, так как катамараны очень чувствительны к изменению веса и положения центра тяжести (ЦТ).

Вес корпуса крейсерского катамарана может быть разбит примерно на следующие статьи нагрузки:

- 1) киль;
- 2) форштевень;
- 3) акшерштавень (транец);
- 4) шпангоуты;
- 5) наружная обшивка;
- 6) привальные бруска, ватервейсы;

- 7) коллегарсы, странгеры;
- 8) бакля, индия, подножки;
- 9) полы, диншевы настл, решетки;
- 10) лалуба;
- 11) бимсы;
- 12) комматсы;
- 13) переборки;
- 14) паллерсы;
- 15) фундаменты двигателей;
- 16) световые люки, входные люки и т. п.;
- 17) грузовые люки;
- 18) надстройки, рубки;
- 19) фальшборт, поручки, озерное устройство;
- 20) колодец шверта;
- 21) килеты, утки, клемы и т. п.;
- 22) окна, иллюминаторы;
- 23) аппаклева, конопатка, окраска;
- 24) крепежные изделия.

Аналогично разбивают на статьи нагрузки мостик, рулевое и швертовое устройства, вооружение и т. п.

Подсчет веса корпуса производится на основании размеров деталей и удельного веса материала, из которого они изготовлены. Удельные веса основных пород древесины приведены в табл. 8.

Таблица 8

Трансформационные коэффициенты прочности и объемный вес древесины различных пород

Порода древесины	Коэффициент предела прочности и допустимого напряжения			Объемный вес древесины в конструкции, кг/м ³	
	Расстояние от скагел и скагелс вдоль колоца	Скагелс и скагелс поперек колоца	Скагелс поперек	таблицированный от удельного веса	используемый от удельного веса
Сосна, ель	1,0	1,0	1,0	500	600
Лиственница	1,2	1,2	1,0	650	800
Кедр сибирский	0,9	0,9	0,9	500	600
Листвен	0,8	0,8	0,8		
Ясень	1,3	2,0	1,6	700	800
Дуб	1,3	2,0	1,3		
Береза	1,1	1,6	1,3		

Расчет объемов прямолинейных деталей не представляет сложности. Для определения объемов деталей с криволинейными очертаниями — кля, форштевя, бимсы, шпангоута и пр. — измеряют габкой линейкой или измерителем длину осевой линии и умножают ее на площадь поперечного сечения. Если размеры сечений меняются по длине, то объемы вычисляют по участкам.

Площадь поверхности бортовой и диншевой обшивки можно найти по формуле

$$S = \Delta L (v_0 + v_1 + v_2 + \dots + v_n - \frac{v_n + v_0}{2}), \quad (32)$$

где

$$\Delta L = \frac{L}{n} \text{ — расстояние между теоретическими шпангоутами;}$$

$$v \text{ — длина обвода теоретического шпангоута.}$$

По этой же формуле определяют площадь сплошной палубы, но буквой v в этом случае обозначают длину обводов бимсов. Если палуба имеет вырезы (кокпит, рубки, люки и т. п.), то ее площадь находят как разность площади сплошной палубы и площади вырезов (рис. 60, а).

Центры тяжести геометрически простых деталей корпуса находят как центры объемов. Общий центр тяжести аркальной детали набора находят разбивкой детали на несколько более простых по форме объемов (рис. 60, б).

Для определения положения центра тяжести по высоте (рис. 60, в), шпангоут разбивают на n мелких одинаковых отрезков. Затем измеряют расстояние от ОП до середины каждого отрезка и по формуле

$$z_{ЦТ} = \frac{\sum z}{n}$$

определяют положение ЦТ шпангоута ($\sum z$ — сумма расстояний от ОП до середины отрезков).

Центр тяжести всех шпангоутов находится от ОП на расстоянии

$$z_{ЦТ} = \frac{\sum_{ЦТ} P_{шп}}{\sum P_{шп}}, \quad (33)$$

где $\sum_{ЦТ} P_{шп}$ — сумма произведений координаты ЦТ каждого шпангоута на его вес;

$\sum P_{шп}$ — сумма весов шпангоутов.

Аналогично можно определить расстояние от ЦТ всех шпангоутов до носового перпендикуляра (по длине судна).

Положение центра тяжести килей и криволинейных шпангоутов можно брать по середине длины на расстоянии $\frac{1}{2}$ от хорды, соединяющей их концы.

Центр тяжести каждого бруса расположен на расстоянии $\frac{1}{2}$ его высоты; ЦТ всех брусьев определяется по формуле (33).

Положение ЦТ трапеца зависит от его формы и в наиболее сложных случаях может быть определено по методу, приведенному в табл. 6.

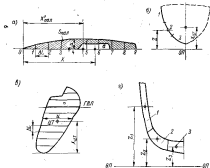


Рис. 60. Определение веса и ЦТ деталей сложных форм.

Положение ЦТ обшивки по высоте можно определять по формуле

$$z_{об} = \frac{\sum z_{ЦТ} V}{\sum V}$$

где $z_{ЦТ}$ — положение ЦТ каждого теоретического шпангоута, найденное по формуле (33);

V — длина обвода теоретического шпангоута.

Таблица 9

Характеристики некоторых типовых «связок»

Номер детали, обшивки и кюста (соответствует допустимой нагрузке, кг)	Трапеция с двумя параллелями		Связка прямая с изогнутой обшивкой		Кюсты			
	Равенство длин	Вес, кг	Диаметр, мм	Вес, кг	Диаметр, мм	Вес, кг		
0,1	М8 195/233	0,17	—	—	3,3	0,01	10—13	0,05
0,2	М10 225/218	0,41	6	0,043	3,7—4,7	0,007	14—16	0,09
0,3	—	—	—	—	—	—	19—21	0,18
0,4	М12 254/266	0,55	8	0,082	4,8—7,5	0,07	24	0,31
0,5	М14 300/226	0,81	10	0,16	7,5—8,5	0,12	29	0,48
0,7	—	—	—	—	—	—	32	0,72
0,9	М18 374/232	1,62	12	0,291	8,2—9,3	0,25	37	0,9
1,2	М20 390/236	2,04	14	0,494	11	0,35	—	—
1,7	М24 451/236	3,29	16	0,688	12—13	0,52	—	—

Положение ЦТ обшивки по длине судна (от носового перпендикуляра) находят по формуле

$$x_{\text{об}} = \frac{\sum_{i=1}^n M_i (y_1 - y_2)}{\sum_{i=1}^n M_i} \quad (34)$$

где M_i — произведение длины обвода шпангоута на его номер;

$$y_1 = \frac{a_2}{2} \text{ — поправка;}$$

$$y_2 = \frac{b_2 + c_2}{2} \text{ — поправка.}$$

Центр тяжести палубы по высоте приблизительно совпадает с центром тяжести бимсов. Положение ЦТ палубы судна по длине можно найти по формуле (34), считая в ней σ — длиной обвода бимса. Если палуба имеет вырезы, то ее ЦТ по длине располагается на расстоянии:

$$x'_{\text{пал}} = \frac{x_{\text{пал}} S_{\text{пал}} - \sum x_{\text{в}} \sigma}{S_{\text{пал}} - \sum \sigma}$$

где $x'_{\text{пал}}$ — расстояние от ЦТ сплошной палубы до носового перпендикуляра;

$S_{\text{пал}}$ — площадь сплошной палубы;

$\sum x_{\text{в}} \sigma$ — сумма произведений площади вырезов σ на абсциссу x от носового перпендикуляра по ЦТ выреза.

Вес деталей корпуса вычисляется с учетом замощания древесиной (см. табл. 6). Все расчеты ЦТ лучше производить в табличной форме.

При учете веса крепежных изделий исходят из предположения, что гвозди, заклепки и шурупы равномерно располагаются по корпусу, а ЦТ крепежа совпадает с ЦТ корпуса.

Расход воздушного клея на 1 м^2 склеиваемой поверхности равен $0,6\text{--}0,7 \text{ кг}$; ЦТ клея совпадает с ЦТ склеиваемой детали.

Расход покрытий на 1 м^2 поверхности составляет, кг:

гидроизоляционного грунта	0,1	—0,15
магнезиоцементная	0,3	—0,35
масляной эмалью	0,25	—0,3
масляных термических красок	0,1	—0,15
акриловых и неабразивных красок	0,4	—0,5
акриловых АК-20 (грунт)	0,2	—0,35
масляных лаков	0,1	—0,15

Таблица 10

		Характеристики различных трюсов																
		А. Диаметр и вес поперечел в клеветобуживающих трюсах																
Вид трюса	Диаметр, мм	— Вес (100 м. м.)															60	
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	18	20		
Плоской: сплошной стальной листовой	1,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	3,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Хлеветобуживающая сталь	1,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	3,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Длина стальной	0,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	Диаметр	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Б. Диаметр, вес и размеры прочности материала, стального трюса и трюса из дерева		Диаметр, мм																
Вид трюса и его характеристика	10	12	16	20	24	30	36	40	60									60
	Материал и стальность:		11		18	22	28	36	48	60									60
вес 100 м. м.		8,0		15,0	20,0	26,0	33,0	42,0	54,0									60
размеры прочности, кг		200		300	400	500	600	750	900									900
Трюс из дерева:		7,2		9,5	17	27	39	55	75									75
вес 100 м. м.		1400		2100	3700	5400	7500	11200	15000									15000
размеры прочности		—		—	—	—	—	—	—									—

Примечание. Размеры поперечел поперечелов стальных трюсов: $S_{\text{ст}} = 0,05 \text{ С ст.}$; для С — окружность Трюса, мм.

Приблизительно общий расход красок составляет 1,5—2,5 кг на единицу кубического модуля катамарана 2LВ₂H. Применяется, что положение центра тяжести покрытий совпадает с ЦТ корпуса.

Вес некоторых деталей яхты приведен в табл. 9. Иногда яхты и трюмы на катамаранах покрывают линолеумом. Для закрепления линолеума по краям ставят латунные планки сечением 10×1 мм, образующие закраины. Вес 1 м² линолеума толщиной 1 мм составляет 1,25 кг. Покрытия применяются толщиной от 2 до 7 мм. Вес 1 пог. м латунных планок с лентами 0,4 кг.

Вес оборудования помещений подсчитывается по чертежам или принимается по каталогам заводов-поставщиков.

С большой тщательностью следует определять вес и положение ЦТ парусного вооружения. Чтобы сделать его более легким, желательнее мачту ставить или втулочную, вес которой на 30% меньше, или из алюминиевых сплавов, вес которой на 40—50% меньше веса сплошной деревянной мачты при равной прочности. По той же причине рекомендуются пластмассовые блоки и другие детали вместо металлических и деревянных.

Вес разлука переменного сечения и положение его ЦТ находится подсчетом объемов по частям; размеры сечений рангоута берут с рабочих чертежей.

Вес деревянных и облегченных пластмассовых блоков приведен в табл. 11. В табл. 10 и 12 даны прочностные и весовые характеристики различных тросов, идущих на такелаж парусных судов. Вес стоячего и бегучего такелажа, а также вес основных парусов с ликтросом указан в табл. 13. Необходимо учитывать также вес запасных комплектов.

Центр тяжести парусов с ликтросом находится как геометрический центр площади парусов. Вес и габариты двигателей берутся по каталогам заводов-поставщиков.

В качестве спасательных средств на катамаранах обычно используются: надувной резиновый плотик на 4 человека, весом 50 кг, спасательный круг 3,2 кг, спасательный нагрудник 1,1 кг.

Весы якорей и размеры якорных канатов и цепей приведены в табл. 14. Отечественной промышленности выпускаются адмиралтейские шлюпочные якоря весом 20 и 40 кг и якоря Матросова (повышенной держащей силы) весом от 5 до 100 кг.

При проектировании крейсеровских яхт следует также учитывать вес таких предметов снабжения, как постельные принадлежности, посуда и т. п.

Положение ЦТ судна определяют одновременно с подсчетом весов по табл. 7. Для этого необходимо найти «сдвиг» каждого груза и каждой детали по координатному и планиметричному чертежам (рис. 61). Плечо любой детали катамарана Z_i определяется расстоянием от основной плоскости до ЦТ этой

Размеры и вес деревянных и пластмассовых блоков

Длина троса, м	Деревянные блоки с латунными планками				Блоки облегченные пластмассовые				Примечание
	Диаметр блока, мм	Размер планки, мм	Вес блока в сборе, кг	Диаметр троса, мм	Прочность на растяжение троса, кг	Вес блока без латунных планок, кг	Прочность на растяжение троса, кг		
8	50	35×12	0,99	8—10	480	0,030			
10	60	30×14	0,95	10—12	480	0,045			
11	70	35×15	0,21	8—10	440	0,040			со свобод
12	80	38×16	0,30	10—12	490	0,055			» »
14	90	45×17	0,40	8—10	530	0,065			Двуухватный блок
16	100	55×20	0,65	8—10	570	0,075			» »
18	120	60×22	0,70	10—12	720	0,080			со свобод
20	140	65×25	0,92	10—12	720	0,090			Двуухватный блок
									» »
									со свобод

Примечание.

1. Блоки для строков имеют на 30% меньше.

2. Двуухватные блоки » » на 70% больше.

Таблица 12

Характеристики стальных тросов (с плавником средним)

Диаметр троса, мм	Тип 6×12 (72 проволоки)				Тип 6×19 (114 проволоки)			
	Вес, 100 м, кг	Допускаемое напряжение, кг/мм ²			Вес, 100 м, кг	Допускаемое напряжение, кг/мм ²		
		120	160	180		120	160	180
		Разрешено устье, кг						
3	3,4	400	565	625	3,4	400	570	640
4	5,9	400	565	1110	5,7	380	590	1100
5	8,6	1180	1420	1630	8,3	1100	1360	1570
6	12,0	1830	2260	2540	11,6	1600	1950	2230
7	16,0	2650	3290	3670	17	2350	2900	3260
8	23,0	3110	3820	4300	21,9	2900	3600	4050
9	30,0	4120	5050	5720	28,0	3500	4300	4900
10	34,0	4710	5790	6520	36,0	4310	5220	5900

Таблица 13

Вес парусов, стоячего и бегущего такелажа

Парусовость, м ²	Вес стоячего и бегущего такелажа, кг/м ²	Вес парусов с лестротром, кг/м ²
15	0,5	0,30
22	—	0,34
30	1,0	0,38—0,45
45	1,5	0,50
60	1,9—2,0	0,60—0,70
100	2,6	0,80
450	6,0	1,60

Таблица 14

Размеры шкотов, вверных крюков и канатов для крейсерских катамаранов (применяются для двух дефлекторных шкотов, или для шкотов самарийского мачта)

Наибольшая длина шкота $L_{ш}$, м	Площадь парусности $S_{п}$, м ²	Вес шкотов, вверных крюков и канатов для самарийского мачтового парусового		Вес шкотов, вверных крюков и канатов для дефлекторного		Шкотовый крюк		Мачтовая часть с устройством для вращения мачты			
		Метрость	алюминиевый	Метрость	алюминиевый	длина, м	диаметр каната, мм	Центровой уключины		Корпусной уключины	
								длина, м	диаметр каната, мм	длина, м	диаметр каната, мм
5,5—6,5	15—20	4	6	4	15	40	6	5	6	25	8
6,5—7,5	20—25	4	10	4	20	50	6	6	7	45	10
7,5—9,5	25—30	6	15	6	25	60	8	7	8	55	12
9,5—11,0	30—35	10	25	10	30	70	9	8	9	65	14
11,0—13,0	35—50	10	35	10	35	80	11	10	11	80	16
13,0—15,0	100 и более	20	60	20	60	100	12	11	12	90	18

деталей. Затем вычисляют моменты грузов и деталей, для чего вес груза P_i умножают на плечо Z_i . Расстояние от ОП до ЦТ катамарана находится по формуле

$$z_4 = \frac{\sum P_i Z_i}{G}$$

Здесь выражение $\sum P_i Z_i$ обозначает сумму моментов всех деталей относительно ОП, с. с. суммированной весов деталей на соответствующие плечи.

Как правило, ЦТ катамарана располагается выше ЦВ и находится примерно на уровне нижней кромки мачты.

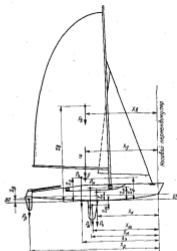


Рис. 61. Определение ЦТ катамарана.

Остается найти положение ЦТ катамарана по длине. Расстояние ЦТ от носового перпендикуляра x_2 (см. рис. 61) определяют по формуле

$$x_2 = \frac{\sum P_i x_i}{G}$$

Значения моментов P_{0k} подсчитывают по табл. 7. Расстояние k надо брать от осевого перпендикуляра до центра тяжести детали или груза.

Расчет плавучести и дифферентовка судна

Первая задача расчета плавучести катамарана состоит в определении его объемного водоизмещения V . Для вычисления подводного объема катамарана необходимо предварительно определить погруженные площади шпангоутов ω или площади затерлений S . Погруженную площадь шпангоута ω с достаточной точностью можно найти, заменив на чертеже криволинейные обводы ломаной линией (рис. 62). Вычисление площади ломаного шпангоута производится по способу трапеций. Для этого измеряют ординаты y шпангоута, которые затем суммируют по формуле

$$\omega = 2\Delta T \left[(y_0 + y_1 + y_2 + \dots + y_n) - \frac{1}{2} (y_0 + y_n) \right], \quad (35)$$

где $\Delta T = \frac{T}{k}$ — расстояние между ординатами (между затерлениями);

k — число делений (затерлений);

y_0, y_n — ординаты шпангоута.

Удобную форму вычисления можно записать в табл. 15, где приводятся вычисленные площади модель-шпангоута.

Вычисление площади модель-шпангоута

Номер затерлений k	Ординаты y , м	Расчеты величины
0	0	Число затерлений $n = 4$ Осьема $T = 0,16$ м Ширина корпуса $B_k = 0,35$ м $\Delta T = \frac{T}{n} = \frac{0,16}{4} = 0,04$ м Площадь модели $S_M = 2\Delta T (\Sigma y - \Delta) = 2 \cdot 0,04 \cdot 0,508 = 0,0416$ м ² Коэффициент поправки модели $\beta = \frac{S_M}{B_k T} = \frac{0,0416}{0,16 \cdot 0,35} = 0,735$
1	0,110	
2	0,145	
3	0,165	
4	0,175	
Сумма Σy	0,595	
Поправка Δ	0,087	
$\Sigma y - \Delta$	0,508	

Зная погруженные площади шпангоутов, произведем по формуле границей вычисление объемного водоизмещения корпуса. Для этого воспользуемся формулой

$$V_k = \Delta L \left[(\omega_0 + \omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_n) - \frac{1}{2} (\omega_0 + \omega_n) \right], \quad (36)$$

где $\Delta L = \frac{L}{n}$ — расстояние между теоретическими шпангоутами корпуса катамарана;

n — число делений (шпангоутов);

ω_0, ω_n — погруженные площади шпангоутов.

Вычисление V_k также удобно производить в табличной форме (табл. 16). Объемное водоизмещение катамарана $V = 2V_k$.

Таблица 16

Вычисление водоизмещения корпуса катамарана

Номер шпангоута k	Погруженной площадью шпангоута ω , м ²	Расчеты величины
0	0	Водоизмещение корпуса $V_k = \Delta L (\Sigma \omega - \Delta) = 0,5 \cdot 0,2725 = 0,136$ м ³ $\Delta L = 0,5$ м
1	0,0687	
2	0,0857	
3	0,0880	
4	0,0445	
5	0,0454	
6	0,0572	
7	0,0341	
8	0,0180	
9	0,0036	
10	0,0045	
Сумма Σ	0,2726	
Поправка Δ	0,0013	
$\Sigma - \Delta$	0,2725	

Весовое водоизмещение находится по формуле

$$D = 2V_k V_k$$

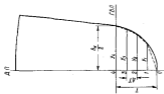


Рис. 62. Схема для определения объёма корпуса судна.

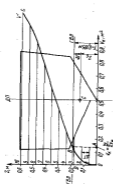


Рис. 63. Кривая водоизмещения.



Рис. 64. Схема к определению площади затопления.

Вычисленный по табл. 7 вес катамарана G надо сравнить с найденным водоизмещением. Если $G = D$, то катамаран строится правильно и принята осадка T соответствует действительной. Но, как правило, G оказывается не равным D .

Для того чтобы найти в этом случае осадку, можно построить так называемую арную водоизмещение. Эта кривая (рис. 63) представляет графическую зависимость между объемом водоизмещения V и углублением катамарана T . Для построения кривой водоизмещения по оси абсцисс в масштабе откладывают водоизмещение, а по оси ординат — соответствующее углубление катамарана.

При построении кривой водоизмещения пользуются методом трапеций. Все вычисления производится в табличной форме, согласно табл. 17, но предварительно следует вычислить площадь ватерлиний, соответствующие различным углублениям судна.

Таблица 17

Расчет кривой водоизмещения по высоте корпуса (для двух корпусов)

Номер ватерлинии x	Площадь ватерлинии Sx , м ²	Сумма II по-прежнему, м ²	Сумма III по-прежнему, м ²	Объем $V = \frac{1}{3} \sum Vx$	$Vx = \frac{V}{2}$	Расстояние в метрах
I	II	III	IV	V	VI	
0	0	-	0	0	0	
1	0,29	0,29	0,29	0,007	0,0045	$Vx = \frac{V}{2} = 0,275$
2	1,52	1,81	2,10	0,063	0,032	$= 0,137$ м ³
3	4,20	5,72	7,82	0,234	0,117	
4	5,32	9,72	12,34	0,529	0,260	Соответствующая осадка по кривой водоизмещения $T = 0,196$ м
5	5,80	11,22	16,26	0,825	0,427	
6	6,17	12,07	20,63	1,225	0,610	Значит кабурица
7	5,96	11,60	24,46	1,575	0,787	$2V - V' - V_0 =$
8	5,10	10,76	27,22	1,900	0,950	$= 1,2 - 0,137 =$
9	4,20	9,30	29,52	2,180	1,090	$= 1,063$ м ³
10	3,53	7,73	30,26	2,410	1,200	$\frac{\Delta V}{V_0} = 7,75$

Объем воздушных ячеек в ватерлинии $V_0 = 0,1V' = 0,1 \cdot 1,2 = 0,12$ м³

Коэффициент полноты $\epsilon = \frac{V_0}{1,8 \cdot T} = \frac{0,12}{5,0 \cdot 0,25 \cdot 0,195} = 0,22$

Площадь любой ватерлинии находится по формуле (рис. 64):

$$S_{\text{ВЛ}} = 2M \left[(y_0 + y_1 + y_2 + \dots + y_n) - \frac{1}{2} (y_0 + y_n) \right]. \quad (37)$$

При построении кривой водоизмещения нельзя ограничиваться только грузовой ватерлинией, следует строить кривую дальше, вплоть до палубы, кровля для этого на теоретическом чертеже несколько ватерлиний выше грузовой.

Построив кривую водоизмещения, можно легко определить истинную осадку судна. Для этого проведем вертикальную линию AB (рис. 65), абсцисса которой равна найденному выше весу судна, деленному на удельный вес воды $\frac{G}{\gamma_{\text{в}}}$. Точка пересечения линии AB и кривой дает нам соответствующую осадку судна T , которая и будет учитываться в дальнейших расчетах. Соответственно этой осадке указанными выше способом найдем площадь грузовой ватерлинии $S_{\text{ГДЛ}}$, погруженной части мидель-шпангоута $S_{\text{М}}$, погруженной части диаметра A и коэффициент полноты δ . Кроме того, можно вычислить коэффициенты полноты площадей основных сечений по формулам

$$\alpha = \frac{S_{\text{ГДЛ}}}{LR_0}; \quad \beta = \frac{S_{\text{М}}}{R_0 T}; \quad \gamma = \frac{A}{L T}.$$

Теперь необходимо уравновесить судно в продольной плоскости, т. е. привести точки g и c на одну вертикальную линию так, чтобы катамаран не имел начального крена и дифферента. Для этого определим положение ЦВ катамарана.

Положение ЦВ по вертикали от ОП находится приблизительно по формуле В. А. Поджокина

$$z_c = \frac{T}{1 + \frac{\beta}{\alpha}}. \quad (38)$$

Оборудование и предметы снабжения следует распределять равномерно на каждый корпус. Суммы произведений весов деталей и оборудования на расстоянии их ЦТ от ДП судна для левого и правого корпусов должны быть одинаковыми. В этом случае ЦТ и ЦВ лежат в ДП судна, и катамаран не получает начального крена.

Для определения положения ЦВ по длине судна необходимо построить строеную по шпангоутам (рис. 65). Для этого вычерчивают и в масштабе откладывают от продольной оси судна погруженные площади шпангоутов. Вершины отрезков, представляющих площади шпангоутов, соединяют плавной кривой. Положение ЦВ судна совпадает с ЦТ площади, ограниченной

строеной по шпангоутам. Абсцисса ЦВ от носового перпендикуляра находится по формуле

$$x_c = \frac{L}{\sum_{i=1}^n (m_i - n_i)} \frac{\sum_{i=1}^n (m_i - n_i) x_i}{\sum_{i=1}^n (m_i - n_i)}. \quad (39)$$

где i — номер шпангоута,

$$x_1 = \frac{m_1}{2} \quad \text{и} \quad x_n = \frac{m_n + n_n}{2} \text{ — поправки.}$$

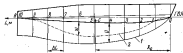


Рис. 65. Кривые теоретических элементов катамарана. T — осадка по шпангоутам.

Пример нахождения положения ЦВ по длине корпуса приведен в табл. 18.

Условием отсутствия дифферента катамарана является равенство

$$x_c = x_g,$$

при котором ЦТ и ЦВ находятся на одной вертикальной прямой. Сразу это обычно не получается, поэтому в процессе проектирования приходится уравновешивать судно перемещением грузов по длине. В первую очередь переставляют незакрепленные грузы и только в том случае, если это не поможет, сдвигают некоторые детали корпуса. Хорошие результаты дает изменение расположения людей — экипажа или пассажиров катамарана. У легких спортивных катамаранов перемещение одного человека даже на небольшое расстояние может дать существенный сдвиг ЦТ судна. Центр тяжести сидящего человека находится примерно на высоте 0,3 м от плоскости сиденья.

Если оказалось, что x_g больше x_c , т. е. ЦТ сдвинут в корму по отношению к ЦВ, то груз надо сдвигать в нос; если x_g

Таблица 10

Определение положения ЦВ по длине корпуса

Номер шагматуга i	Площадь шагматуга a_i , м ²	Продукт ax_i , м ³	Расчетные значения
0	0	0	$\Delta L = \frac{L}{n} = \frac{5}{10} = 0,5 \text{ м}$ <p>Положение ЦВ от носового передела корпуса</p> $x_c = \Delta L \frac{\sum_{i=1}^n M_i a_i}{\sum_{i=1}^n M_i} = 0,5 \frac{1,3229}{0,3725} = 2,44 \text{ м}$ <p>подноменное</p> $V_k = \Delta L \left(\sum_{i=1}^n a_i - a_n \right) = 0,5 \cdot 0,3725 = 0,18625 \text{ м}^3$ <p>$V = 2V_k = 0,3725 \text{ м}^3$</p> <p>Это приближенное значение должно соответствовать найденному в табл. 10</p>
1	0,0087	0,0087	
2	0,0207	0,0530	
3	0,0330	0,1140	
4	0,0445	0,1780	
5	0,0464	0,2320	
6	0,0512	0,3070	
7	0,0341	0,2410	
8	0,0180	0,1435	
9	0,0036	0,0324	
10	0,0028	0,0280	
$\sum M_i a_i$	0,2738	1,3229	
	0,0033	0,0130	
	0,2725	1,3229	

меньше x_c , то грузы сдвигаются в корму. Расстояние, на которое нужно перемещать груз P , равно

$$b = \frac{G}{P} (x_c - x_g).$$

Знак b показывает, куда следует сместить груз. При b положительном груз надо двигать в корму, при b отрицательном — в нос.

На тяжелых крейсерских катамаранах для уравновешивания целесообразно сдвигать в нос или в корму целую конструкцию, например мостик.

Несколько слов о размещении ЦТ площади верхней палубы. При проектировании катамарана рекомендуется помещать центр тяжести площади ГВЛ в нос от миделя с тем, чтобы протвиндыв-

ствовать дифференциальному моменту от давления ветра из паруса, стремившемуся наклонить судно носом.

Если ЦВ в ЦТ не удается точно совместить по длине (принести на одну вертикальную линию), то можно допустить небольшое смещение ЦТ в корму. При этом катамаран будет иметь незначительный дифферент на корму. Можно найти этот угол дифферента и проверить изменение посадки носом и кормой. Если ЦТ сместят в корму от ЦВ на расстояние $x_g - x_c$, то дифферент (в градусах) будет равен

$$\phi = 57,3 \frac{(x_g - x_c)}{H},$$

увеличение осадки кормой и уменьшение осадки носом составит

$$\Delta T = \frac{L}{2} \phi,$$

где H — продольная метacentрическая высота судна.

Если при первом подсчете водозмещения судна оказалось, что D не равно G , но отличается от него незначительно, то для определения правильной осадки судна T можно внести поправку к осадке

$$\Delta T = \frac{G - \gamma_w V_k}{\gamma_w S_{ГВЛ}} = \frac{\Delta G}{\gamma_w S_{ГВЛ}}, \quad (40)$$

где G — вес судна (табл. 7);

ΔG — изменение нагрузки;

V_k — объемное водозмещение, найденное в первом приближении по теоретическому чертежу;

$S_{ГВЛ}$ — площадь ГВЛ, найденная в первом приближении по теоретическому чертежу.

Осадка судна, соответствующая водозмещению G , равна

$$T = T_1 \pm \Delta T.$$

Знак перед ΔT берется соответственно результату, полученному по формуле (40); T_1 — исходная осадка.

По формуле (40) находят также изменение осадки судна при изменении его нагрузки.

Проверка остойчивости катамарана

Одной из главных характеристик катамарана является диаграмма статической остойчивости. Для ее построения используем следующий простой прием. Нарисуем контур корпуса катамарана с указанием основных плоскостей-проекции (рис. 66). На корпусе построим ранее вычисленную кривую водозмещения.

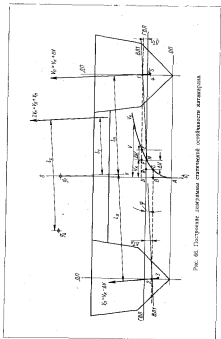


Рис. 66. Построение диаграмм статической устойчивости катамарана

Кривые водоизмещений за корпусами строим до значения устойчивости. Нанесем на корпусе точку g_1 , соответствующую ЦТ судна, который будем считать неизменным при крене. Поскольку вес катамарана, а следовательно, и его водоизмещение при крене не меняются, то кривые ватерлинии всегда отскажут у корпусов объема, равные исходному водоизмещению $V=0,275 \text{ м}^3$. Эти ватерлинии называются равнообъемными $V=0,275 \text{ м}^3$.

После этого можно приступать к построению диаграмм устойчивости. Нанесем на корпусе точку g_1 , соответствующую ЦТ судна, который будем считать неизменным при крене. Поскольку вес катамарана, а следовательно, и его водоизмещение при крене не меняются, то кривые ватерлинии всегда отскажут у корпусов объема, равные исходному водоизмещению $V=0,275 \text{ м}^3$. Эти ватерлинии называются равнообъемными $V=0,275 \text{ м}^3$.

Пусть, например, катамаран закрепился на угол φ на правый борт. При этом правый корпус погрузится на величину ΔT_0 , а левый частично выйдет из воды. Отложим на правом корпусе величину ΔT_0 вверх от ГВЛ (точка 1). По кривой водоизмещения найдем соответствующее увеличение объема правого корпуса $EF=\Delta V$. Объем ΔV , на который увеличивается водоизмещение правого корпуса, должен в точности соответствовать такому же объему ΔV , который выходит из воды при калитке левого корпуса.

На кривой водоизмещения строим отрезок $NR=FE$. Проводя линию RC , находим увеличение осадки левого корпуса $\Delta T_1 = -RC$ и объем погруженной части левого корпуса V_0 . Величину ΔT_0 откладываем на левом корпусе вниз (точка 2). Объем погруженной части правого корпуса $V_2=V_0+\Delta V$, а объем левого корпуса $V_3=V_0-\Delta V$. В нашем примере $V_2=0,137-0,032=0,105 \text{ м}^3$. Соединив точки 1 и 2 прямой, получим приближенную равнообъемную кренную ватерлинию БЛ. Из точки g_1 опустим на БЛ перпендикуляр g_1K . По формуле (38) вычисляем расстояние от ЦВ до ОП для правого и левого корпусов. Отмечаем на корпусах положение ЦВ левого и правого корпусов (точка 3 и 4). В точках 3 и 4 приложим силы плавучести корпусов названного катамарана.

Почему l_1 находим по формуле

$$l_1 = \frac{V_2 h_2 - V_3 h_3}{2V_0}$$

где l_1 и l_2 — расстояние от точек 3 и 4 до линии g_1K .

Если жилая сидит на наветренном борту, то необходимо найти соответствующее этому случаю новое положение ЦТ (точка g_2) и измерить расстояние l_2 от точки g_2 до линии действия суммарной силы плавучести $2V_0=V_2+V_3$.

Двух-трех таких построений будет достаточно, чтобы четко обрисовать последнюю ветвь кривой устойчивости. Найдя по-

скользко значимой плеч остойчивости l , строим в прямоугольных координатах диаграмму остойчивости (см. рис. 19) и определяем значение восстанавливающего момента M_{θ} по формуле

$$M_{\theta} = D \cdot l.$$

Катамараны имеют максимальный момент остойчивости при выводе наветренного корпуса из воды. В этом случае подветренный корпус погружается настолько, что его объем равен $2V_0$. Находя описанным выше способом положение ЦВ (точка 5 на рис. 66), определяем плечо остойчивости померному отрезку прямой от g_2 до линии действия V_0 ; в этом случае $l_0 = l_{\theta}$.

Максимальное плечо восстанавливающего момента можно также найти по формуле

$$l_{\max} = \left(\frac{B}{2} + \frac{P_0}{D} y \right) \cos \varphi_{\text{кр}} - (z_2 - z_1) \sin \varphi_{\text{кр}}$$

где y — перемещение экипажа от ЦП на наветренный борт (рис. 18);

z_1 и z_2 — расстояния от ОП до ЦП и ЦВ в прямом положении катамарана;

$\varphi_{\text{кр}}$ — угол крена, соответствующий моменту отрыва наветренного корпуса от воды.

Спаданию ветви диаграммы можно теперь строить, проведя через точку 5 прямые, соответствующие ВЛ при разных углах кренов и измерив расстояния от линии g_2k (или g_2c) до точки 6 (см. рис. 66).

Целесообразно строить две кривые остойчивости (рис. 19): одну при симметричной посадке экипажа по бортам (кривая I) и вторую при посадке всего экипажа на наветренном борту (кривая II).

Получено для проверки начальной (восходящей) ветви кривой статической остойчивости найти начальную МЦВ, а затем отложить точку 2 по координатам $\varphi = 5,7^\circ$ и $M_{\theta} = \frac{Dh}{10}$. Прямая, проведенная через точки 2 и 1, должна быть касательной к начальной части диаграммы. Поскольку у катамаранов начальная часть диаграммы почти прямоугольная, то она располагается очень близко к прямой 02. Это и дает нам право пользоваться для расчетов углов наклона, меньших чем угол отрыва $\varphi_{\text{кр}}$, метакентрической формулой остойчивости.

При проверке остойчивости катамарана полезно задаться максимально возможным кренящим моментом. Определив по поларе парусов наибольшее значение коэффициента дрейфа C_d , следует вычислить кренящий момент ветра. Наибольшее значение C_d при курсе бедвинд лежит в районе $\theta = 30-45^\circ$.

Исходными данными для проверки служат значение скорости вымпельного ветра W , которую должен выдерживать катамаран, не опрокидываясь. Для гоночных катамаранов обычно $W = 8-10$ м/сек, крейсерские катамараны должны выдерживать силу ветра при $W = 10-15$ м/сек. Определив по диаграмме остойчивости угол крена φ , можно судить о правильности выбора площади парусности. Если при заданном W , φ меньше $\varphi_{\text{кр}}$, то площадь парусности удовлетворительна. При этом полезно найти запас остойчивости, равный отношению наибольшего восстанавливающего момента M_{θ} к кренящему моменту $M_{\theta_{\text{кр}}}$, т. е. $\mu = \frac{M_{\theta}}{M_{\theta_{\text{кр}}}}$. Эту величину сравнивают с данными других судов.

Если окажется, что при заданном значении W , катамаран опрокидывается, надо уменьшить площадь парусности или ее высоту. В крайнем случае можно немного увеличить расстояние между корпусами B_0 . На океанских крейсерских катамаранах целесообразно использовать паруса с отъем большими удлинениями, так как это приводит к увеличению ЦП и к увеличению кренящего момента. Лучше в ущерб удлинению повысить парусность. При этом в сильный ветер катамаран вытравливает в скорости, так как его будет меньше кренить.

Конструктивную ширину катамарана B_0 можно проверить следующим способом. Предположим, что крен катамарана достиг угла отрыва корпуса $\varphi_{\text{кр}}$, тогда мы равенства моментов крена и остойчивости находим

$$B_0 = 2 \left[\frac{2hH}{D} + (z_2 - z_1) \operatorname{tg} \varphi_{\text{кр}} - \frac{P_0}{D} y \right].$$

Если полученное значение B_0 выходит за пределы рекомендуемых, то следует уменьшить парусность судна.

Можно поступить иначе. Имея конструктивные размеры катамарана, определим скорость вымпельного ветра, который он в состоянии выдержать не опрокидываясь. Для этого по чертежу находим приближенное значение $\varphi_{\text{кр}}$, а затем определим W , по формуле

$$W = \sqrt{\frac{D_{\max}}{\frac{c_d}{2} \sum (C_d \sigma S_{\theta i})}} \quad (41)$$

Если не учитывать изменения скорости ветра по высоте и считать $v_1 = \frac{1}{3} \omega z \cos^2 \theta / \text{м}^2$, то

$$W = 4 \sqrt{\frac{l_{\max} D}{c_d S_{\theta i}}}$$

Полученное значение W_p не должно быть меньше принятого. Если скорость ветра, выдерживаемого катамараном, ниже, чем заданная, то следует уменьшить площадь парусности.

При дифферентовке катамарана в процессе расчета его площади необходимо так расположить шпанга, чтобы дифференцирующий момент ветра компенсировался весом людей. Для этого можно рекомендовать следующий метод. Вначале предполагается, что ветер очень слаб. Принимая дифференцирующий момент ветра $M_{\Delta} = 0$, так размещаем шпанга, чтобы ЦТ и ЦВ находились на одной вертикали и по возможности в нос от миделя (размещение рудового определяется минимальным размером рудовлаза с выдвинутым удлинителем). Затем надо задаться максимальной скоростью ветра W_{\max} , выдерживаемого катамараном без опрокидывания через борт, или определить ее из условий поперечной остойчивости. Для полных курсов скорость ветра W_p можно принять равной половине W_{\max} . После этого находим максимальный дифференцирующий момент $M_{\Delta} = \sum TA_{\Delta}$, который должен быть уравновешен перемещением шпанга к корму. Смещение ЦТ к корму по отношению к ЦВ можно найти по формуле

$$x_{\Delta} = \frac{\sum P_{\Delta} x_{\Delta}}{D},$$

где P_{Δ} — вес члена экипажа;

x_{Δ} — его перемещение в корму от начального положения.

Восстанавливающий момент $M_{\Delta} = Dx_{\Delta}$ должен равняться дифференцирующему M_{Δ} .

Если это равенство не выдерживается и M_{Δ} оказывается больше M_{Δ} , то можно сдвинуть в корму конструкцию моста.

При дифферентовке следует помнить, что на полных курсах катамаран может вместо стакселя нести спинакер, который по площади равен гроту, а иногда и больше его. Это заметно увеличивает дифференцирующий момент. Судно должно быть рассчитано и на случай несения спинакера.

Для улучшения продольной остойчивости катамарана можно повдвинуть его палубную линию у носа, а носовым шпангоутам придавать развал. Это увеличивает объем носовой части судна и способствует значительному смещению ЦВ в нос при дифференте.

Расчеты ходовых качеств катамарана

Расчеты ходкости катамарана, как и вообще расчеты быстроходности парусного судна, представляют большие трудности. В этом разделе приводятся приближенные способы расчета лобового сопротивления корпуса и поперечной силы, создаваемой погруженной частью катамарана.

На основании этих расчетов возможна приближенная оценка максимальной скорости, развиваемой парусным катамараном. Поскольку расчет быстроходности является сложным разделом проектирования, в книге приводится пример расчета скорости гоночного катамарана, теоретический чертеж которого в главных размерах даны выше.

Расчет быстроходности судна начинается с вычисления смещенной поверхности корпуса. При проектировании смещенную поверхность корпуса определяют приближенно по геометрическому чертежу, измеряя длины обводов погруженной части шпангоутов (см. рис. 65) и затем суммируя их по длине судна по правилу тригонометрии. В табл. 19 приведен пример расчета смещенной поверхности катамарана. Чтобы учесть влияние продольной кривизны корпуса, значение смещенной поверхности следует увеличить на 0,5—1%.

Таблица 19

Вычисление смещенной поверхности корпуса катамарана (продольно на ровной воде)

Номер шпангоута x	Длина обвода шпангоута $a, \text{ м}$	Расчетные формулы
0	0	Смещенная поверхность обвода корпуса $C_{\Delta} = \Delta L \cdot A = 0,5 \cdot 5,365 = 2,68 \text{ м}^2$, где $\Delta L = \frac{L}{\pi} = \frac{5}{\pi} = 0,5 \text{ м}$. Смещенная поверхность двух корпусов $2 = 2C_{\Delta} = 2 \cdot 2,68 = 5,36 \text{ м}^2$
1	0,315	
2	0,405	
3	0,355	
4	0,740	
5	0,675	
6	0,700	
7	0,635	
8	0,575	
9	0,485	
10	0,450	
Сумма Σ	5,580	
Поправка $\Delta C_{\Delta} = \frac{C_{\Delta} + C_{\Delta}}{2}$	0,325	
Исправленная сумма $A = \Sigma - \Delta$	5,365	

Сопротивление трения корпуса катамарана находится по формуле

$$R_t = (\zeta_{\text{г}} + \zeta_{\text{ш}}) \frac{\rho}{2} v^3 S_{\text{в}} \quad (42)$$

где $\zeta_{\text{г}}$ — коэффициент сопротивления трения гладкой пластины;
 $\zeta_{\text{ш}}$ — коэффициент, учитывающий шероховатость корпуса;
 $\rho_{\text{в}}$ — $104 \text{ кг см}^3/\text{м}^3$ — плотность морской воды;
 $S_{\text{в}}$ — суммарная поверхность корпуса;
 v — скорость хода катамарана.

Коэффициент $\zeta_{\text{г}}$ зависит от числа Рейнольдса и определяется по рис. 67. Значение $\zeta_{\text{ш}}$ зависит от состояния корпуса, от вида краски, от степени ее неоднородности и зернистости. Для свеженкрашенных фаверных судов и для судов из пластмассы можно принимать $\zeta_{\text{ш}} = (0,1 - 0,5) \cdot 10^{-3}$. Если катамаран



Рис. 67. Коэффициент сопротивления трения для гладкой пластины.

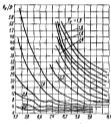


Рис. 68. Диаграмма Дуауэра — Гарса для расчета остаточного сопротивления.

имеет пластмассовые корпуса, то $\zeta_{\text{ш}}$ следует брать ближе к меньшему пределу.

Для случая движения катамарана с кромки асимметричной поверхности Ω и другие расчетные величины следует определять по теоретическому чертежу для изогнутого судна, т. е. для каждого корпуса отдельно.

Расчетное определение волнового и анкерного сопротивлений, которые объединяются под общим названием «остаточное сопротивление», весьма затруднительно из-за сложности зависимости этих видов сопротивления от скорости хода и различных параметров судна.

Если имеется модель аналогичного сопротивления прототипа или катамарана, близкого по форме к проектируемому, то волновое сопротивление можно определить по формуле (27), по-

скольку при равных числах Фруда коэффициенты волнового сопротивления геометрически подобных судов одинаковы.

Для приближенных расчетов сопротивления водовмещающих катамаранов пригоден график остаточного сопротивления Дуауэра — Гарса (рис. 68), построенный на основании результатов модельных испытаний судов. При расчете по графикам остаточное сопротивление одного корпуса ($R_{\text{ост}}$) определяют по выражению

$$R_{\text{ост}} = r_{\text{ост}} D_{\text{к}} \quad (43)$$

где $r_{\text{ост}}$ — удельное остаточное сопротивление судна, кг/т ;

$D_{\text{к}}$ — водоизмещение одного корпуса катамарана, т.

По заданной скорости хода катамарана v и объемному водоизмещению корпуса $V_{\text{к}}$ находят величину относительной скорости

$$F_V = \frac{v}{\sqrt{gV_{\text{к}}}}$$

и коэффициент острогости

$$\phi = \frac{l}{V_{\text{к}}}$$

По рис. 68 находят соответствующее значение $r_{\text{ост}}$ в кг/т .

Надо заметить, что графики построены только для узкой области скоростей. Большинство катамаранов на больших скоростях имеет $F_V > 2,5$, поэтому графики пригодны только для малых и средних скоростей.

Поскольку большинство катамаранов движется в переходном режиме, то для приближенной оценки сопротивления корпусов можно воспользоваться также графиками за рис. 69, а, б, построенными на основе результатов модельных испытаний быстросходных катеров. На рис. 69, а приведена зависимость удельного остаточного сопротивления $r_{\text{ост}}$ от ϕ для судов с U-образными шпангоутами в диапазоне скоростей $F_V = 1 - 2,5$. На рис. 69, б приведена такая же зависимость для быстросходных судов с V-образными формами, имеющими слабокалевые шпангоуты (тип «Джамптел» и «Океминко»).

Сравнение сопротивлений судов с U- и V-образными обводами при постоянных значениях ϕ показывает, что при $F_V < 2,5$ судами с V-образными шпангоутами частично переходит на режим гласирования, что приводит к уменьшению его сопротивления. Поэтому при $F_V > 2,5$ выгоднее применять V-образные формы шпангоутов. Сказанное относится к движению судов на

такой воде. На волнении даже при $F_{\lambda} > 2.5$ выгоднее U-образные формы обводов, так как они снижают вредное влияние волнения.

При более высоких относительных скоростях хода увеличение остаточное сопротивление быстроходных катамаранов можно ориентировочно приближать по рис. 69, а.

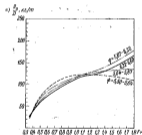
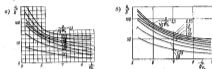


Рис. 69. Кривые остаточного сопротивления быстроходных судов, движущихся в поперечном режиме.

Если катамаран движется с креном, то при расчете его волнового сопротивления L и D следует определять с учетом крена для каждого корпуса отдельно.

Так как катамаран движется с углом дрейфа δ , корпуса создают дополнительное сопротивление и поперечную силу. Поперечную силу, создаваемую одним корпусом, определяют по формуле

$$R_{\delta} = C_{R\delta} \frac{1}{2} A v^2. \quad (44)$$

Значение коэффициента поперечной силы $C_{R\delta}$ можно найти по приближенному выражению К. К. Федюнского, полученному на основе циркуляционно-отрывной теории крыла малого удлинения.

$$C_{R\delta} = C_N \sin \delta + C_D \sin^2 \delta,$$

где C_N находится по графику рис. 38, а.

$$C_D = 2 \left(\text{при } \lambda_{\delta} = 2 \frac{v}{A} < 0.15 \right).$$

Лобовое сопротивление вычисляют по формуле

$$R_x = R_r + R_b + R_{\delta} + R_{\delta x}, \quad (45)$$

где R_r , R_b и R_{δ} — составляющие сопротивления корпуса при отсутствии дрейфа;

$R_{\delta x} = C_{R\delta} \frac{1}{2} A v^2$ — дополнительное сопротивление корпуса, вызванное дрейфом;

$C_{R\delta} = \bar{C}_{R\delta} \lg \delta$ — коэффициент дополнительного сопротивления.

Если катамаран движется с креном, то значение C_D можно определить по приближенным формулам В. Мазура:

$$C_D = C_r - k_2 \beta^2 \quad (46a)$$

— для судов с формой поперечных сечений, близкой к треугольной («Ману Кай», «Бел Кит» и др.); ориентировочно можно принимать $k_2 = 0.01$ и $C_r = 1.34 - 0.0083 \alpha^2$, где α — угол наклона борта к ДП;

$$C_D = C_x - k_2 \beta^2 \quad (46b)$$

— для широких судов с наклонившимися шпангоутами (типа «Джамхед», «366 энд Флуэ»), где $C_x = 0.38$, а значение k_2 находится в зависимости от угла внешней килеватости β (рис. 44, а).

β	0-7	8	12	14
k_2	1	1.2	1.4	1.6

При $\beta > 14^\circ$ можно пользоваться формулой C_D для треугольных сечений.

Для судов с формой поперечного сечения, близкой к кругу («Шварцер-III», «Тайгерет» и т. д.), влиянием угла крена φ на силу сопротивления дрейфа можно пренебречь. При этом приближенно принимают $C_D = 0,6-0,7$.

Значения R_{Vx} и R_{Lx} находят по приведенным выше формулам.

Хотя полезная поперечная сила корпусов R_{Vx} пропорциональна площади диаметра A , все же выбирать площадь диаметрала следует в разумных пределах. Необходимо помнить, что с ростом A увеличивается смоченная поверхность, а также дополнительное сопротивление R_{Lx} корпусов.

Шверты и руль могут рассматриваться как крылья, движущиеся к воде. Они создают поперечную силу и лобовое сопротивление. Эти силы можно найти по формулам (для шверта)

$$Y_{ш} = C_{Y_{ш}} \frac{\rho}{2} S_{ш} v^2, \quad (47)$$

$$X_{ш} = C_{X_{ш}} \frac{\rho}{2} S_{ш} v^2, \quad (48)$$

где $S_{ш}$ — площадь шверта, находящаяся в воде, m^2 ;
 $C_{Y_{ш}}$ и $C_{X_{ш}}$ — коэффициенты, определяемые по полярам (при $\lambda_{ш} > 3$) в зависимости от формы шверта и угла дрейфа.

Необходимо стремиться применять шверты с большими удлинениями. Удлинение шверта находится по формуле $\lambda_{ш} = \frac{l}{b_{ш}}$, где l — высота (длина) шверта (см. рис. 26, б).

Если удлинение шверта не соответствует значению, для которого приведены поляры, то производят перерасчет поляры на нужное удлинение по формулам

$$\zeta_{ш}^* - \zeta_{ш} = 57,3 \frac{C_{Y_{ш}}}{\lambda} \left(\frac{1 + \lambda_{ш}}{\lambda} + \frac{1 + \lambda_{ш}^2}{\lambda} \right);$$

$$C_{X_{ш}}^* - C_{X_{ш}} = \frac{C_{Y_{ш}}}{\lambda} \left(\frac{1 + \lambda_{ш}}{\lambda} - \frac{1 + \lambda_{ш}^2}{\lambda} \right),$$

где δ^* — угол дрейфа;
 $C_{Y_{ш}}^*$ — коэффициент подъемной силы шверта;
 λ^* — удлинение шверта;
 $C_{X_{ш}}^*$ — индуктивное сопротивление шверта.

Индекс 1 относится к профилю, для которого приведены поляры, а индекс 2 — к рассматриваемому шверту с удлинениями λ_2 . Профильное сопротивление остается неизменным в обоих случаях.

Значения коэффициентов $\lambda_{ш}$ и λ_{r} для швертов различной формы приведены ниже

Формы в плане	$\lambda_{ш}$	λ_{r}
Звезда	0	0
Прямоугольник	0,182	0,051
Трапеция	0	0

Рассмотренными формулами можно пользоваться для пересчета швертов, рулей и корпусов катамаранов с одного удлинения на другое.

При $\lambda < 3$ можно пользоваться формулами Федюковского

$$C_{Y_{ш}} = \frac{2}{1 + \frac{2}{\lambda_{ш}}} \delta + \sin^2 \delta \cos \delta;$$

$$C_{X_{ш}} = C_{Y_{ш}} + K \sin^2 \delta + \sin^2 \delta.$$

Значение коэффициента K находят по графику рис. 38, а. Коэффициент профильного сопротивления $C_{D_{ш}}$ принимается на основании экспериментальных данных. При выборе $C_{D_{ш}}$ для обтекаемых рулей и швертов можно пользоваться следующей таблицей:

$\frac{e}{b}$	0,05	0,08	0,12
$C_{D_{ш}}$	0,005	0,01	0,01

Для плоской пластинки при $\frac{l}{b_{ш}} = 0,02$ величина $C_{D_{ш}} = 0,022$.

Сопротивление шлюн швертового колодца можно приближенно определить по формуле Г. И. Ткачука

$$R_{ш} = C_{ш} \frac{\rho v^2}{2} F_{ш},$$

где $F_{ш}$ — площадь шлюн швертового колодца.

Опытный коэффициент сопротивления при $0,3 > \frac{l}{b_{ш}} > 0,1$ равен $C_{ш} = 0,0282$.

Поперечную силу и сопротивление рулей можно найти по формулам (47) и (48), заменив в них $S_{\text{вн}}$ на площадь руля S_r . Значения λ_r , C_{T_r} и C_{D_r} для рулей определяют так же, как и для швертов.

Необходимо помнить, что при расчете сил $X_{\text{вн}}$ и $Y_{\text{вн}}$ принимается во внимание только один шверт (подверженный), так как второй обычно поднят в корпус. При крене судна значения осей водовывода и формулы величины необходимо подставлять с учетом крена.

Общее сопротивление катамарана равно сумме сопротивлений голого корпуса к выступающих частей.

$$R_c = 2R_r + 2R_{\text{вн}} + 2R_{\text{к}} + X_{\text{вн}} + 2X_r. \quad (49)$$

Аналогично находится общая поперечная сила

$$Y = 2R_{\text{вн}} + Y_{\text{вн}} + 2Y_r. \quad (50)$$

По равенству (49) подсчитывают общее сопротивление катамарана для ряда скоростей и строят так называемую кривую буксировочного сопротивления, показывающую зависимость общего сопротивления от скорости (см. рис. 27).

Рассмотрим пример определения общего сопротивления катамарана, теоретический чертеж которого приведен на рис. 54.

Вычислим сопротивление трения катамарана при скорости хода $v_0 = 8$ узл. Будем предполагать, что подводная часть судна оверхава тщательно, т. е. с коэффициентом $\zeta_{\text{ов}} = 0,6 \cdot 10^{-3}$.

Величину смоченной поверхности корпуса берем из табл. 19. Скорость находим по выражению

$$v = 0,514 v_0;$$

следовательно,

$$v = 0,514 \cdot 8 = 4,1 \text{ м/сек.}$$

Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{vL}{\nu} = \frac{4,1 \cdot 5}{1 \cdot 10^{-6}} = 20 \cdot 10^6.$$

Логарифм

$$\lg Re = \lg 20 \cdot 10^6 = 7,3.$$

По графику рис. 67 находим соответствующее $\lg Re = 7,3$ значение $\zeta_r = 2,4 \cdot 10^{-3}$.

Сопротивление трения двух корпусов

$$2R_r = 2(\zeta_r + \zeta_{\text{ов}}) \frac{\rho v^2}{2} A = 2(2,4 + 0,6) 10^{-3} \cdot \frac{10^3}{2} \cdot 2,68 \cdot 4,1^2 = 14 \text{ кг.}$$

Вычислим волновое сопротивление при $v_0 = 8$ узл.; $V_{\text{вн}} = 0,137 \text{ м}^3$; $D_{\text{вн}} = 0,137 \text{ г.}$

По графику рис. 68, найдя предварительно

$$F_v = \frac{v}{\sqrt{gV_{\text{вн}}}} = \frac{4,1}{\sqrt{9,8 \cdot 0,137}} = 1,83;$$

$$\varphi = \frac{5}{1,137} = 4,37,$$

получаем $\tau_0 = 31 \text{ кг/г.}$

Следовательно,

$$R_{\text{вн}} = \tau_0 D_{\text{вн}} = 31 \cdot 0,137 = 4 \text{ кг.}$$

Общее остаточное сопротивление двух корпусов $2R_{\text{вн}} = 8 \text{ кг.}$ что составляет только 57% от сопротивления трения. Такое низкое волновое сопротивление у катамаранов получается благодаря большой относительной длине и сравнительно малому весу.

Найдем доплатительное сопротивление корпуса катамарана при принятых выше условиях, если он движется с дрейфом $\delta = 5^\circ$. Площадь диаметров $A = 0,65 \text{ м}^2$. Осадка $T = 0,195 \text{ м.}$ Удлинение корпуса

$$\lambda_{\text{к}} = 2 \frac{T^3}{A} = 2 \frac{0,195^3}{0,65} = 0,116.$$

Находим коэффициент поперечной осадки (по формуле Фельдского)

$$C_{\lambda_{\text{к}}} = C_{\lambda_{\text{к}}} \sin^2 \delta + C_{\lambda_{\text{к}}} \sin^2 \delta \cos \delta = 0,1 \cdot 0,087 + 2 \cdot 0,087^2 \times$$

$$\times 0,99 = 0,0236.$$

Коэффициент индуктивного сопротивления

$$C_{\lambda_{\text{к}}} = C_{\lambda_{\text{к}}} \lg \delta = 0,0236 \cdot 0,087 = 0,002.$$

Индуктивное сопротивление двух корпусов

$$2R_{\lambda_{\text{к}}} = 2C_{\lambda_{\text{к}}} \frac{\rho v^2}{2} A v^2 = 2 \cdot 0,002 \cdot \frac{10^3}{2} \cdot 0,65 \cdot 4,1^2 = 2,3 \text{ кг.}$$

Поперечная сила, создаваемая лужин корпусами.

$$2R_{\text{л}} = 2C_{\text{л}} \frac{\rho v^2}{2} A \alpha^2 = 2 \cdot 0,0236 \frac{104}{2} 0,65 \cdot 4,1^2 = 25,7 \text{ кг.}$$

Таким образом, дополнительное сопротивление корпуса равно $2R_{\text{л}} = 2,3$ кг, что составляет 16% от сопротивления трения.

Чтобы представить относительные сопротивления шверта и рулей, предположим, что на судне установлен один шверт (на мостике) с площадью $S_{\text{ш}} = 0,165 \text{ м}^2$ и два руля с площадью $S_{\text{р}} = 0,08 \text{ м}^2$. Удлинение швертов и рулей равно трем. Скорость хода $v = 8$ узл., угол дрейфа $\delta = 3^\circ$.

Предположим вначале, что шверт и рули плоские; рули установлены в ДП. По ползаре на рис. 38, б находим для $\delta = 3^\circ$ значения $C_{\text{ш}} = 0,35$ и $C_{\text{ру}} = 0,04$.

Поперечная сила, создаваемая швертом.

$$Y_{\text{ш}} = 2C_{\text{ш}} \frac{\rho v^2}{2} S_{\text{ш}} \alpha^2 = 0,35 \frac{104}{2} 0,165 \cdot 4,1^2 = 49 \text{ кг.}$$

Поперечная сила, создаваемая двумя рулями.

$$2Y_{\text{р}} = 2C_{\text{ру}} \frac{\rho v^2}{2} S_{\text{ру}} \alpha^2 = 2 \cdot 0,35 \frac{104}{2} 0,09 \cdot 4,1^2 = 55 \text{ кг.}$$

Как видно из этого расчета, рули создают очень большую поперечную силу, помогая тем самым уменьшать дрейф судна.

Лобовое сопротивление шверта

$$X_{\text{ш}} = C_{\text{ш}} \frac{\rho v^2}{2} S_{\text{ш}} \alpha^2 = 0,04 \frac{104}{2} 0,165 \cdot 4,1^2 = 5,8 \text{ кг.}$$

Лобовое сопротивление двух рулей

$$2X_{\text{р}} = 2C_{\text{ру}} \frac{\rho v^2}{2} S_{\text{ру}} \alpha^2 = 2 \cdot 0,04 \frac{104}{2} 0,09 \cdot 4,1^2 = 6,9 \text{ кг.}$$

Полученные цифры наглядно показывают, какое большое сопротивление создают шверты и рули. Сопротивление шверта составляет 24% от сопротивления голого корпуса, а сопротивление рулей — 29%.

Если же шверт и рули сделать обтекаемыми с относительной толщиной 5%, то коэффициент лобового сопротивления уменьшится до $C_{\text{ш}} = 0,017$ (рис. 38, а). В этом случае сопротивление шверта будет всего 2,5 кг, а рулей 2,85 кг. Общее сопротивление при этом снизится на 22%, а скорость возрастет примерно на 11%.

Теперь предположим, что катамаран идет без дрейфа (курсом фордевинд), а рули для удержания на курсе перекошены на 2° . При этом лобовое сопротивление двух плоских рулей составит 2,6 кг или 10% от общего сопротивления. Скорость на-за сопротивления руля падает на 5%. Если же угол перекошки руля составит 5° , то сопротивление рулей (6,96 кг) повысится до 22% общего сопротивления. Скорость в этом случае снизится на 11%.

Конструктора всегда интересует вопрос, какую максимальную скорость при заданной силе ветра будет развивать его судно. В настоящее время имеется возможность оценивать эту скорость в процессе проектирования.

Проце всего приближенно определить скорость катамарана при ходе без крена и дрейфа. Этому условию соответствует движение судна курсами фордевинд и полный бацител. При использовании опытной кривой буксировочного сопротивления, построенной по результатам буксировки модели в испытательной бассейне, скорость рассчитывают точно. Если опытных данных нет, то можно приближенно рассчитать зависимость $R_{\text{ср}}$ от v по приведенным выше формулам и графикам. При этом учитывается только лобовое сопротивление голого корпуса и профильное сопротивление рулей. По расчетным значениям строят кривую буксировочного сопротивления (см. рис. 27). Затем принимают скорость ветра $V_{\text{в}}$ и курсовой угол α . Задавшись рядом значений скоростей хода судна v , строят для каждого значения v треугольники скоростей (см. рис. 6). Из треугольников находят величины Φ и θ . По ползаре парусов определяют для заданного угла θ коэффициент тяги $C_{\text{т}}$. После этого рассчитывают тягу паруса T по формуле (7). Построив кривую зависимости силы тяги T от скорости v , находят точку пересечения ее с кривой буксировочного сопротивления (см. рис. 27). Значение скорости $v_{\text{с}}$, соответствующее точке пересечения I , и будет приближенно величиной скорости катамарана.

При ходе катамарана курсом бездевинд и галфвинд такой расчет дает большую погрешность. В этом случае судно будет двигаться с креном и дрейфом. Оба эти фактора не могут быть учтены при построении буксировочной кривой, поскольку крен и дрейф неизвестны и являются тоже искомыми величинами.

И все же существует относительно простой способ расчета скорости катамарана, позволяющий учитывать крен и дрейф. Рассмотрим его. При расчете скорости предполагается, что судно хорошо отцентровано. Наибольшая скорость будет достигнута катамараном в момент отрыва шпангоута корпуса от воды. По диаграмме статической устойчивости находим значение максимального восстанавливающего момента $M_{\text{вост}}$. Затем заданым рядом углов дрейфа (от 1° до 8°) и определяем для

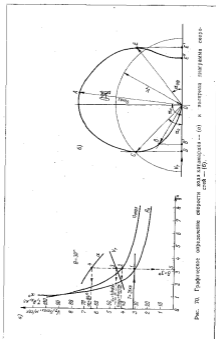


Рис. 70. Графическое определение скорости хода катамарана: (а) — к построению полярной скорости; (б) — к построению графика скорости хода катамарана — (а) к построению полярной скорости.

каждого угла δ значение соответствующей скорости хода судна, при которой произойдет отрыв корпуса от воды:

$$v_{\text{max}} = \sqrt{\frac{M_{\text{max}}}{k_4 \frac{E}{2}}}$$

где $E = C_{v_0} A + C_{\text{рез}} S_m + C_{\text{рез}} S_2$.

Строим зависимость v_{max} от δ (рис. 70). По полученным значениям v_{max} и соответствующим им углам дрейфа δ находим общие сопротивления судна и строим зависимость R_v от δ .

Затем по формуле (41) вычисляем значение скорости амплитудного ветра W_T , при которой происходит отрыв корпуса от воды. Для этого по принятому углу θ , рассчитанному значению W_T и найденным выше значениям v_{max} , строим треугольник скоростей, находим истинный ветер V_0 и курсовой угол истинного ветра α . После чего строим зависимости V_2 и α от δ .

Теперь остается по углу θ и скорости W_T найти силу тяги T , используя формулу (7). Проводим на графике (рис. 70, а) прямую, соответствующую значению T . Точка I пересечения прямой T и кривой R_v соответствует условию равномерного движения судна $T = R_v$. Проводим через точку I вертикальную линию до пересечения с осью абсцисс и кривыми v_{max} , V_2 и α . По точкам пересечения 2, 3, 4 и 5 находим соответственно значения v_{max} , V_2 , α и δ . Таким образом, получаем все интересующие нас величины.

Используя кривые v_{max} и R_v , можно повторить расчеты для любого другого значения θ , α и V_2 .

Определив скорость катамарана на разных курсовых углах при постоянной скорости истинного ветра V_0 (рис. 70, а), можно построить полярную диаграмму скоростей (рис. 70, б). Полярная диаграмма позволяет найти наименьший курсовой угол α_0 при котором скорость хода катамарана получается наибольшей (отрезок OA). Обычно для катамаранов угол α_0 расположен весьма близко к галфвинду ($90^\circ < \alpha_0 < 110^\circ$). По полярной диаграмме можно определить скорость движения судна против ветра при ходе в лавировку. Если судно идет курсом OB , то скорость его движения против ветра определяется отрезком OB' — проекцией скорости OB на направление ветра.

Наименьший угол лавировки найдем, проведя перпендикуляр CD , касательный к поляре. Соответствующий курсовой угол определяется направлением OC (угол α_0), а наибольшая скорость движения против ветра равна отрезку OD .

Из полярной диаграммы видна одна интересная особенность быстроходных парусных судов. Оказывается, на катамаране, которому надо идти прямо по ветру, быстрее можно достичь конечного пункта не чистым фордевиндом, а при ходе зигзагами — курсами бивинга (так называемая «лабиринка на фордевинде»). Это происходит потому, что при курсе бивинга (отрезок OE) продвижение судна по направлению ветра (отрезок OE') больше, чем при ходе фордевиндом (отрезок OE'').

Наилучшими лабиринтными качествами обладает тот катамаран, у которого скорость лабиринки (отрезок OD) наибольшая.

ГЛАВА IV

КОНСТРУКЦИЯ КАТАМАРАНОВ

Материалы для постройки

Материалы для постройки катамаранов должны обладать высокой прочностью, малым весом, достаточной водостойкостью. Этим требованиям отвечают фанера, армированные стекловолокном пластики, алюминиевые сплавы.

Новая технология с применением этих материалов позволяет создавать облегченные суда с высокими мореходными качествами и с достаточной прочностью.

При индивидуальной постройке наиболее применима конструкция судна с клееным деревянным набором и фанерной обшивкой. Суда такой конструкции обладают высокой прочностью и легкостью. Но водостойкая фанера весьма дефицитна, и поэтому основным материалом для любительских построек остался древесина.

Остановимся на качествах древесины как основного строительного материала.

В табл. 20 приводим область применения в мелком судостроении различных пород дерева.

Таблица 20

Применение основных пород дерева в мелком судостроении

Порода дерева	Область применения
Сосна руко- ная Сосна мандо- лан Ель	Все элементы набора, обшивка, надстройка, рангоут и др. Наставные части набора, обшивки, скамья Наружная обшивка корпусов и подковой части, шпангоуты (за исключением топштаберов), внутренние продольные скамьи, бимсы, переборки, внутренние обшивки, рангоут
Кедр	Все элементы набора, обшивка палубы, переборки

Порода дерева	Область применения
Листовенная	Элементы набора, раунгут (не рекомендуется применять для постель палубы, ванночной и других деталей, подверженных действию воды в соляной)
Пихта	Допускается наряду с елью для изготовления деталей мельной арматуры и стойкости в переменных условиях влажности
Дуб	Для изготовления всех частей деревянных судов. Для которых не в отрывках (используют бимсы и шпангоуты, келья и пр.)
Ясень	Применяется наряду с дубом для изготовления гутых деталей набора, весел, дат
Береза	В виде водостойкой фанеры применяется для наружной обшивки, постель палубы, обшивки рубок, килей, флюг и пр.

Примечание. Рудовой является сосна, растущая на территории Финляндии, от Урала. Она имеет увеличенную плотность древесины с увеличением содержания лигнина. Мелкозерная сосна растет в северных широтах и имеет сравнительно повышенную и высокую прочность.

Дерево имеет хорошие прочностные характеристики при малом весе. Механические характеристики древесины сосны и ели, применяемые при расчетах судов на прочность, приведены в табл. 21.

Таблица 21

Прочностные характеристики древесины сосны и ели (при 15% влажности)

Вид нагружаемого состояния	Предел прочности частей древесины, кг/см ²		Коэффициент прочности древесины, k	Допускаемые нагрузки, кг/см ²
	а	б		
Изгиб	500	300	0,4	130
Растяжение вдоль волокон	550	370	0,37	100
Сжатие в сечении вдоль волокон	300	200	0,65	130
• • • по всей поверхности	—	30	0,00	18
Сжатие поперек волокон	—	40	0,75	30
Сжатие поперек волокон на части длины (свободные концы на корнях плавающих судов)	40	35	0,70	25
Сжатие вдоль волокон	20	17	0,70	12

Примечания. 1. Пределы прочности, указанные в графе «а», определяются при стандартных условиях высушивания образцов. 2. В графе «б» — с учетом снижения прочности древесины при большой влажности вследствие воздействия водостойкой нагрузки на конструкцию, чем при стандартных условиях высушивания образцов. 3. Допускаемые напряжения для древесины сосны и ели при расчете вычисляются от увеличения и потерь древесины конструкций при длительном воздействии повышенной и постоянной влажности соответственно как отношение предела прочности частей древесины (графа «б») ко коэффициенту сопротивления древесины k , учитывающей влияние сушки, трещин и прочих дефектов. 4. Пределы прочности при кручении 30 кг/см².

Модуль упругости древесины при растяжении и при сжатии вдоль волокон, а также при изгибе, независимо от породы леса, принимается равным (в кг/см²):

для воздушно-сухого леса	100 000
• полусухого	85 000
• сырого	75 000

Модуль сдвига при кручении 5500 кг/см².

Для оценки прочности древесины различных пород сравнительно с рудовой сосной могут применяться коэффициенты, приведенные в табл. 8. При этом для связей, работающих на растяжение или сжатие (келья, стрингеры, шпаловые брусья, внутренние привальные брусья и пр.), в соответствии с принятыми коэффициентами изменяется площадь поперечного сечения, а для связей, работающих на изгиб (бимсы, шпангоуты и пр.), — момент сопротивления.

Влажность древесины лесно- и пиломатериалов, идущих на изготовление деталей корпуса, должна составлять для сосны, ели и других хвойных пород не более 18%, для дуба, ясеня, и других лиственных пород — не более 20%. Влажность пиломатериалов для изготовления клееных деталей не должна превышать 15—16%.

Физико-механические свойства древесины меняются в зависимости от влажности. При оценке прочности судовых конструкций принимается во внимание та влажность, которую будут иметь детали конструкции во время эксплуатации судна. Влажность отдельных элементов корпуса различна и зависит от их расположения и сопряжения с водой, а также от качества защитного покрытия (окраски, лакировки и т. п.).

Влияние влажности на прочность деталей корпуса можно учитывать, умножая допускаемые напряжения на соответствующий коэффициент влажности древесины f (табл. 22).

Таблица 22

Влажность древесины, %	Элементы корпуса	f
До 18 (сухой)	Элементы, расположенные внутри корпуса и не соприкасающиеся с сырой наружной обшивкой (подпалубный набор, бортовые связи, шпалы, келья, внутренние шпангоуты, переборки)	1,0
18—24 (полусухой)	Элементы, подверженные переменному увлажнению (палубы, перекиль, часть борта) или находящиеся ниже предельной влажности (набор дельта, соприкасающийся с наружной обшивкой)	0,85
Свыше 24 (сырой)	Элементы, постоянно находящиеся в воде (наружная обшивка) в подпалубной части корпуса и набор дельта при отсутствии эффективного осушения	0,75

Характеристики клееной фанеры

Назначение фанеры	Размеры листа, мм		Коллектив	Прочность, кг/см ²		Объемный вес, г/см ³	Сорт, пригодный для изготовления клееной фанеры
	длина	ширина		при растяжении по волокну (поперек волокну)	после 24-часового выдерживания в воде		
Береговая декинговая фанера для изготовления корпусов судов	1000/500 и более	1, 1,5	3-11	В зависимости от толщины от 10 до 12	22-27	0,49	1 x 11
	Береза, ель, сосна, пихта, лиственница, осина, береза, сосна, пихта, лиственница, осина, береза, сосна, пихта, лиственница, осина	2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12					
Водостойкая фанера	1830	1,5, 2	8 и более	—	—	0,49	А (может быть даже АВ)
	1825	2,5, 3					
ГОСТ 10045-58; ГОСТ 10046-58; ГОСТ 10047-58; ГОСТ 10048-58; ГОСТ 10049-58	1845	4, 5, 6	7, 9	800 для толщины 5 и 7	—	0,5-1,06	—
	1850	8, 9, 10, 12					
Фанера, клееная из волокон марок ПУФС, ГОСУТ, ПУФС-1	4820	5, 7, 10	7, 9	800 для толщины 5 и 7	—	0,5-1,06	—
	5000	10, 14					
ГОСТ 10045-58; ГОСТ 10046-58; ГОСТ 10047-58; ГОСТ 10048-58; ГОСТ 10049-58	4900	16	11	—	—	0,5-1,06	—
	5200	—					

Примечания. 1. Допускается изготовление при выполнении в соответствии с ГОСТ 10045-58; ГОСТ 10046-58; ГОСТ 10047-58; ГОСТ 10048-58; ГОСТ 10049-58. 2. Модель изготовлена при растяжении поперек волокон ПУФС-1 (ГОСТ 10047-58) для ГОСТ 10045-58.

Обшивка палубы, бортов, димца и рубок, а также некоторые детали коперного набора выполняются из водостойкой фанеры. Эта фанера изготавливается из клееного шпона слоев берегового дубленого шпона. Волокна древесины в смежных слоях располагаются взаимно-перпендикулярно. Механические свойства водостойкой фанеры приведены в табл. 23.

Прогрессивным методом повышения прочности судов и облегчения их конструкции является склеивание древесины. Однако склеивание требует очень точного конструирования и тщательного выполнения технологических требований. Для склеивания деталей корпуса применяют водостойкие клеи.

Прочность клееных конструкций повышается по двум причинам.

Во-первых, применяются склейки взамен других крепежных средств (нагелей, гвоздей, заклепок, шурупов и т. п.) делают конструкции корпуса монолитной, равнопрочной во всех углах склеиваемой древесины. Это позволяет вести расчет прочности, используя размеры сечений деталей и введенные выше допускаемые напряжения. Если же соединение деталей производится металлическими или деревянными крепежными средствами, то прочность конструкций определяется не размерами сечения деталей, а прочностью соединения. Нагрузки, которые могут выдерживать различные соединения клееной древесины, чем нагрузки, выдерживаемые основной древесиной. Поэтому при одинаковых рабочих нагрузках сечения деталей, скрепленных различными крепежом, больше, чем у склеенных.

Во-вторых, клееные конструкции имеют более высокие механические качества, чем цельная древесина, так как благодаря подбору досок при склейке уменьшается количество и ширина пороков древесины и они не распространяются на все сечение детали. По этой причине допускаемые напряжения для клееных конструкций можно принимать выше, чем для цельной древесины. По данным, опубликованным в английской и американской технической литературе, при выполнении расчетов прочности морских деревянных судов рабочие напряжения в клееных продольных связях допускаются в два раза выше, чем в таких же связях, изготовленных из цельных штук древесины. В табл. 24 приводятся значения допускаемых напряжений для клееных конструкций.

Применение в клееных конструкциях прочных пород дерева для наружных, более напряженных волокон бруса и менее прочных пород для внутренних слоев повышает прочность конструкции и снижает ее вес.

Клееные соединения, работающие на склеивание, так же прочны, как и изготовленные из цельной древесины. Прочность прочности при склеивании клееного соединения образцов вдоль плоскости склейки для твердых пород древесины составляет не

менее 130 кг/см². Клеевой слой в условиях стыковых соединений по возможности следует располагать в плоскости действия изгибающих сил, так как в этом положении он выдерживает нагрузку на 30—40% большую, чем слой, перпендикулярный к плоскости изгибающего момента.

Таблица 24

Поправочные коэффициенты для предела прочности клееных конструкций (по сравнению с цельной древесиной)

Количество склеиваемых досок	Изгиб	Сжатие	Растяжение и изгиб уруба
1	1,00	1,00	1,0
2	1,23	1,11	1,29
3	1,33	1,16	1,42
4	1,38	1,19	1,50
5	1,44	1,21	1,56

Склеивание конструкций производится клеем ВИАМ Б-3 и эпоксидами клеями.

Пластмассовые суда, построенные из стеклопластика (табл. 25), при равной прочности и живучести с фанерными клееными судами имеют большой вес. Недостатком стеклопластика является то, что он тяжелее дерева и фанеры и более гибок. Поэтому, чтобы придать жесткость и устойчивость лодкам обшивки, приходится увеличивать ее толщину, что приводит к еще большему увеличению веса. Но при серийной и массовой постройке судно из стеклопластика обладает преимуществами, так как трудоемкость изготовления корпуса резко уменьшается. Кроме того, отделка внешней поверхности цвет-

Таблица 25

Свойства стеклопластиков на основе неазиоцианатных полиэфирных смол ПН-1

Вид армирования	Предел прочности, кг/см ²			Потери прочности от длительного пребывания в воде, %
	при растяжении	при сжатии	при изгибе	
Ткань АСТТ (6-С ₂)	2500	800	2300	50
Ткань АСТТ (6-С ₂ -О)	3250	2300	3300	20
Стеклохолст без гидрофобизирующего покрытия	1600	1600	2400	50

массового судна проще и дешевле, чем деревянного или металлического. Дерево и металл нуждаются в очистке, окраске и т. п., в то время как цветная отделка стеклопластика является составной частью его верхнего слоя и не требует ежегодного восстановления.

Чтобы устранить недостатки стеклопластика и использовать его преимущества, строят комбинированные суда. Набор этих судов выполнен из дерева, а обшивка из фанеры. Но толщина фанеры меньше, чем требуется по расчету. На верхнюю поверхность фанеры наносится тонкий слой стеклопластика; 3—4 слоя стеклоленты, пропитанной связывающей смолой. Высокую прочность и жесткость дерева позволяют перенести на него большую часть нагрузки, а с помощью стеклопластика обеспечивается уплотнение стыков и создается защитный слой на всей наружной поверхности. Такой метод очень удобен и надежен при индивидуальной постройке больших судов.

На крупных катамаранах применяют конструкцию корпуса из стеклопластика с деревянным наполнителем (обычно это очень легкие сорта дерева). Наибольшие распространение получили стеклопластики на основе смол холодного отверждения — полиэфирных и эпоксидных.

Для постройки пластмассовых катамаранов коллективами любителей или на небольших верфях спортуудостроения может быть рекомендована следующая технология.

По теоретическому чертежу изготавливается макет корпуса в натуральную величину (так называемый «болван»). Пластмассовые катамараны, как правило, имеют симметричные обводы корпусов, поэтому второй макет можно не делать.

Поверхность макета, соответствующая теоретическому корпусу (включая обшивку), тщательно обрабатывается наждаком и, если нужно, шпаклюется.

По макету изготавливается матрица, материалом для которой может служить стеклопластик или гипс. Каждая гипсовая матрица пригодна для выкладки двух корпусов, а в матрице из стеклопластика можно сделать более 100 корпусов. Но гипсовую матрицу проще изготовить, поэтому при малосерийной постройке катамаранов она выгоднее пластмассовой.

При изготовлении матрицы поверхность болвана покрывают разделительным слоем (десятипроцентная эмульсия воска в бензине), затем двумя слоями накладывают гипс — сначала мелкозернистый, потом крупнозернистый. Общая толщина слоя гипса 10—15 см.

После того как гипс отвердеет, матрицу снимают с болвана, ее внутреннюю (рабочую) поверхность тщательно выравнивают и лакируют, например, шеллаком. Для того чтобы пластмассовый корпус легче вынимался из матрицы, ее делают разъемной по ДП.

Если оба корпуса катамарана изготавливаются по одной матрице, то а ее бортах делают съемную часть для присоединения мостика. Матрицу из стеклопластика или фанеры и деревянных реек можно изготовить и без болванки. Для этого используются контрабланс, изготовленные по чертежам теоретических шпангоутов (подробнее об этом см. в гл. V).

При изготовлении корпуса поверхность матрицы покрывают разделительным слоем. Звукоизоляцию наносят мягкой тканью, а затем полируют мягкой тканью.

После того как разделительный слой подсохнет, наносят (с интервалом в полчаса) два слоя смолы с красителями. На смолу укладывают стеклоткань и с помощью кисти пропитывают ее смолой. Весовое соотношение смолы и стеклоткани при такой технологии равно 1:1. Стеклоткань расстилают вдоль судна, стыки полотнищ разводят на 200—300 мм.

На первый слой стеклоткани укладывают второй, затем третий и т. д. — количество слоев зависит от требующейся толщины обшивки корпуса (табл. 26). После первого слоя рекомендуется сделать выдержку 1—1,5 часа, остальные слои укладывают без перерыва.

Таблица 26

Рекомендуемые толщины и конструкции обшивки из стеклопластика

Длина верста, м	Толщина обшивки, мм	Конструкция
До 4,5 4,5—5,0	2,5—3,0 ~4,0	5—8 слоев стеклоткани: 1 слой стеклоткани + 2 слоя стекломаты + 1 слой стеклоткани
6,0—11,0	~5,0	1 слой стеклоткани + 3 слоя стекломаты + 1 слой стеклоткани
11,0—14,0	7,0	1 слой стеклоткани + 4 слоя стекломаты + 1 слой стеклоткани
14,0—18,0	9,0	1 слой стеклоткани + 5 слоев стекломаты + 1 слой стеклоткани

Во время изготовления корпуса должна поддерживаться температура воздуха 18—22° С при влажности не более 65%. Если работы ведутся на открытом воздухе, формируемый корпус следует оберегать от солнечных лучей.

Сформованный корпус после 24-часовой выдержки можно вынуть из матрицы. На нем размечают места установки деталей набора и швертowego колодца. Ребра жесткости обычно изготавливают из пенопласта, иногда применяют корабельные балки из легкого сплава, обклеенные стеклотканью.

Детали набора и колодца устанавливают по разметке, стыки пропитывают смолой и покрывают одним-двумя слоями стеклоткани.

Матрицы палубы и мостика могут быть изготовлены из дерева и фанеры. Мостик следует делать гофрированным — это обеспечит ему достаточную прочность без дополнительного набора. Гофры заполняют пенопластом.

Палубу приклеивают смолой к корпусу. Для создания уплотнения склеиваемые части стягивают струбциной. Мостик рекомендуется выклеивать вручную с корпусом. В этом случае матрицу мостика стягивают сначала с матрицей одного корпуса, а после его выклейки — с матрицей второго.

Слой стеклоткани, укладываемый в матрицу корпуса, отгибают на мостике. Стыки листов стеклоткани на мостике разводят по его ширине.

Некоторые любители для экономии дефицитной стеклотканью чередуют ее со слоями бязи или других тканей, но прочность таких обшивок будет, конечно, снижена.

Металлические суда требуют для своей постройки специального оборудования и высокой квалификации труда, поэтому они могут быть построены только на судостроительных верфях или в хорошо оборудованных мастерских.

Любители, строящие свои суда самостоятельно, рекомендуют выбирать для постройки простые и дешевые материалы — дерево и фанеру.

Конструкция корпуса катамарана

Корпус катамарана состоит из набора, образующего скелет судна, обшивки и залубного настила. Конструкция корпуса катамарана почти полностью совпадает с конструкцией корпуса обычного швертбота, поэтому остановимся только на отдельных, существенно отличающихся узлах и деталях.

На рис. 71 приведен конструктивные чертежи корпуса деревянных катамаранов с фанерной обшивкой.

В настоящее время применяются две основные конструкции корпуса. В первом варианте используются принципы постройки фюзеляжей и крыльев деревянных самолетов. При этой конструкции продольная прочность корпуса обеспечивается часто составленными продольными связями небольшого сечения. К ним относятся: киль, ваньсон, скуловые, бортовые и палубные спринтеры, внутренние привальные брусья, карлики и т. д. Поперечная прочность корпуса создается большим количеством часто поставленных различных шпангоутов (рис. 71, а). Каждая рама шпангоута состоит из тонкого листа фанеры, жесткость которого по контуру повышена обшивкой из деревянных планок

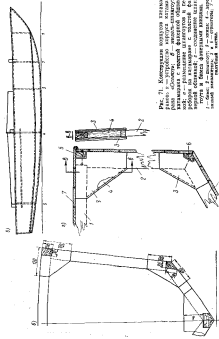


Рис. 71. Конструкция корпуса катера:
 а — вид сбоку корпуса катера;
 б — вид сверху катера;
 в — разрезание шпангоута и ребер по кильмарке с частью фанерной обшивки; г — соединение шпангоута и бруса фанерным вкладышем;
 1 — брус; 2 — шпангоут; 3 — окант; 4 — прокладный материал; 5 — обшивка; 6 — прокладный материал.

небольшого сечения. Для облегчения шпангоутов и их алюминиевые делают большие вырезы. Образуется легкая и прочная конструкция.

Благодаря большому количеству продольных и поперечных связей корпуса обшивки бортов, палубы и днища опирается на густую сеть деревянных деталей набора. Поэтому жесткость обшивки можно обеспечить сравнительно тонкими листами. Такая обшивка хорошо выдерживает местные нагрузки, а общий коббл корпуса и переизгибающие усилия воспринимаются набором. Такую конструкцию имеет, например, катамаран «Оселот» (рис. 71, а).

На рис. 71, б и в показан второй тип конструкции корпуса. В этом случае устанавливается минимальное количество продольных связей нормального сечения. Продольная прочность обеспечивается толстыми листами обшивки, которая участвует в киле и воспринимает различные внешние нагрузки. Поскольку большая толщина обшивки позволяет ей воспринимать значительные местные нагрузки и обеспечивает нужную жесткость, число поперечных связей корпуса также делают минимальными. Обычно ставятся две мощные глухие переборки из толстой фанеры, воспринимающие большие нагрузки. Величина шпангоутов увеличена, а шпангоуты выполняются из деревянных планок, соединенных килями и флорами. Вес корпуса небольшой.

Такую конструкцию имеют суда с угловатыми шпангоутами, например, катамаран «Джамплед» (см. рис. II приложения).

Все конструкции соединяются на клею с эпоксидной шпаклевкой или гвоздями. Килцы и флоры изготавливают из толстой водостойкой фанеры, из дюралюминиевых или стальных листов.

Килцы и флоры ставят с обеих сторон шпангоута и крепят к ветвям шпангоута заклепками или гвоздями. Между килями и флорами помещают сплошной слой или основной заполнитель. Конструкции из водостойкой фанеры рекомендуется выполнять на клею. Клеевые конструкции значительно прочнее и долговечнее, так как работают, как монолит. На рис. 71, с показана конструкция киля из фанеры.

Поперечные водонепроницаемые переборки, придающие поперечную прочность и жесткость корпусу, выполняются из листов фанеры с обшивкой из брусков небольшого сечения, приклеивной по контуру.

Для обеспечения жесткости переборки больших размеров к ней приваривают несколько вертикальных стоек. Конструкция переборки с обшивкой из одного слоя бакелитованной фанеры показана на рис. 82, г.

Обшивка корпуса катамарана может быть выполнена из досок или фанеры. Обшивка из досок применяется редко.

Наибольшее распространение при постройке катамаранов получила обшивка из водостойкой фанеры. Благодаря применению фанеры упрощается и облегчается постройка корпуса. Создается лучшая водонепроницаемость судна. При изготовлении обшивки на фанеру стремятся применять листы большой длины, позволяющие получать сплошные участки обшивки длиной от носа до кормы. Разумеется, обшивка больших катамаранов может быть выполнена только из нескольких листов по длине. Листы обшивки стыкуют склейкой «на ус» водостойким клеем. К деталям набора обшивку крепят на клею с эпоксидной шпаклевкой или шурупами. Различные способы крепления обшивки к набору показаны на рис. XIV приложения.

Большая местная прочность и жесткость фанеры позволяет делать обшивку малой толщиной. Поэтому удается строить легкие и прочные суда.

Однако, как уже говорилось выше, применение фанерной обшивки (из листов) возможно только при специальных условиях судна, поверхность которых разворачивается на плоскость. Наиболее целесообразно применять фанерную обшивку на судах с угловатым набором.

Применение клееных конструкций с обшивкой из фанеры позволяет значительно снизить вес корпуса катамарана при той же или более высокой прочности, чем у деревянной конструкции с досчатой обшивкой.

Например, катамаран «Шарлатер III» весит 125 кг, а равный ему по длине швертбот «Олимпик» — 220 кг. Аналогично катамаран «Оселот» имеет вес 320 кг, а такой же длины швертбот класса «М» конструкции ЦДСИ — 530 кг. В обоих случаях применение более совершенных конструкций улово корпусов, склеивание деталей и широкое использование фанеры позволили снизить вес судна примерно на 40%.

Конструкция мостика катамарана

Корпуса катамарана связывают соединительным мостиком. При проектировании мостика надо учитывать, что он подвергается большим статическим и динамическим нагрузкам. На мостик через яхту передаются значительные сосредоточенные усилия от давления ветра и натискивания волн, на мостике находятся люди, расположено оборудование и т. д. В штормовую погоду мостик заливается водой, которая создает дополнительную нагрузку. Большие поперечные изгибающие моменты возникают при движении в сильный ветер, когда наветренной корпус выходит из воды. Во время хода на волнении, как правило, один из корпусов под действием своего веса срывается относительно другого. Во избежание поломки мостик

должен обладать очень большой жесткостью и прочностью по кручению и изгиб.

Нагрузки на мостики увеличиваются в случае волнения на море, так как при этом возникают инерционные усилия и моменты, действующие динамически. К этому надо добавить также удары волн в большие плоские поверхности мостика.

В связи с тем, что прочность мостика в настоящее время может быть рассчитана лишь приближенно, при его проектировании следует ориентироваться на хорошо зарекомендовавшие себя конструкции.

Различают балочные и рамные мостики. Балочные мостики (рис. 72, а, с, е) применяются только на легких спортивных и прогулочных судах. Их конструкция состоит из двух или нескольких прочных балок, соединяющих корпус.

Каждая балка может быть выполнена из одной сосновой или дубовой доски или склеена из нескольких досок в виде сложной балки двутавровой или коробчатого сечений. Хорошо служат балки, изготовленные из досок и фанеры. Верхние и нижние доски образуют полки, а фанера — стенки короба (рис. 72, б, в).

На рис. 72, а показано крепление балки к корпусу. Каждую балку крепят к корпусу в двух местах длинными болтами, пропущенными через усиленный брус или через подушку, установленную между двумя усиленными брусами. В некоторых случаях балки крепят к корпусу с помощью больших клин (рис. 72, в).

Между балками иногда натягивают брезент, облегчающий экипажу обслуживание судна. На гоночных судах между балками устанавливают фанерный настил.

Рамные мостики состоят из жестких ферм (рис. 72, б). В поперечном сечении каждая плоская ферма имеет нижний и верхний пояса из деревянных брусков. Пояса скреплены вертикальными стойками и диагональными подпорками. Несколько таких ферм устанавливают поперек судна и несколько вдоль мостика в качестве продольных связей. В горизонтальной плоскости между продольными и поперечными фермами ставят диагональные раскосы. Снизу и сверху это сооружение закрывают фанерной обшивкой. Все детали соединяют водостойким клеем и шурупами. Образуется жесткая монолитная конструкция, надежно выдерживающая изгибающий и скручивающий моменты.

В зависимости от характера соединения мостика с корпусом различают следующие конструкции: жесткую разъемную, жесткую неразъемную, монолитную, упругую и шарнирную.

Жесткая разъемная конструкция применяется на легких спортивных и прогулочных катерах. Многие балочные мостики имеют разъемное соединение с корпусами, аналогичное

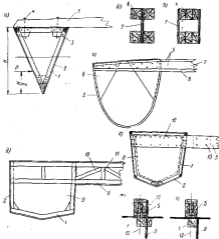


Рис. 72. Конструкции поперечных мостиков: а — балочный разъемный мостик (конец корпуса); б — фанерная балка двутавровой конструкции; в — фанерная балка коробчатой конструкции; г — балочный неразъемный мостик; д — рамный мостик; е — балочный разъемный мостик; ж, з — крепление балки к веревке в бочку

1 — виниловая резина; 2 — обшивка; 3 — деревянная доска; 4 — болт; 5 — балка; 6 — деревянная шпунт; 7 — фанерная доска; 8 — резиновый клин; 9 — виниловая резина; 10 — фанера; 11 — стойка; 12 — вертикальная балка; 13 — балочные соединители.

показанному на рис. 72, в. Интересная конструкция разъемного балочного мостика показана на рис. 72, г. К жестким поперечным переборкам корпуса прочно прикреплены толстые дубовые доски, выступающие за бортовую обшивку. Корпуса связывают балками, присоединяемыми болтами и выступающими концами этих досок. На катамаране «Бел Кит» конструкции Уффа Фокса балочный мостик представляет ряд труб, проходящих через корпус и закрепляемых с ним гайками. Разъемное соединение мостика облегчает транспортировку катамарана.

Неразъемная жесткая конструкция (рис. 72, д) представляет собой рамный мостик, жестко связанный с поперечным набором корпусов. Фермы мостика прикрепляют к усиленным шпангоутам или к переборкам болтами и водостойким клеєм. При этом часто обе полки каждой фермы проходят насквозь через корпус, образуя с ним единую конструкцию. Такой мостик обладает достаточной прочностью и жесткостью, хорошо сопротивляется изгибанию и скручиванию моментам.

Мостик монолитной конструкции представляет единое целое с поперечным набором корпусов. Примером типичной монолитной конструкции может служить мостик катамарана «Мани Кэж» (см. рис. VII приложение). Каждая поперечная ферма этого мостика выполнена заводом с соответствующими шпангоутами корпусов. Ветви шпангоутов и полки мостика жестко связаны мощными фанерными клеями. Фермы подкреплены диагональными полками, часть которых проходит через рамы шпангоутов, связывая их с мостом. В целом образуется жесткая монолитная конструкция, надежная выдерживающая большие инерционные усилия, возникающие в штормовую погоду.

На некоторых катамаранах, чтобы разгрузить мостик и особенно узлы крепления его к корпусам от больших инерционных сил, применяется упругая конструкция соединения. При упругой подвеске в местах крепления мостика устанавливают резиновые прокладки или стальные ресоры, смягчающие демпфирующее воздействие волн на мостик и корпуса. Имеются отдельные типы катамаранов, где используются упругие поперечные сайды мостика, как у судов океанских. Гибкие поперечные балки действуют аналогично упругому соединению мостика с корпусами. Однако все эти конструкции не оправдали своего назначения, так как смягчают удары только при определенной длине волны. При некоторых длинах волн они, наоборот, усиливают напряжения в конструкции.

Чтобы полностью разгрузить мостик и узлы крепления от инерционных усилий, возникающих на волнении, делается попытка шарнирного соединения мостика с корпусами. При действии каких-либо сил на катамаран корпус поворачиваются в шарнирных соединениях, не передавая изгибающих моментов на мостик. Но шарнирная и упругая подвеска мостиков не

освобождает полностью судно от вредных перегрузок на волнении, кроме того, такие соединения достаточно сложны.

В последние годы применяется только жесткая монолитная конструкция мостиков. Современная техника позволяет значительно облегчить корпус и создать необходимую жесткость мостика и соединений. Поэтому такие конструкции являются наиболее надежными, а следовательно, и наиболее целесообразными.

Помаю мостика на современных катамаранах устанавливаются дополнительные поперечные связи — носовая и ременная балки. Обе балки могут быть выполнены в виде доски обтекаемого сечения, круглой трубы или бруса. Носовая балка жестко связывает корпус, препятствуя их изгибу в горизонтальной плоскости; кроме того, она уменьшает скручивание. Если балка имеет в сечении форму крыла, то ее устанавливают под некоторым углом атаке, чтобы облегчить посадку судна на волну. Носовые балки крепят к поперечному набору корпусов с помощью болтов.

Устройство швертов и рулей

Шверт устанавливают на катамаране для уменьшения дрейфа при ходе острием курсом. Швертовое устройство состоит из шверта, швертового колодца и шверт-талей. Шверты изготовляют из листового металла (сталь, алюминизованные сплавы), из дерева или водостойкой фанеры. Деревянные и фанерные шверты снабжают небольшими грузами из свинца, которые гасят их плаваемость. На гоночных катамаранах для уменьшения веса шверты обычно делают из алюминизованного сплава.

На катамаранах применяют выдвигные (кажальные) и поворотные шверты. Выдвигные шверты (рис. 73, а) передвигаются в колодце вертикально. При такой конструкции швертовой колодец имеет малые размеры, а сам шверт может быть выполнен обтекаемой формы. Щель между швертом и колодцем практически отсутствует, поэтому сопротивление воды в щели ничтожно. Выдвигной обтекаемый шверт может автоматически устанавливаться под правильным углом атаки, если щель на переднем конце достаточно велика. При этом поперечная сила, создаваемая швертом, увеличивается, следовательно, и дрейф становится меньше. Если шверт с переменным углом атаки установлен в корпусе, то в нижней части колодца должно быть поперечное резиновое уплотнение, уменьшающее сопротивление воды в щели. Использовать выдвигные шверты рекомендуется только в достаточно глубоких акваториях, так как даже при легкой посадке на щель они ломаются и разрушают колодец. Поворотные шверты (рис. 73, б) на современных катамара-

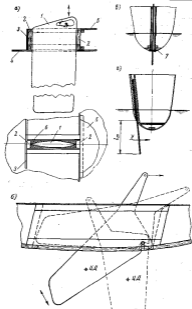


Рис. 73. Типы швертовых устройств: а — внешний шверт, установленный на жестком; б — внутренний шверт, установленный в корпусе; в — установка швертового колодца во ДПВ корпуса. 1 — шверт; 2 — шкворн; 3 — якорь; 4 — якорь кистя; 5 — якорь кистя; 6 — якорь; 7 — якорь кистя; 8 — якорь кистя; 9 — якорь кистя; 10 — якорь кистя.

ных выполняются мечевидной формы, т. е. длинными и узкими. Простым поворотом на небольшой угол такие шверты позволяют изменять положение центра бокового сопротивления судна. При этом площадь бокового сопротивления почти не меняется. Поворотные шверты при ударе о мель поднимаются, не получая серьезных повреждений.

Недостатками поворотных швертов является необходимость иметь длинный колодец, увеличивающий вес судна. Длинная мель повышает сопротивление воды; обеспечить переменный угол атаки поворотных швертов затруднительно. На рис. 74 показано устройство колодца в корпусе катамарана для поворотного шверта.

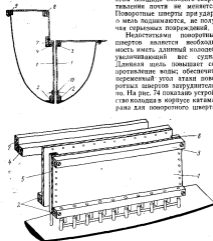


Рис. 74. Устройство швертового колодца в корпусе катамарана. 1 — ферменная стена; 2 — якорь кистя; 3 — внутренний якорь кистя; 4 — наружный якорь кистя; 5 — якорь кистя; 6 — якорь кистя; 7 — якорь кистя; 8 — якорь кистя; 9 — якорь кистя; 10 — ось шверта.

На гонимых катамаранах колодец делают сварным из стали или легких сплавов, а колоде из пластмассы. Конструкция колодца должна быть рассчитана на прочность. Хороший метод установки колодца в диаметральной плоскости каждого корпуса показан на рис. 73, в.

Шверт поднимают и опускают при помощи шверт-талей или малых лободок.

Остановимся на конструктивных достоинствах и недостатках швертов различных систем. Сравнение их гидродинамических качеств рассмотрено в разделе о лодках катамаранов.

По вопросу о выборе места установки швертов на катамаране существует несколько мнений. На некоторых катамаранах шверт помещается в жесткой части (например, «Шраутер III», «Джамахеда»). В этом случае шверт приходится делать очень длинным, а для создания необходимой прочности — значительно увеличивать толщину сечений. Шверт получается довольно тяжелым и управлять им нелегкое дело. При этом повышается также центр тяжести судна.

Если колодец такого шверта выступает поверх мостика, то он загромождает пространство мостика, мешая расположению оборудования. Если колодец выступает из-под нижней части мостика, то он увеличивает сопротивление воды. Даже на легкой яхте такой швертовый колодец испытывает резкие толчки. К этому надо добавить, что нижнее расположение колодца требует установки мощного крепления, что также увеличивает вес устройства.

Если шверт выполняется поворотным, а мачта установлена на мостике, то возникает также трудность во взаимном расположении мачты и поднятого шверта. При поворотной конструкции шверта длинный колодец перерезает несколько поперечных несущих связей моста, что заставляет увеличивать сечение остальных поперечных брусьев.

Достоинства среднего расположения швертового устройства заключаются в следующем: во-первых, отсутствует сопротивление воды и ветра, так как колодец поднят над водой, во-вторых, относительно легко создается переменной угол атаки шверта, и, наконец, в-третьих, один шверт не требует постоянной работы при маневре.

Но совершенно очевидно, что достоинства не могут компенсировать недостаток среднего расположения швертового устройства. Поэтому на современных катамаранах преимущественно устанавливаются два небольших шверта в корпусах.

Шверты, установленные в корпусах, работают попеременно, поэтому площадь каждого шверта должна быть равна рабочей площади одного центрального шверта, расположенного в мостике. Несмотря на это, общая площадь и вес двух швертов, установленных в корпусах, не намного превышают площадь и вес одного шверта, установленного в мостике, так как их полная длина меньше.

При установке двух швертов в корпусах небольшого гоночного или прогулочного катамарана каких-либо трудностей не возникает. Хуже обстоит дело с крейсерскими судами. Если

шверт ставит по диаметральной плоскости корпуса, то он загромождает помещение. На катамаране длиной 9—15 м проход между бортом и колодецом оказывается настолько мал, что приходится увеличивать ширину корпуса, чтобы получить необходимое пространство.

На крейсерских катамаранах лучше устанавливать шверт у борта, чтобы оставался свободный проход (рис. 73, з). Лучше всего помещать шверты вплотную к обшивке акустических бортов, так как при этом они будут иметь наклон наружу и при небольшом зените подвергнутый шверт займет почти вертикальное положение.

Длинные пазы швертовых колодецов следует снабжать резиновым уплотнением, чтобы уменьшить лобовое сопротивление и повысить эффективность работы шверта.

Недостатками устройства с двумя поворотными швертами являются: необходимость попеременного опускания и вытаскивания швертов при смене галсов, трудность создания конструкции с автоматической установкой угла атаки швертов, наличие больших сил в колодеце.

Подводя итоги, можно сделать следующие выводы: следует избегать установки выдвижных швертов; не рекомендуется устанавливать один шверт в мостике; наиболее целесообразный вариант — установка двух небольших швертов в корпусах.

Общим недостатком всех швертовых устройств является значительный вес, который на крейсерском катамаране длиной 8,5—9 м доходит до 180 кг, т. е. составляет 15% веса основной конструкции. Относительная сложность швертового устройства значительно увеличивает также общую сумму затрат на постройку. Поэтому некоторые крейсерские (реже гоночные) катамараны строят без швертов. Однако почти всегда эти суда имеют меньшую скорость.

Катамараны, как правило, снабжаются двумя рулями, так как при крене судна один руль, расположенный на мостике, частично вылетит из воды и будет плохо работать.

Рули делают на постоянные и подвесные (рис. 75). Постоянный руль может быть установлен за кормой судна или же в кормовой части днища.

Устройство рулей обих типов ясно на рисунке. Подвесные рули делают с подъемным пером. Перо вращается в рулевой коробке на горизонтальной оси. При ударе о мель или камень перо приподнимается и повреждается. Оно может быть приподнято при ходе по мелководью или при подходе к берегу.

На подальшем большинстве гоночных и крейсерских катамаранов применяется подвесной руль с подъемным пером, установленный за кормой.

На катамаранах длиной до 13—14 м наиболее удачным рулевым управлением является система с двумя румбальми и свя-

Зыкающей из распорки (рис. 75, в). Распорку устанавливают вблизи головок румпелей или посредине их длины. На небольших катамаранах румпели должны быть поднятыми. Иногда делают румпеля с выдвижным удлинителем. Выдвижные румпели рекомендуется выполнять из трубок, устанавливаемых одна в другую, с малым зазором и хорошей смазкой.

Поскольку при повороте скорость воды, обтекающей внутренней рули, меньше, чем скорость воды, обтекающей наружной рули, то на некоторых катамаранах рулевое устройство выполняется таким образом, что угол перекачки внутреннего руля больше, чем наружного (рис. 75, в).

Устройство парусного вооружения катамарана

На большинстве спортивных, прогулочных и крейсерских катамаранов применяется одномачтовое парусное вооружение с двумя треугольными парусами — так называемое вооружение шлюп.

Устройство парусного вооружения катамаранов принципиально не отличается от устройства вооружения яхт, поэтому остановимся только на некоторых особенностях, присущих катамаранам.

Задняя шкаторина современных парусов редко бывает прямой. Чаще всего она выполняется выпуклой, образуя так называемый горб. Чтобы горб не провисал, его поддерживают тонкими деревянными дощечками-латами, помещенными в специальные карманы. Латы могут быть короткими и сквозными, проходящими через всю ширину паруса. Короткие латы делаются толще у наружного и тоньше у внутреннего косяка. Сквозные латы имеют меньшую толщину примерно на одной трети длины от верней косяка, наибольшую толщину — у заднего косяка.

У лучших гоночных катамаранов, развивающих скорость хода 18—20 узл., на гротах устанавливают только сквозные латы, так как при таких больших скоростях форма грота особенно важна.

Латы делают из упругого и некружого дерева (ясень, бук, клен, бамбук и т. д.) или пластмассы. Лучшим материалом для лат является ясень. На гоночном катамаране «Тайгеркет» латы имеют ширину 6,35 см, а толщину 3—4 мм у мачты и 6—7 мм у задней шкаторины.

Латы следует гладко обработать и покрыть лаком, воском или олифой. Для большой прочности целесообразно толщину лат уменьшить примерно на 25% и устанавливать их в карманах вместе с двумя очень тонкими полосками (0,05—0,1 мм) нержавеющей стали. Ширина волосок должна быть немного меньше ширины латы. Кроме волосок должны быть хорошо закруглены, а по поверхности их необходимо сделать вырезы для уменьшения веса. Эти стальные волоски предохраняют латы от трещин при сильном изгибе.

Концы лат должны выступать из задней шкаторины на 5—8 см для того, чтобы регулировать узел паруса. В слабый ветер латы обжимаются в карманах сильнее, в сильный — меньше.

На гоночных катамаранах наиболее распространено крепление шкаторины к рангоуту с помощью левила, куда входит лигрот паруса (рис. 76).

Мачту устанавливают на мостике, реже на корпусе. Шпор мачты обирается с степс — деревянную или металлическую

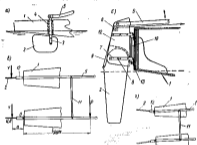


Рис. 75. Конструкция рулевого устройства: а — подвесной боковой руль; б — съемный руль с выдвижным удлинителем; в — простой откидной рулевал; г — рулевое устройство с разным углом перекачки рулей; д — шкатор; е — степс; ж — баллер; з — гальванический корпус; и — ручка; к — шток; л — оськи рулевой шкаторы; м — ось мачты; н — шкатор; о — шток; п — подвески; q — дощечки шкаторы; р — рулевая тяга.

Перо руля делают из дерева, металла, фанеры или пластмассы. Рулевое управление на быстроходных катамаранах выдерживает большие нагрузки. Поэтому для пера руля и для рулевой коробки рекомендуется применять только самые прочные металлы. На гоночных катамаранах употребляют нержавеющую сталь. На небольших судах длиной до ватерлинии 40-6 м можно применять алюминиевые сплавы, так как они достаточно прочны и легки. Рулевые коробки выполняют из металла или из толстой водостойкой фанеры.

подушку, укрепленную на поперечных балках мостика или в узлах жесткости корпуса.

Современные мачты делают алюминиевыми, калевидными и прямоугольными, реже круглыми (рис. 76). На катамаране мощность ветра используется эффективнее, чем на однокорпусных судах, поэтому при равной парусности удлиня, действующей

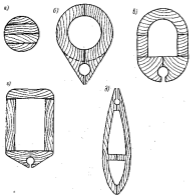


Рис. 76. Схемки типовых мачт: а — круглая алюминиевая мачта; б — пустотелая мачта с объектом на задней кромке; в — овальная пустотелая мачта; г — прямоугольная пустотелая мачта; д — объектом пустотелый штаг.

на рангоут катамарана, больше. Значит рангоут, такелаж и парусина катамарана должны быть прочнее, чем на однокорпусных яхтах.

Рекомендаций для выбора диаметра мачты и гика катамарана не существует, поэтому в первом приближении можно пользоваться опытными данными обычных парусных яхт.

Мачты и гики делают из кедрового или обычной ели. Как правило, мачты склеивают из нескольких досок. Прочность

клееных мачт выше прочности цельных на 20—30%. На гоночных судах устанавливают пустотелый рангоут, который при большой длине дает значительную экономию и вес. Толщина стенки пустотелой мачты должна быть не менее $\frac{1}{5}$ ее диаметра. Диаметр пустотелых мачт больше, чем у сплошных.

Если мачта имеет объектную форму и не вращается, то ее ширина не должна превышать 2—2,5 толщинки. Вращающиеся объектные мачты могут иметь более высокие соотношения сторон. Но в этом случае мачта по всей длине должна раскрепляться ромбовантами.

Размеры сечения мачты определяются исходя из остойчивости судна, его назначения и длины мачты. Диаметр сплошной мачты прибрежного катамарана при бермудском вооружении равен 11,3 мм на 1 пог. м высоты мачты от палубы. Уффа Фокс рекомендует для катамаранов диаметр мачты 14 мм на 1 м длины по Г.В.И. Размеры мачт гоночных катамаранов могут быть на 5% меньше. Морские крейсерские яхты должны иметь мачту на 12% толще. Момент сопротивления поперечного сечения пустотелой мачты должен быть таким же, как и у сплошной.

Диаметры мачты изменяются по высоте: наибольший диаметр d_{max} на $\frac{2}{3}$ высоты, у шпора — $\frac{1}{5} d_{max}$, у топса — $\frac{1}{10} d_{max}$. На сварных алюминиевых мачтах часто используют верхнюю часть как подлокот, не дающий катамарану перевернуться. У таких мачт диаметр у топса увеличен. Наибольший диаметр гика 13,7 мм на 1 пог. м длины.

Мачты гоночных катамаранов, например «Тайгеркет», имеют малую толщину. Чтобы они не прогибались, их раскрепляют несколькими ромбовантами.

На больших судах или при очень высоких мачтах, помимо вант и штагов, устанавливают актритаг, удерживающий мачту от изгиба вперед. На крейсерских катамаранах дополнительно к актритагу ставят также бакштаги. Штаг крепят к поперечному тросу, натянутому между корпусами в месте установки поперечного бруса.

На гоночных катамаранах принимают поворотные мачты калевобразного профиля. Поворот происходит автоматически, если соблюдается подлежащее положение между осью вращения и вантами (рис. 77, а). Ванты должны крепиться спереди оси вращения мачты и жестательно без разрыва клеветной и подветренной яхты по толщине мачты. Если точка крепления вант будет ближе к оси вращения, то натяжение клеветных вант будет препятствием повороту мачты. При установке поворотных мачт, как правило, прикрепляют только основные ванты и ромбованты. Топванты не рекомендуются.

На рис. 77, б показана раскладка вращающейся мачты гоночного катамарана «Тайгеркет», а на рис. 77, в два варианта шпора мачты — шпоровая и шпоровая конструкция пт. Стенс

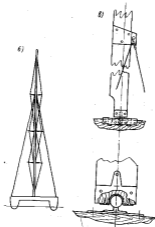
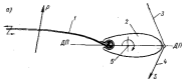


Рис. 77. Устройство поворотной мачты: 4 — планка сдв, вращающая мачту; 6 — раскладка обшивочной мачты голенчатого катамарана; 8 — поворотные ленты мачты.

1 — тросы; 2 — шквы; 3 — водоструйная мачта; 5 — стеньга мачты.

вращающейся мачты может иметь стопор для остановки мачты под определенными углами.

Применение вращающихся мачт больших размеров крайне затруднительно.

Головные катамараны часто снабжаются роль-штагами — деревянными обшивателями, устанавливаемыми переднюю кромку стакселя. Роль-штаг имеет круглое или каллеобразное сечение; он делается пустотелым, свободно надевается на штаг и поэтому не несет продольной нагрузки. Стаксель матросом передней шкаторины вкладывает в жак. Фал, поднимавший стаксель, проходит внутри пустотелого роль-штага. Угол поворота устанавливается натяжением троса, перекинутого через барабанчик, расположенный снизу роль-штага. Такое же устройство применяется для уменьшения площади стакселя. Натяжением троса вращают роль-штаг, вокруг которого наматывается стаксель.

Существуют жесткие штаги, называемые штаг-пирсами. Они выполняют функции штага и ахтерштага. Штаг-пирс — обшивочная стержень — одним концом крепится к мачте, а другим — к носовой поперечной балке. Обычно штаг-пирс делают пустотелым. Шарниры в верхней и нижней частях штаг-пирса позволяют ему поворачиваться и занимать определенное для работы стакселя положение.

Бегучий такелаж катамарана с парусным вооружением типа шлюп состоит из фалов, шкотов и топсантав.

Стремясь уменьшить воздушное сопротивление фалов, их делают из стального троса, иногда соединенного с растительным таким образом, чтобы фал можно было выбирать руками за мягкий трос. Так как выдерывание гика-шкотов в сильный ветер требует значительных усилий, то их проводят в виде талей. Число допарей должно быть не менее двух для совсем мелких катамаранов (10—15 м² парусности) и 4—6 для судов с парусностью 20—30 м².

Гика-шкоты следует делать из более тонкого, чем у фалов, троса, но проводить их нужно через большое число блоков. Дополнительные преимущества могут дать шкотовые лебедки. Хорошие гика-шкоты с талями показаны на рис. 78, а. Они имеют шесть допарей и одну точку крепления к ползу на леере, протянутом поперек мостика. На небольших судах, где необходимо быстрое маневрирование, лучше применять гика-шкоты, развешенные на несколько блоков.

При плавлении можно, когда легко проглядеть начинающийся шквал, большую ползу могут прелесть устройства для быстрой отдачи гика-шкотов. Удачная конструкция такого устройства предложена Р. Харрисом (рис. 78, б). На нижней стороне гика по тросу скользит блок. В нормальном положении блок удерживается у переднего конца гика талини шкотом, который

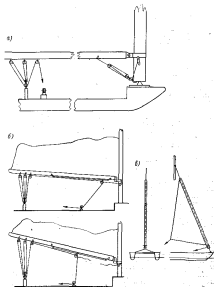


Рис. 78. Проводка шлютов на катамаранах: а—гика-шлюты с талиями; б—система гика-шлютов, предложенная Р. Харрисом; в—конструкция талюса с взаимозаменяемыми ролями-талюсами.

разрывается и освобождает блок, как только натяжение шкота превышает заданную величину. Освобожденный блок скользит вдоль гика, ослабив гика-шкотов настолько, чтобы давление на грот упало, но шкот при этом не свисал за борт. Талищину шпатаги можно менять, чтобы ночью блок освобождался при меньшем натяжении, чем днем.

Оттяжки гика, служащие для устранения закручивания под ветер верхней части грота на полных курсах, состоит из стропа с талиями. Конец стропа закреплен наглухо по возможности под углом 45° к основанию мачты (рис. 78, а). На вращающихся мачтах конец закрепляется прямо на мачте, как можно ниже. На острых курсах для той же цели применяют ноговы гика-шкота.

Установка вспомогательного двигателя

Прогулочные и крейсерские катамараны, как и обычные парусные яхты этих типов, оборудуют вспомогательными механическими двигателями, которые используются при плавании в узкостях, при подходах к берегу и сложной навигационной обстановке, во время безветрия и т. п.

Такое назначение двигателя определяет следующие основные требования к его конструкции.

1. Двигатель должен быть достаточно надежным, чтобы при периодических пусках (иногда один раз в течение нескольких дней) он работал безотказно.

2. Весь двигатель-двигательный комплекс должен быть достаточно компактным, а главное, иметь возможно меньше выступающих ниже ватерлинии частей, которые при ходе под парусами будут дополнительными источниками сопротивления.

3. Скорость хода, которую двигатель должен обеспечить катамарану, устанавливается в каждом конкретном случае в зависимости от назначения судна, района плавания и т. п. Например, ледовитградским любителям, которые займутся морской катмараном, следует учитывать, что для того, чтобы водиться по Неве до Ладожского озера, необходимо иметь скорость хода не менее $10-12$ км/час (6—7 узл.). Вообще скорость хода 8 узл. под механическим двигателем считается достаточной для большинства катамаранов.

Наиболее просто удовлетворить все перечисленные требования можно, установив на катамаране подвесной мотор (один или два). Для подвески мотора обычно используется усиленная кромка транца или доска соединительного мостика. При ходе под парусами мотор свисает и убирают в специальное помещение на мостике или в корпусках. Подвесной мотор мощностью 5 л. с. обеспечивает катамарану длиной 6—7 м, весом 350—400 кг скорость хода 6—7 узл.

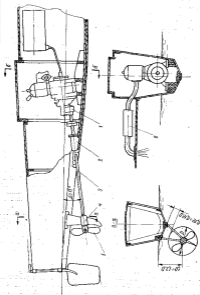


Рис. 79. Установка двигателя в корпус катамарана. 1 — двигатель; 2 — пропеллер; 3 — ступица; 4 — корпус; 5 — вал.

Подвесные моторы устанавливают в на крупных крейсерских катамаранах. Например, на катамаране «Лани Каа», чертежи которого помещены в приложение, установлен подвесной мотор фирмы «Джозсон» мощностью 40 л. с. с удлиненной ногой. Мотор подвешен в специальном колоде на мостике; для того, чтобы избежать поломки винта при ударах о препятствия, в днище мостика сделан вырез, по которому может откидываться нога мотора.

Основным недостатком крепления мотора на мостике катамарана является необходимость удлинять ногу мотора. Кроме того, при прохождении подошвы волны винт будет сочиться.

Чтобы избежать этих недостатков, устанавливают подвесные моторы в корпусах. Если перо руля катамарана подвешено

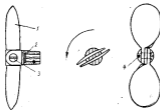


Рис. 80. Складной четырехлопастный винт.

1 — лопасти; 2 — ступица; 3 — ось двигателя; 4 — корпус.

под днищем, то моторы можно крепить на транцах. Однако, как правило, катамараны оборудуются подвесными рулями, поэтому такая конструкция может быть осуществлена только при очень широком транце или при легкосъемном руле.

Можно рекомендовать установку подвесных моторов в водонепроницаемых колодах. Если нога мотора выходит за габаритную осадку, следует предусмотреть в днище продольный вырез, который обеспечит бы ей свободу перемещения при встрече с препятствием.

Недостатки крепления подвесных моторов в корпусах очевидны: вырезы в движущей части конструкции сложны, они ослабляют прочность корпуса, увеличивают его сопротивление.

Известно немало катамаранов, оборудованных стационарными двигателями, размещенными в корпусах. Одна из вод-

возможна конструкция такой установки изображена на рис. 79. Характерной особенностью этой установки является смещение диска гребного вала и винта от ДП. Благодаря этому удается несколько уменьшить габаритную осадку. Для уменьшения со-

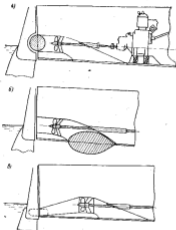


Рис. 81. Установка водометного двигателя в корпусе катамарана: а — полуподводный выброс струи; б — устройство заглушки на входном отверстии; в — подводный подводный выброс струи.

противления при движении под парусами гребной винт можно сделать складывающимся или с возвратными лопастями.

Одна из конструкций складывающегося гребного винта показана на рис. 80. Лопасти винта крепятся к ступице посредством штифта. При вращении вала лопасти под действием цент-

робежной силы раскрываются и максимальное давление удерживает их на упорах ступицы. В этих условиях данный гребной винт работает как обычный. Когда вращение прекращается, центробежные силы и давление исчезают и поток воды складывает лопасти.

Очень заманчиво установить на катамаране водометные двигатели с подводным или полуподводным выбросом струи. Такие двигатели не имеют выступающих под воду частей, поэтому при плавании на мелководье, малогабаритны.

На рис. 81 показана схема установки водометного двигателя с двигателем СМ-255-Л мощностью 6 л. с. при 3250 об/мин. Двигатель снабжен редуктором, понижающим число оборотов на гребном валу до 2000 об/мин. Диаметр винта 160 мм, диаметр трубы 164 мм, длина трубы 320 мм. Винт установлен на расстоянии 100 мм от начала трубы. Эллипсообразное входное отверстие в длину имеет размеры 640×240 мм. Два таких двигателя, установленные в корпусах катамарана длиной около 10 м, позволяют развить скорость хода 12 км/час.

При ходе судна под парусом выпускной канал водометного двигателя перекрывается круглой заглушкой, которая при ходе с водометом может служить рулем. Заглушку устанавливают и на входном отверстии (рис. 81, б).

Недостатком рассмотренного двигателя является отсутствие реверса. С этой точки зрения более выгодна установка с подводным полным выбросом струи (рис. 81, в).

Несколько большая потеря мощности, получаемая на водометных двигателях по сравнению с винтовыми, для парусных судов, где механическая установка используется сравнительно мало, не имеет большого значения.

Прекращение корпусных конструкций катамарана

Спортивные парусные суда конструируются на основании «Правил классификации, постройки и обмера спортивных парусных судов». Для катамаранов не существует правил определения размеров частей корпуса, рангоута и такелажа. Поэтому размеры сечений деталей можно ориентировочно принимать по проверенным практикой правилам постройки парусных яхт и морских деревянных судов. Последующие расчеты прочности позволят приблизительно оценить напряжения, возникающие в конструкции, и изменить ее сечение в необходимую сторону.

Продольные связи корпуса. Основные продольные связи корпуса (киль, стрингеры и привальные бруска) на судах длиной до 6,5 м рекомендуется делать сквозными. На более длинных судах эти связи следует склеивать водостойким клеем «ва укс».

Если катмаран, предназначенный для плавания в прибрежных районах, имеет длину 7—7,5 м и обшивку из досок, то можно рекомендовать следующие размеры основных продольных сечений (в мм): киль 140×36, форштевень 100×60, привальный брус 60×26, стрингеры 60×18. При длине катмарана до 5 м размеры сечений уменьшаются примерно на 30—40%.

По мере удаления от миделя к оконечностям корпуса и продольных связей от общего изгиба судна уменьшаются, поэтому сечения связей на расстоянии $\frac{1}{4}$ длины судна к носовой и кормовой оконечностям могут быть уменьшены по сравнению с сечениями на миделе до 85%. Уменьшение поперечного сечения связей в оконечностях позволяет снизить вес набора и, кроме того, облегчает укладку связей к форштевню и транцу.

На катмаранах с обшивкой из фанеры малой толщиной целесообразно установка большого количества продольных связей уменьшенного сечения (палубные, бортовые стрингеры и т. п.). Для катмаранов длиной 5—6 м лучше использовать толстую фанерную обшивку. При этом отпадает необходимость в частой постановке поперечного и продольного набора. Продольный набор состоит только из киля, скуловых стрингеров и привальных брусков. Размеры поперечного сечения этих связей могут быть приняты минимально необходимыми из условия крепления к ним обшивки.

Форштевень. Киль с форштевнем соединяется с помощью кожаной хвосты, имеющей шарну, равную шарне соединяемых деталей. Если форштевень прямой, то хвост целесообразно изготовить из металла (стальной лист), что делает более жесткий и более долговечный узел (рис. 82, а). Если форштевень изогнут, то наиболее удачной будет гнуто-кожаная конструкция штевя.

Для соединения концов досок наружной обшивки с форштевнем в нем выбирают углубление — шпунт. Минимальная толщина бруса форштевня между выбранными шпунтами, а также ширина шпунта должны быть не менее 2,5 толщины обшивки (рис. 82, б).

При фанерной обшивке размеры шпунта и штевня также же, как при эквивалентной обшивке из досок.

Форштевень катмаранов желательнее выполнять из твердых пород леса, что позволяет обеспечить достаточную прочность и надежное крепление наружной обшивки при минимальном поперечном сечении форштевня.

Трапец. По контуру транца крепят обшивку из сосновых брусков. Сечение обшивки должно составлять не менее полуторной по величине площади поперечного сечения плантогута. Конструкция обшивки транца обычно соответствует конструкции обшивки корпуса. Толщина транца на 50—100% больше толщиной обшивки корпуса. Толщина трапеца из досок для судна длиной

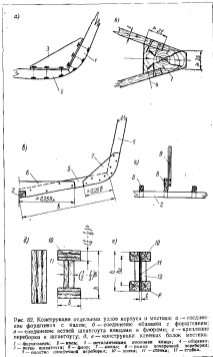


Рис. 82. Конструкции отдельных узлов корпуса и мостики: а — соединение форштевня с килем; б — соединение обшивки с форштевнем; в — соединение стеньги плантогута клеем и фанерой; г — крепление переборки к плантогуту; д, е — конструкции клеевых блоков мостики; г — форштевень; ж — вилы; з — шуруповальная кожаная хвосты; и — обшивка; к — палуба плантогута; л — фанера; м — вилы; н — рама поперечной переборки; о — шпунт; п — обшивочная переборка; р — планка; с — стеньга; т — стеньга.

7—7,5 м равна 20 мм. С килем травец соединяют старикшей, которую для прочности изготавливают из древесины с косослоем или выкладывают из реек.

Наружная обшивка. Деревянная обшивка корпусов выполняется толщиной от 1,3 до 2,5 мм на 1 м длины по палубе. Обшивка бортов, днища и палубы для судна длиной 7—7,5 м, выполняемая из сосновых досок, имеет толщину порядка 10—15 мм.

Если обшивка изготавливается из водостойкой фанеры, то ее толщина принимается равной 0,4 от толщины деревянной обшивки. Например, катамаран «Оселот» при длине 6,25 м имеет фанерную обшивку толщиной 4,5 мм. Его набор состоит из часто поставленных поперечных и продольных связей, изготовленных из кивадской слезы.

При длине катамарана 9—12 м толщина фанерной обшивки равна 9—12 мм (у катамарана «Ману Кэн» — 9,5 мм, у «36 энд Флоу» — 12 мм, у «Фламинго» — 9 мм на борту и 18 мм на днище).

В тех случаях, когда фанерная обшивка катамарана воспринимает основную долю изгибающего момента, ее толщину увеличивают в 1,5—2 раза. Например, при длине катамарана 5 м фанерная обшивка равна 8 мм (продольные и поперечные связи ставятся в минимальном количестве).

Поперечные связи корпуса. При угловатой форме нагесные шпангоуты обычно выполняются клееными из сосновых или еловых брусьев. Толщина нагесных шпангоутов по высоте борта возрастает, а ширина у палубы может уменьшаться на 40% от толщины у киля.

Ветви нагесных шпангоутов соединяют киями, которые должны перекрывать не менее 20—25% длины ветви шпангоута. Длина флора, соединяющего нижние ветви шпангоута у киля, должна быть не менее полуширины судна в данном месте (рис. 82, в).

Толщина деревянных флоров и киян равна толщине шпангоута. У кия и флоров из бакелизированной фанеры толщина обычно равна 0,25 толщины шпангоута, у стальных или алюминиевых — 0,1 толщины шпангоута. Кияны и флоры ставят с двух сторон шпангоута.

Округлые шпангоуты выгибают целиком из листов водостойкой фанеры или изготавливают гнутыми и клееными из дуба или ясеня. Толщина шпангоутов равна одной-двум толщинам обшивки, ширина шпангоута обычно равна трем его толщинам.

Расстояние между шпангоутами (шпация) равно 35—50 толщинам обшивки. Чем тоньше обшивка, тем толще должны быть шпангоуты и тем меньше шпация. У судов с деревянной обшивкой, длиной 7—7,5 м нагесные шпангоуты имеют размеры

45×15 мм при шпации 500—600 мм. В настоящее время на малых судах с фанерной или пластмассовой обшивкой аринто располагают шпангоуты неравномерно по длине судна — от носа к корме шпация увеличивается.

Если корпус катамарана выдолблен с жесткой фанерной обшивкой и поперечными переборками, то количество шпангоутов сводят к минимуму (например, при длине 5 м только 3—5 шпангоутов). Таким образом, удается максимально упростить набор и снизить вес корпуса до 80—100 кг при длине 4,5—5 м.

Бимсы имеют толщину 1,0—1,3 толщины шпангоута. Ширина бимса равна 2—3 его толщине. К борту ширина бимса может уменьшаться на 15%. Если бимсы клеены из нескольких брусьев, то их сечение уменьшается на 5—10%.

Сечение усиленных бимсов, устанавливаемых в районе ватерной у основания мачты, в узлах крепления мостика увеличивается на 30—50%.

Для судна с деревянной обшивкой при длине 7—7,5 м сосновые бимсы имеют сечение 60×15 мм, а усиленные дубовые бимсы — 70×25 мм.

Переборки. На катамаранах обычно ставят 2—3 водонепроницаемые поперечные переборки. Полотно переборки крепят к нагесному шпангоуту, ширина которого для этой цели может быть увеличена (рис. 82, г).

Хорошим материалом для изготовления переборки является водостойкая фанера. В зависимости от размеров судна толщина полотна переборки составляет от 5 до 16 мм. Отстояние толшины и ширина вертикальных стоек жесткости составляет 0,8. Если полотно переборки двухслойное, толщина обоих слоев может быть на 20% меньше чем у однослойной обшивки.

На судах с жесткой фанерной обшивкой и небольшим числом поперечных связей переборка воспринимает основную долю внешних нагрузок, обеспечивая поперечную прочность и жесткость корпуса.

Соединительный мостик. Жесткими связями соединительного мостика являются поперечные балки. На катамаране бывает от двух до пяти балок. Они располагаются примерно по средине корпуса, в месте установки мачты, на корме, где кончается мостик, и в самом носу. Обычно самое большое сечение имеет основная балка, несущая мачту, так как она воспринимает нагрузки от корпуса и от мачты. Несколько меньшее сечение может иметь кормовая балка, воспринимающая в основном вес экипажа, сидящего на борту. Самые малые размеры имеет носовая балка, назначение которой, главным образом, препятствовать расхождению и сближению форштевеньных обшивочных корпусов. Все балки должны выдерживать вес стоящего на них человека.

Переречные балки выполняются из сплошного бруса прямоугольного сечения или из досок, положенных внахлест или на ребро. У сильно нагруженных катамаранов целесообразнее ставить балки на ребро, поскольку они работают на изгиб, а при такой установке прочность балок выше. Рациональное отношение высоты к ширине балки $\frac{h}{b} = 4-5$.

Хорошими прочностными качествами отличаются клееные балки, которые можно выполнять более легкими при равной прочности с цельными. Доски лучше располагать пластинами в плоскости действия изгибающего момента. Клееные балки такого типа иногда делают из фанеры.

Переречные балки, работающие на изгиб и кручение, целесообразно изготовлять двутаврового или коробчатого сечения. Это позволяет расходовать меньше материала и при той же прочности, что у прямоугольной балки, получать конструкции меньшего веса.

Толщина валак двутавровой балки, склеенной из досок (рис. 82,б), должна быть равной $\frac{1}{4}-\frac{1}{6}$ общей высоты профиля, а толщина стенки $\frac{1}{2}-\frac{1}{3}$ ширины полки.

Для изготовления клееных балок применяют также фанеру (рис. 82,в). Такие балки могут быть двутаврового и коробчатого сечения с фанерными стенками. Толщина полки у коробчатых балок должна быть равна не менее чем шести толщинам стенки, а у двутавровых — не менее чем трем толщинам стенки. Для устойчивости листов стенки на них наклеивают вертикальные бруски квадратного сечения со стороны, равными 5—10 толщине фанерной стенки. Расстояние между брусками не более 1 м. Клееные балки с фанерными стенками легче деревянных при равной прочности.

Сечение балок определяют расчетом на прочность и проверяют затем по востребованному образцу судов. Например, для катамарана длиной 5 м сечение основной балки должно быть не менее 30 см² (фанера 20×120 мм или клееная конструкция 30×85 мм).

Шпартовый колодез, шверты и руды. Толщина нижней доски швертового колодеза у деревянного катамарана длиной 7—7,5 м равна 2,5 толщине обшивки корпуса. Верхняя доска делается вдвое тоньше. Размеры фанерной конструкции могут быть уменьшены.

Шверты и руды из дюралюминия для судна длиной около 5 м должны иметь толщину 7—10 мм. Если шверты и руды выполнены из бакелитизированной фанеры, то они при тех же размерах судна должны иметь толщину 30 мм. В случае изготовления сварного руды или шверта профалированного сечения толщина свариваемых листов может быть уменьшена до 5—6 мм.

Постройка катамарана

Технология постройки корпусов катамарана принципиально ничем не отличается от принятой в малом судостроении и описанной в ряде книг.¹ В связи с этим имеет смысл отметить некоторые особенности постройки многокорпусных судов.

1. Изготовление набора следует вести одновременно для обоих корпусов: этим экономится время на разметку одинаковых деталей и достигается абсолютное подобие корпусов.

Сборку V-образных шпангоутов (такие шпангоуты, например, имеют катамараны «Вел Кет» и «Дуэт», описание которых помещено в приложении) удобно производить по шаблону, так как они имеют одинаковый развал на всей длине судна.

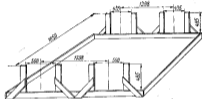


Рис. 83. Станок для сборки корпусов катамарана длиной 4 м.

2. Корпуса удобнее собирать вверх килем. Сборку можно производить на ровном полу или на станке (см. раздел о постройке катамарана «Кит Кет»).

3. Для сборки мостика и соединения корпусов удобно пользоваться специальным станком. На рис. 83 изображен такой станок для прямоугольного катамарана длиной 4 м, шириной 1,86 м.

Установочные и тщательно выверенные по всем плоскостям корпус соединяют. Сборку корпусов катамаранов «Широкер III» и «Оседло» показана на рис. 7) и рис. III приложения.

Установку мостика и окончательную сборку лучше всего вести на открытом воздухе или под навесом, так как из-за больших габаритов катамаран трудно вынести из помещения.

¹ Например, в работах А. Н. Попова, Ф. М. Шедкина и др., описанных в библиографическом указателе.

Проверка прочности катамарана

От прочности катамарана во многом зависит безопасность плавания.

Конструкция корпуса и парусного вооружения катамарана испытывают при эксплуатации большие нагрузки, чем конструкции однокорпусных судов.

Однокорпусное судно при усилении ветра кренится, что приводит к ослаблению давления на паруса. Катамаран, как из-

щине экипажа (как правило, на наветренном корпусе ближе к корме).

И, наконец, все детали корпуса и парусного вооружения должны обеспечивать прочность при действиях местных нагрузок от давления воды, веса экипажа и т. п.

Расчет прочности деревянных морских и речных судов в связи с большой сложностью вопроса до сих пор окончательно не разработан. Специальных методов расчета прочности парусных спортивных судов вообще не существует. Обычно выбор размеров деталей спортивных судов производят на основе различных «Правил постройки спортивных судов», где приводятся размеры, выработанные и проверенные практикой. Для парусных катамаранов такие правила не разработаны. Правила, созданные для однокорпусных судов, для постройки катамаранов неприменимы.

Трудности расчета прочности парусного катамарана связаны со сложностью выбора правильной расчетной схемы и со сложностью последующего решения задачи. Чем точнее расчетная схема отображает действительную картину явления, тем ниже может быть запас коэффициента запаса, тем эффективнее в конструкции может быть использован материал.

Не останавливаясь на теоретических предположениях расчетов, рассмотрим проверку прочности наиболее ответственных узлов и деталей катамарана.

Расчет продольной прочности корпусов. При плавании катамарана на тихой воде на него действуют силы веса и силы плавучести. Распределение этих сил по длине корпуса неодинаково. В связи с этим на корпус действуют изгибающие моменты и поперечные перерезывающие силы. При ходе судна на волне к этим нагрузкам добавляются изгибающие моменты и перерезывающие силы, вызванные перераспределением сил плавучести по длине судна.

С большим запасом можно определить общий изгибающий момент $M_{из}$, полагая, что судно опирается на вершинах волн только в двух точках: в носу и корме (это соответствует объему судна на двух стропях за оконечности). В этом случае

$$M_{из} = \frac{P_x l}{8,7} + \frac{P_x l_w}{4} + \frac{P_x l_n}{4} + \frac{P_x l_k}{2},$$

где

- P_x — вес одного корпуса;
- $P_x l$ — вес мостика;
- P_x — вес вооружения;
- P_x — вес экипажа.

Момент на миделе от сил веса одного корпуса P_x , распределенных по трапеции, может быть принят равным $\frac{P_x l_k}{8,7}$.

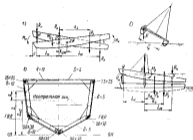


Рис. 84. Схемы к расчету кривости и примерный модель-эскиз катамарана: а — корпусное сооружение при ходе катамарана по волне; б — вооружение корпуса при ходе катамарана с креном; в — конструктивный вырез (слева — досчатый обшивкой, справа — фанерой).

вестно, ходит почти без крена; следовательно, давление на паруса у него не уменьшится. Длинный корпус катамарана, работая в целом как пустотелые тонкостенные балки, испытывают на волне большие изгибающие моменты. При сильном ветре, когда наветренный корпус судна отрывается от воды, поперечный мостик катамарана нагружается значительными изгибающими и скручивающими моментами. При носом пологона судна на волне (рис. 84, а) корпуса перекашиваются один относительно другого, вызывая изгиб и скручивание деталей мостика. Эти явления усиливаются из-за неравномерного разме-

Моменты от прочих сосредоточенных весов P_{31} , P_{32} и т. д. определяются произведением равнозначимых сил веса (т. е. веса, приходящегося на один корпус) на расстояние до корня или до кофа соответственно расположению силы относительно миделя.

Определив погружающий момент, найдем момент инерции миделевого сечения судна, рассматривая его как балку. Подоплеками элементами такой эквивалентной корпусу балки являются лишь те детали продольного набора, которые достаточно прочно связаны с корпусом и получают при общем изгибе судна одинаковую с ним деформацию. Короткие продольные связи (менее 7,5% длины судна в каждую сторону от миделя) при расчете не учитываются.

Связи корпуса судна, выполненные из других материалов (фанера, дуб, дюралюминий и т. п.), в расчете заменяются эквивалентными им деревянными связями, для чего их статические моменты и моменты инерции умножаются на относительные модули упругости рассматриваемого материала E и дерева E_d , т. е. эквивалентный момент инерции связи $I_{св} = I \frac{E}{E_d}$.

Если корпус выполнен из дерева и имеет деревянную обшивку, закрепленную с помощью крепежных средств, то усилие, выдерживаемое узлом крепления, намного меньше усилий, выдерживаемых самими деревянными деталями. Поэтому при определении корпуса судна в эквивалентной балке площади сечений умножают на редуцирующие коэффициенты $r = \frac{P_1}{f[\sigma_d]}$, где P_1 — нагрузка, выдерживаемая узлом крепления, f — площадь сечения рассматриваемой связи; $[\sigma_d]$ — допускаемое напряжение для древесины связи. Следовательно, редуцированная связь будет иметь эквивалентное сечение $I_{св} = fr$, которое будет намного ниже фактического.

Форма расчета эквивалентной балки для деревянных судов приведена в табл. 27. Значения P_1 для различных видов крепежа можно найти в книгах по деревянному судостроению (для гвоздя в сосне и ели $P_1 = 300d^2$, где d — диаметр гвоздя, см).

Последующий расчет эквивалентной балки, составленной из редуцированных связей, выполняется путем вычисления напряжений по формуле

$$\sigma = \frac{M_{из} \sigma}{I_{св}}, \quad (51)$$

где $I_{св}$ — общий момент инерции эквивалентной балки;

σ — расстояние от сечения рассматриваемой связи до нейтральной оси (рис. 84, в).

Расчет напряжений следует вести для случая прогиба судна на подходе волны и для случая перегиба его на гребне.

Расчет эквивалентной балки деревянного корпуса (рис. 84, в)

№ ст.	Наименование продольной балки	Количество связей в мидельном сечении балки	Площадь сечения одной связи f , см ²	Расстояние от миделя до центра тяжести одной связи a , см	Площадь сечения одной связи f , умноженной на относительный модуль упругости древесины E/E_d , см ²	Момент инерции одной связи $I_{св}$, см ⁴	Момент инерции одной связи $I_{св}$, умноженный на коэффициент r , см ⁴	Расстояние от ОП до ЦТ одной связи a , см	$r \cdot a^3$	Расстояние от миделя до ЦТ одной связи a , см	Момент инерции одной связи $I_{св}$, умноженный на коэффициент r , см ⁴
1	Продольный брус		4,15	3,2	1,43	3,79	3,79	25	25	25	1 200
2	Скрученный стальной трос		38,4	0,8	30,8	2,74	2,74	32	32	32	787
3	Дюбель (дюралюминий) по 100 см	2	5,0	0,30	3,00	0,5	0,5	33,5	33,5	33,5	3 750
4	Дюбель (дерево) по 100 см	2	5,0	0,25	2,50	0,5	0,5	33,5	33,5	33,5	3 750
5	Дюбель (дерево) по 50 см	2	5,0	0,25	2,50	0,5	0,5	33,5	33,5	33,5	3 750
6	Дюбель (дерево) по 25 см	2	5,0	0,25	2,50	0,5	0,5	33,5	33,5	33,5	3 750
7	Дюбель (дерево) по 12,5 см	2	5,0	0,25	2,50	0,5	0,5	33,5	33,5	33,5	3 750
8	Дюбель (дерево) по 6,25 см	2	5,0	0,25	2,50	0,5	0,5	33,5	33,5	33,5	3 750
9	Дюбель (дерево) по 3,125 см	2	5,0	0,25	2,50	0,5	0,5	33,5	33,5	33,5	3 750
10	Дюбель (дерево) по 1,5625 см	2	5,0	0,25	2,50	0,5	0,5	33,5	33,5	33,5	3 750
11	Итого										
12	Итого										
13	Итого										
14	Итого										
	Сумма					85,4			3000		$I_{св} = 36 217$

Судно рассматривается на гребне волны. Напряжение нейтральной оси

$$\sigma_{н.о.} = \frac{M_{из} \sigma}{I_{св}} = \frac{3000 \cdot 25}{36 217} = 20,5 \text{ кг/см}^2.$$

Расстояние до крайнего вывала

$$a_{кв} = 25 \text{ см}, \\ a_{н.о.} = -30,5 \text{ см}.$$

Наибольший погружающий момент $M_{из} = 3000$ кг/см.

Напряжение в центре

$$\sigma_{ц.с.} = \frac{M_{из} \sigma}{I_{св}} = \frac{3000 \cdot 25,5}{36 217} = 20,5 \text{ кг/см}^2.$$

Напряжение в кале

$$\sigma_{кал.} = \frac{M_{из} \sigma}{I_{св}} = \frac{3000 \cdot 30,5}{36 217} = 25,5 \text{ кг/см}^2.$$

Наибольший запас прочности (с учетом влажности древесины)

$$n_{св} = \frac{\sigma_{св}}{\sigma_{св}} = \frac{10}{20,5} = 2,0.$$

Примечание. Расчет редуцирующих коэффициентов r производится для случая крепления обшивочных связей гвоздями диаметром 6 мм.

В первом случае верхние связи корпуса сжаты, а нижние растянуты; во втором — верхние связи растянуты, а нижние сжаты.

Условие достаточной прочности выражается формулами

$$\sigma_{\text{рас}} < [\sigma_{\text{рас}}] \text{ и } \sigma_{\text{сж}} < [\sigma_{\text{сж}}].$$

где $[\sigma_{\text{рас}}]$ и $[\sigma_{\text{сж}}]$ — допускаемые напряжения на растяжение и сжатие для древесины.

Следует заметить, что при расчете эквивалентной балки учитываются продольные связи корпуса, а также обшивки лалубы бортов и днища. При расчете деревянного судна, собранного на крепеже, собственными моментами инерции всех продольных связей и досок обшивки пренебрегают, учитывая только их момент инерции относительно нейтральной оси.

Если корпус судна выполнен из дерева на клею, то он будет работать на изгиб как монолитная конструкция. При хорошем склеивании допускаемые напряжения на клееному шву близки по величине к допускаемым напряжениям в дереве вдоль волокон. Поэтому при расчете эквивалентной балки учитывается полное сечение продольных связей и обшивки ($r = 1$). При этом также учитывается собственный момент инерции бортовой обшивки. Отсюда вытекает, что клееные суда можно считать более легкими, так как сечение связей клееных судов получают меньше, чем при послойном судна на крепеже.

Если судно имеет фанерную обшивку и собрано на клею, то прочность его повышается также за счет более высоких допускаемых напряжений для фанеры. При расчете судна с фанерной обшивкой деревянные связи целесообразно приводить к эквивалентным фанерным, умножая их площадь сечения и моменты инерции на отношение модулей упругости дерева и фанеры, т. е. $I_{\text{дв}} = I_{\text{д}} \frac{E_{\text{д}}}{E_{\text{ф}}}$ и т. п. В табл. 28 дан метод расчета эквивалентной балки фанерного корпуса.

Расчет напряжений производится по формуле (63), но σ не должно превышать допускаемых напряжений для фанеры, равных $[\sigma] = \frac{\sigma_{\text{д}}}{n}$, где $\sigma_{\text{д}}$ — предел прочности для фанеры, а n — запас прочности. Величину n для гоночных судов можно принимать равной 2—3; для прогулочных и крейсерских катамаранов прибрежного плавания $n = 4$; для океанских крейсерских катамаранов $n = 5$ —6.

У катамаранов, для которых отношение $\frac{B}{H}$ обычно меньше единицы, общая поперечная прочность корпуса всегда обеспечена и ее проверять целесообразно.

Расчет эквивалентной балки фанерного корпуса

№ п/п	Наименование элементов балки	Моменты связей в		Площадь сечения связей $F_{\text{св}}$, см ²	Моменты инерции $I_{\text{св}}$, см ⁴	Площадь эквивалентной связи $F_{\text{дв}}$ в см ²	Моменты инерции $I_{\text{дв}}$ в см ⁴	Расстояние от оси до ШТ $L_{\text{св}}$ в см	Расстояние от оси до ШТ $L_{\text{дв}}$ в см	Установлено эквивалентное сечение по ШТ $F_{\text{дв}}$ в см ²	Собственный момент инерции $I_{\text{об}}$ в см ⁴	$I_{\text{дв}}$ в см ⁴
		дерева	фанеры									
1	Средний брусок	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	Средний шпатель	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	Обшивки лалубы и бортов	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	Днища	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Сумма	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Судно выводится на крайнюю точку. Положение нейтральной оси												
$Z_{\text{н. ос.}} = \frac{M_{\text{дв}} F_{\text{дв}}}{M_{\text{дв}} F_{\text{дв}}} = \frac{407}{10.5} = 38.8 \text{ см.}$												
Расстояние до крайнего волокна:												
шалбы $a_1 = 26.5 \text{ см.}$ кале $a_2 = -31 \text{ см.}$												
Усредненный поперечный момент $M_{\text{дв}} = 26.100 \text{ кнм.}$												
Момент инерции эквивалентной балки												
$I_{\text{дв}} = M_{\text{дв}}^2 \cdot \sum \frac{1}{E_{\text{дв}}} = 10 - 4000 - 2000 = 20.000 \text{ см}^4.$												
Напряжения растяжения в шалубе												
$\sigma_{\text{рас}} = \frac{M_{\text{дв}} \cdot a_1}{I_{\text{дв}}} = \frac{26.100 \cdot 26.5}{20.000} = 33.80 \text{ кн/см}^2.$												
Напряжения сжатия в кале												
$\sigma_{\text{сж}} = \frac{M_{\text{дв}} \cdot a_2}{I_{\text{дв}}} = \frac{26.100 \cdot 31}{20.000} = 32.55 \text{ кн/см}^2.$												
Надежность связи: прочность в клею												
$\sigma_{\text{кл}} = \frac{M_{\text{дв}}}{I_{\text{дв}}} = \frac{26.100}{10.5} = 2.48 \text{ кн/см}^2.$												
Редуцированный коэффициент												
$r = \frac{E_{\text{дв}}}{E_{\text{д}}} = \frac{10.000}{20.000} = 0.5.$												

Расчет прочности мостика. При ходе катamarана с креном, когда наветренный корпус отрывается от воды и подается в воздух, силы тяжести вызывают скручивание наветренного корпуса относительно подветренного. В этом случае поперечные балки мостика работают на изгиб и кручение (рис. 84, б). Напряжения в балках мостика усиливаются еще и от того, что экипаж обычно располагается на наветренном корпусе в корме.

Расчет мостика сводится к определению усилий R , вызывающих изгиб балок, и моментов M , вызывающих их кручение.

Поскольку в момент отрыва корпуса от воды ванты вместе с мачтой удерживают на весу весь корпус, то основная несущая балка, на которую опирается мачта, не прогибается, а только испытывает кручение. Следовательно, вращение наветренного корпуса будет происходить вокруг оси O , проходящей через основную балку.

Рассмотрим расчет мостика, состоящего из трех балок, при ходе катamarана с креном. Корпуса будем полагать абсолютно жесткими. Сопротивлением носовой и кормовой балок кручению пренебрежем. Все это пойдет в зачет прочности мостика.

Изгибающие усилия в кормовой балке

$$R_k = \frac{P_k a_k + P_0 a_0}{(1 + k_1 + k_2) l_0}$$

изгибающее усилие в носовой балке

$$R_n = R_k k_2,$$

момент, скручивающий основную балку,

$$M_0 = R_k k_1 l_0.$$

Здесь P_k — общий вес катamarана без экипажа;

P_0 — вес экипажа;

a_k и a_0 — расстояния от основной балки до точек приложения сил P_k и P_0 (рис. 84, а);

l_0 — длина мостика (расстояние от основной до кормовой балок);

l_n — длина поперечных балок мостика (рис. 84, б).

Коэффициенты k_1 и k_2 находятся по выражениям

$$k_1 = \frac{l_n E_n I_n}{l_0 E_n I_0}, \quad k_2 = \frac{J_0^2 G I_n}{J_n^2 E_n I_0},$$

где l_n — расстояние от носовой до основной балки;

J_n и J_0 — моменты инерции сечений носовой и кормовой балок;

E_n и E_0 — модули упругости на изгиб для носовой и кормовой балок;

G — модуль упругости на кручение основной балки.

Из расчетных формул вытекает, что усилия в балках зависят от жесткости балок. У более жестких балок изгибающие усилия и крутящий момент выше.

Изгибающие моменты в носовой и кормовой балках

$$M_n = R_k l_n, \quad M_k = R_k l_0.$$

Напряжения изгиба не должны превышать допускаемые напряжения для материала балок, т. е.

$$\sigma_n = \frac{M_n}{W_{nn}} < [\sigma_{nn}], \quad \sigma_k = \frac{M_k}{W_{kk}} < [\sigma_{kk}].$$

Для основной балки касательные напряжения не должны превышать допускаемых напряжений на срез

$$\tau = \frac{M_0}{F_0 a_0} < [\tau].$$

Значения моментов сопротивления изгибу W_{nn} и кручению F_0 для балок различного сечения можно вычислить пользуясь табл. 29.

Напряжения сжатия в нижней полке коробчатой или двутавровой балки с фанерными стенками находятся по выражению

$$\sigma_{сж} = \frac{M}{I_0 F},$$

где M — изгибающий момент в балке;

I_0 — расстояние между ЦТ полок;

F — площадь сечения двух полок.

Напряжения сдвига в фанерных стенках

$$\tau_{сд} = \frac{1,25R}{h l},$$

где R — сила, изгибающая балку;

h — высота фанерной стенки;

l — общая толщина двух фанерных стенок.

Необходимо также проверить прочность судна при ходе на волне косым курсом. В этом случае корпуса катamarана взаимно скручиваются, вызывая кручение и изгиб поперечных балок.




Наибольший момент, вызывающий кручение корпусов, определяется по выражению

$$M_{кр} = \frac{P_n l}{2} + (c + l_n + a_n) P_n,$$



где c — расстояние от носовой балки до форштевня.

Моменты инерции и моменты сопротивления сечений

Таблица 29

Плоские сечения	Играб		Крушение	
	момент инерции	момент сопротивления	момент инерции	момент сопротивления
	$I_x = \frac{bh^3}{12}$	$W_x = \frac{bh^2}{6}$	$I_x = bh^3$	$W_x = \frac{bh^2}{3}$
	$I_x = \frac{\pi d^4}{64}$	$W_x = \frac{\pi d^3}{32}$	$I_x = \frac{\pi d^4}{32}$	$W_x = \frac{\pi d^3}{16}$
	$I_x = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4)$	$W_x = \frac{\pi}{32} (D^3 - d^3)$	$I_x = \frac{\pi}{32} (D^4 - d^4)$	$W_x = \frac{\pi}{16} (D^3 - d^3)$

Продолжение

Плоские сечения	Играб		Крушение	
	момент инерции	момент сопротивления	момент инерции	момент сопротивления
	$I_x = \frac{\pi d^4}{4}$	$W_x = \frac{\pi d^3}{4}$	$I_x = \frac{\pi d^4}{8(1 - \frac{16}{3\pi})}$	$W_x = \frac{\pi d^3}{2}$
	$I_x = \frac{\pi}{4} (D^4 - d^4)$	$W_x = \frac{\pi}{4} (D^3 - d^3)$	$I_x = \frac{\pi d^4}{8(1 - \frac{16}{3\pi})} (1 - \frac{16}{3\pi})$	$W_x = \frac{\pi d^3}{2} (1 - \frac{16}{3\pi})$

$\frac{d}{D}$	α	β
1,0	0,140	0,308
0,8	0,204	0,368
0,6	0,281	0,455
0,4	0,373	0,561
0,2	0,481	0,691
0,0	1,128	1,500

$$\alpha = \frac{2\pi}{2\pi - 16\beta} ; \quad \beta = \frac{2\pi}{2\pi - 16\alpha}$$

Если не учитывать некоторое разгружающее влияние вант и мачты, то кручение корпусов будет происходить около центра жесткости ЦЖ, положение которого определяется по выражению (рис. 84, а)

$$X_{\text{жж}} = \frac{E_n I_n l_n + E_k I_k l_k}{E_n I_n + E_k I_k + E_n I_n}$$

где величины с индексами «н» относятся к носовой, «к» — к кормовой, «о» — к основной балкам.

Усилие, изгибающее основную балку, без учета кручения балок корпуса равно

$$R_n = \frac{M_{\text{впр}}}{(l_n - X_{\text{жж}}) + k_n X_{\text{жж}} + k_k (l_k + l_n - X_{\text{жж}})}$$

Значения коэффициентов k приведены в табл. 30.

Таблица 30

Значения коэффициентов k для расчета мостика катамарана

Ванты мостика	Расчетная формула
Носовая	$k_n = \frac{E_n I_n X_{\text{жж}}}{E_n I_n (l_n - X_{\text{жж}})}$
Осцевая	$k_o = 1$
Кормовая	$k_k = \frac{E_k I_k (l_k + l_n - X_{\text{жж}})}{E_n I_n (l_n - X_{\text{жж}})}$

Усилие, изгибающее носовую и кормовую балки,

$$R_n = k_n R_o, \quad R_k = k_k R_o.$$

Проверка напряжений производится аналогично рассмотренному выше случаю движения катамарана с креном.

Основная поперечная балка, помимо кручения и изгиба от веса судна, испытывает местные нагрузки от давлений мачты Q и T_p (рис. 85, б). Максимальное изгибающее усилие Q , действующее в середине основной балки, находит при расчете вантута и такелажа катамарана (см. ниже).

Напряжения, возникающие при изгибе балки силой Q в вертикальной плоскости, равны

$$\sigma_{\text{изг}} = \frac{Q l_k}{4W_{x, o}}$$

Напряжения изгиба от давления мачты и от скручивания мостика в сумме не должны превышать допустимые напряжения для материала балки.

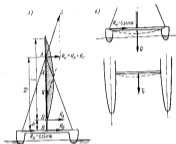


Рис. 85. Силы, действующие на вантуты и такелаж судна: а — сила, действующая на ванту и мачту; б — давление на осцевую балку мостика.

Сила тяги грота T_p вызывает изгиб основной балки в горизонтальной плоскости. Напряжения изгиба

$$\sigma_{\text{изг}} = \frac{R'_{x, o}}{4W'_{x, o}}$$

где $W'_{x, o}$ — момент сопротивления изгибу основной балки в горизонтальной плоскости;

$R_x = kT_p$ — давление в шпоре мачты, создаваемое силой тяги грота

$$k = 0,667 \left(1,16 - 1,16 \frac{h_x}{l_k} - 0,667 \frac{l}{l_k} \right);$$

значения величин h_x , l и l_k объяснены ниже.

Основная балка испытывает также продольный изгиб от натяжения вант S . Запас устойчивости основной балки на продольный изгиб должен быть $n > 3$, т. е.

$$n = \frac{10E_y I_y}{Q^2 S \sin^2 \alpha} > 3,$$

где I_y — минимальный момент инерции основной балки;
 α — угол установки вант относительно мачты.

Приведенные данные показывают, что основная балка мостика подвергается сложному действию очень многих усилий, поэтому проектированию основной балки следует уделять серьезное внимание.

Расчет рангоута и такелажа на прочность. Расчет рангоута и такелажа следует вести для случая зода катамарана в крутой бейдевинд. Наибольшее давление на паруса D (сила дрейфа) определяется из диаграммы устойчивости судна

$$D = \frac{M_{\text{всплыв}}}{h_0},$$

где $M_{\text{всплыв}}$ — наибольший восстанавливающий момент катамарана;

h_0 — расстояние между ЦП и ЦБС катамарана.

Давление на грот

$$P_g = \frac{S_g D}{S},$$

где S_g — площадь грота;

S — общая площадь парусности.

Давление на стаксель

$$P_c = \frac{S_c D}{S},$$

Наибольший изгибающий момент в точке A мачты (рис. 85, а)

$$M_A = R_A h_A - \frac{P_g}{9} (h_0 - h_A) - \frac{2}{9} \frac{P_c}{\Gamma} (h_0 - h_A)^2,$$

где $R_A = k P_g$ — давление мачты в шпоре (точка B);

k — коэффициент, найденный выше;

h_0 — высота оголовья вант над палубой;

h_A — высота вертикального гика над палубой;

l — длина передней шкаторины грота.

Напряжение изгиба мачты в точке A не должно превышать допустимое

$$\sigma_{\text{из}} = \frac{M_A}{W_A} < [\sigma_{\text{из}}],$$

где W_A — наименьший момент сопротивления мачты в точке A .

На мачту действует вертикальная сила Q , вызывающая продольный изгиб участка h_A между палубой и оголовьем вант. Момент инерции сечения мачты находится по эмпирической нагрузке с некоторым запасом

$$I > \frac{Q h_A^2 \alpha}{10E},$$

где $Q = \frac{R_g}{10 \alpha}$ — сжимающая мачту уснание;

E — модуль упругости на растяжение для материала мачты.

Коэффициенты запаса принимаются такими же, как при расчете такелажа.

Напряжение изгиба в гике

$$\sigma_{\text{из}} = \frac{P_g l_g}{24 W_g} < [\sigma_{\text{из}}],$$

где l_g — длина гика;

W_g — наименьший момент сопротивления гика.

Натяжение наветренных вант создается давлением грота R_A и давлением стакселя R_c (рис. 85, а), т. е.

$$R_A = R_A + R_c,$$

где $R_A = 0,067 \left(1,16 \frac{h_0}{h_A} + 0,667 \frac{l}{h_A} \right) P_g$; $R_c = \frac{2}{3} P_c$.

Сила натяжения наветренных вант

$$S = \frac{R_A}{\sin \alpha},$$

где α — угол установки вант (γ мачты).

Диаметр вант определяют по наибольшей допустимой нагрузке, которая должна быть меньше разрушающей. Расчетная нагрузка $S_{\text{расч}} = nS$, где n — коэффициент запаса. По величине $S_{\text{расч}}$ выбирается диаметр вант по табл. 12. Значение коэффициента запаса рекомендуется принимать следующее: $n=3$ для гоночных катамаранов; $n=4$ для крейсерских прибрежных судов; $n=6$ для океанских крейсерских катамаранов. Диаметр штага принимается равнопрочным с вантами.

Расчет шверта и руля. Шверт следует рассчитывать по гидродинамическому давлению. Поперечная сила Y , изгибающая шверт, равна силе дрейфа D , найденной выше.

Полагая, что давление воды равномерно распределено по площади шверта, определяем напряжения изгиба (с некоторым запасом)

$$\sigma_{из} = \frac{Y l_{ш}}{2W_{ш}}$$

где $l_{ш}$ — длина шверта от корпуса до нижней кромки;

$W_{ш}$ — момент сопротивления сечения шверта.

Напряжения изгиба не должны превышать допустимых напряжений для материала шверта; $\sigma_{из} < [\sigma_{из}]$. Коэффициент запаса при вычислении $[\sigma_{из}]$ следует брать не менее $n=2-3$, учитывая возможные удары и удары волн.

При большой крене или при опрокидывании катамарана для восстановления прямого положения судна акажаж становится на шверт. Для небольшого судна следует дополнительно рассчитывать шверт на нагрузку акажажа, стоящего на его конке. В этом случае

$$\sigma_{из} = \frac{P_0 l_{ш}}{W_{ш}}$$

где $P_0 \approx 75$ кг — вес человека.

При этом учитывая кратковременность действия нагрузки, можно допускать повышение значения $\sigma_{из}$, но не более предела текучести для металлических швертов и предела прочности для фанерных.

Расчет прочности рулей производится на основе гидродинамической нагрузки с запасом прочности 6—10. Поскольку на катамаранах большей частью применяется румпельное ручное управление, то давление на руль не может превышать значения (при двух рулях)

$$Y_r = \frac{P_{ггк}}{2a}$$

где $l_{ггк}$ — длина румпеля;

a — расстояние от ЦД воды до оси вращения (см. раздел об управляемости катамарана);

P — наибольшее усилие на румпеле, которое может длительно создавать человек ($P \approx 30$ кг).

Напряжения изгиба в перу руля

$$\sigma_{из} = \frac{Y_r l_p}{2W_p}$$

где l_p — длина пера руля;

W_p — момент сопротивления изгибу руля.

Напряжения изгиба в румпеле

$$\sigma_{из} = \frac{P_{ггк}}{W_{ггк}}$$

где $W_{ггк}$ — момент сопротивления румпеля в горизонтальной плоскости.

Румпель дополнительно должен выдерживать вес человека. Если румпель имеет шарнир на колодке пера, то напряжения изгиба в вертикальной плоскости

$$\sigma_{из} = \frac{P_0 l_{ггк}}{4W_{ггк}}$$

где $P_0 \approx 75$ кг — вес одного человека.

Запас прочности при определении допустимых напряжений $n=6-10$; следовательно,

$$\sigma_{из} < [\sigma_{из}] = \frac{\sigma_{т}}{n},$$

где $\sigma_{т}$ — предел прочности материала пера руля и румпеля.

Расчет жесткой прочности корпуса. Расчет обшивки обычно не производится, так как рекомендованные выше толщины обеспечивают сохранение формы и прочность на длине шпанги.

Шпангоут можно рассчитать (с большим запасом прочности) на статическое давление воды. Высота столба воды равна высоте борта H . По ширине учитывается длина одной шпанги $S_{шп}$. Давление на шпангоут

$$p = \frac{\gamma H^2 S_{шп}}{20}$$

Напряжения изгиба в ветви шпангоута

$$\sigma_{из} = \frac{pH}{2W_{шп}}$$

где $W_{шп}$ — момент сопротивления ветви шпангоута.

Бимсы воспринимают действие различных сил, так как воспринимают все нагрузки, приходящиеся на палубу (вес груза, людей, воды). Кроме того, бимсы, связывая верхние части шпангоутов, воспринимают часть давления воды, сжимающего корпус.

Бимсы должны выдерживать тяжесть стоящего на палубе человека. Не учитывая распределение веса на ряд соседних связей, можно проверить прочность бимса на изгиб

$$\sigma_{из} = \frac{P_0 l_{бим}}{4W_{бим}} < [\sigma_{из}],$$

где $l_{бим}$ — длина бимса между бортами судна;

$W_{бим}$ — момент сопротивления изгибу.

В заключение следует остановиться еще раз на запасах прочности λ . При постройке легкого гоночного судна для вытрезивших вод следует принимать минимальное значение $\lambda=3$. Для крейсерских судов $\lambda=5-6$. Американский конструктор катамаранов Р. Гаррис считает, что любой катамаран, построенный для плавания в открытом море или в закрытых водах, должен выдерживать пяти-шести кратные перегрузки, т. е. λ должно быть равно 5—6.

Перед тем как приступить к окончательному оборудованию катамарана, полезно проверить его общую прочность калывом воды в корпусе до уровня палубы. Катамаран при этом должен опираться в трех оконечностях. Если конструкция выдержала такое испытание без остаточных деформаций, то значит катамаран достаточно прочен.

ГЛАВА V

ОПИСАНИЕ И ЧЕРТЕЖИ КАТАМАРАНОВ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОСТРОЙКИ

Прогулочный катамаран «King Ketch»

Постройка катамарана «King Ketch» (рис. 86—89) не представляет особой сложности для любителей, имеющих минимальный опыт в судостроении. Отличительной особенностью этого катамарана является латинское парусное вооружение, установленное на двух раскосах, замещающих одновременно и раштоут в стоячей такелаж.

Раскосы легко могут быть сняты, для этого нужно только отвинтить гайку соединительного болта в верхней части ямчты. После этого катамаран может ходить с подвесным мотором.

Корпуса катамарана представляют собой герметически закрытые полавки, позволяющие плавание на нем в любое безветрие.

Постройку начинают с изготовления корпусов. Оба корпуса одинаковы, и их обводы таковы, что все шангоуты имеют равные углы наклона к диаметральной плоскости.

Таблица плавности ардеват катамарана «King Ketch»

Номер шпангоута	Высота от ОКГ		Полувьсота от ДПГ	
	борт	скала	борт	скала
0	460	—	19	0
1	462	115	154	126
2	462	77	178	84
3	462	77	170	156
4	460	77	170	154
5	460	77	170	154
6	460	77	170	154
7	460	102	174	125
8	461	—	19	19

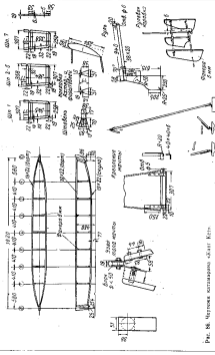
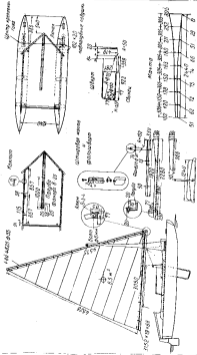


Рис. 88. Чертежи корпуса «Ласт Кет».



Рис. 87. Установка набора по стельке.



Рис. 88. Каркас катamarана без палубы.

Бокоры, донные и палубные планки всех шпангоутных рам указанной длины следует нарезать, применяя для каждого размера одну установку шаблона на верстаке. Шпангоуты должны иметь выпуски за линию палубы для удобства сборки на монтажной раме.



Рис. 89. Обзор вид катamarана.

Начинать изготовление шпангоутных рам нужно с устройства простого шаблона. Два бруска прибивают к верстаку под углом, необходимым для сборки шпангоутных рам № 2—6 обоих корпусов. Полоски фанеры закрепляют и приколачивают гвоздями по верхнему и нижнему бруску каждой рамы. Следует применять латунные или оцинкованные стальные гвозди. При изготовлении шпангоутов № 1 и 7 обоих корпусов необходимо только сдвинуть один из брусков шаблона внутрь, чтобы

получить минимальную ширину рам. В рамках выбирают пазы для верхних и нижних стрингеров связей.

Штепни имеют одинаковые сечения и могут быть сделаны из одного бруска. Как и шпангоуты, штепни для удобства сборки делают с запасом по длине так, чтобы они доходили до монтажной рамы.

Монтажная рама состоит из двух параллельных брусков 50×100 мм, установленных на расстоянии 460 мм и соединенных по концам прочными брусками и диагональными связями из фанеры или алюминия. Поперек рамы в местах установки шпангоутов приколачивают планки 25×100 мм.

Каждую шпангоутную раму устанавливают по натянутому шнуру на необходимом уровне над монтажной рамой. Рамы устанавливают под прямым углом, выравнивают и закрепляют при помощи кусков фанеры или планок. После этого бруски, к которым прикреплен осевой шнур, убирают, чтобы освободить место для штепней, концы которых срезают так, чтобы придать им необходимый угол наклона.

Стрингеры подгоняют к пазам шпангоутных рам, пазы при этом подравнивают напильником и стамеской. Стрингеры крепят к шпангоутам водостойким клеем и обивочными латунными гвоздями длиной 60 мм.

Установка боковой обшивки производится следующим образом. Полосу шириной 385 мм отрезают от листа фанеры толщиной 6—7 мм и длиной 3070 мм. Эту полосу слегка прижимают гвоздями или прижимают струбцинами около среднего сечения корпуса таким образом, чтобы прижал обшивку к набору с носовой и кормовой сторон, можно было охватить форму обвода. Затем обшивку вырезают ножовкой и крепят к набору клеем и дюймовыми латунными гвоздями через 7,5—8 см вдоль каждой связи и шпангоутной рамы. Нижние кромки бортовых обшивок и нижние поверхности стрингеров связей следует подравнять рубанком. Днища корпусов размечают, вырезают и крепят на местах таким же способом, как бортовую обшивку. Головки всех гвоздей следует утопить заподлицо с поверхностью фанеры при помощи тупого бороздочника.

После этого корпус можно снять с монтажной рамы. Для окончательной отделки следует прошпательовать поверхность тонкой стеклянной шкуркой. Головки латунных гвоздей зашлифовывают вровень с фанерой, чтобы после покраски они были незаметны. Выпуски концов шпангоутов, оставленные для крепления корпуса к монтажной раме, отрезают.

Палубы могут быть покрыты более короткими кусками фанеры, поскольку соединительные швы пройдут или по брускам или по подпалубным подушкам.

Подушки укрепляют с нижней стороны палубы. Сначала подгоняют листы палуб и размечают каждую часть полностью, после чего вырезают подушки и временно прибивают их гвоздями с нижней стороны палубных листов. Затем временно прибивают палубы на место.

Корпус устанавливают на ровном полу и закрепляют на расстоянии 1240 мм. Вырезанную по указанным на чертеже размерам палубу кокапита устанавливают в 540 мм от штепня. Далее размечают отверстия под болты диаметром 10 мм в палубе кокапита и просверливают насквозь палубу кокапита, палубы корпусов и подушки. Тщательно промаркирован все части, разбирают конструкцию.

Подпалубные подушки следует рассверлить под головки болтов диаметром 10 мм, предназначенных для крепления кокапита к палубам. Утолщенные головки болтов закрывают накладками из кусков фанеры. Все подушки (исключая две для оцинкованного стоек мачты) прижимают и прибивают длинными обивочными оцинкованными гвоздями сквозь рамы корпусов и палубные (верхние) стрингерные связи. Палубы корпусов приклеивают и прибивают латунными гвоздями. Концы шести болтов, которыми крепится кокапит, выступают над палубой.

Нижние кромки бокового фальшборта и переднего брызгового щита срезают в шпунт и крепят шурупами к кромке палубы кокапита, все углы фальшборта и брызговика срезают под 45°. Выступающие за контур кокапита концы крепежа добавочны к палубе.

Кормовая доска кокапита представляет собой брусок толщиной 10 мм с приклеенной и прибитой к нему фанерной накладкой толщиной 6 мм, доходящей до нижней кромки палубы кокапита. Клей и прошивка гвоздями обеспечивают транцу жесткость, достаточную для крепления к нему подвесного мотора мощностью 3 л. с. Для установки более мощного мотора необходимо дополнительное подкрепление в виде двух уголкового жесткости.

Швертмат колодец собирают на клею и шурупах и устанавливают в кокапите. Боковые стенки швертматного колодца представляют собой планки из твердого дерева толщиной 20 мм с зазором для шверта в 25 мм. Снизу у боковых планок швертматного колодца имеются штыри, предназначенные для фиксации планок вдоль швертовой щели в палубе кокапита. Угол собирают на 50-миллиметровых шурупах, крепящих детали к палубе кокапита и к середине брызговика.

Накладки штепней имеют трапециевидные сечения с оцинкованными базами и углами, но высота трапеции achterштепня меньше чем у форштепня на 10 мм. Накладка achterштепня должна быть укреплена 75-миллиметровыми шурупами и клеем, так как к нему подвешивается руль. Накладка форштепня

штампы на клею и прибиваются оцинкованными гвоздями, головки которых должны быть утоплены. По месту соединения прокладывают тонкую полоску ткани, смоченную в клею. После высыхания клею форштевень обрабатывают рубанком и наждачной бумагой.

При изготовлении баллера руля из полосы сечени 3X15 мм вырезают четыре проушины. Кронштейны для подвески рулей выполняют из латуни или стальной оцинкованной полосы 3X20 мм. В полосу просверливают отверстия для шурупов, крепящих ее к актерштевню, и для подвески руля.

Лучшим материалом для пера руля являются алюминиевые сплавы. Перо может быть также изготовлено из 10—12-миллиметровых фанеры, утолщенной шпиком, или из стального листа толщиной 6 мм. Перо делается ползеным. Рули с румпелью накладывают на свои места; устанавливают параллельно; сверху румпель болтами укрепляют поперечную тягу.

Штыревую мачту (опору гика) склонают из фанеры толщиной 20 и 6 мм. Начиная изготовление дуговой мачты следует с прорезания цилиндрических отверстий в опорных уголниках, укрепляемых на палубе корпусом. Для этого в одной из полок угольника сверлят несколько отверстий и прорезают щель. Для крепления угольника к палубе в другой его полке на расстоянии 50 мм одного от другого сверлят отверстия под 25-миллиметровые шурупы с круглой головкой диаметром 5—6 мм. Крюки, крепящие раскосы, вырезают и изгибают по размерам, указанным на чертеже. Крюки должны быть загнуты настолько, чтобы при небольшом наклоне раскосов во внешнюю сторону они выходили из прорезей в угольниках.

Опоры выпиливают из фанеры толщиной 20 мм по размерам, указанной на чертеже. Передние и задние кромки мачтовых стоек облицовывают декоративными накладками (шпангоутами) полуовального сечения или зашкуривают рубанком. Опорные крюки крепят к мачте следующим образом: к одной опоре крепят оба крюка, а к другой — только задний, затем крюки заводят в соответствующие щели, мачту устанавливают на место и временно соединяют заверну опоры, выравнивая их кромки. Далее последний крюк заводят в щель и скрепляют с опорой сначала струбниной, а затем шурупами. Такой способ гарантирует правильную пригонку.

Обойма фалового шкива одновременно служит соединительным узлом раскосов, причем для разборки мачты требуется отвинтить только одну гайку. Для изготовления этого узла можно взять любой шкивок толщиной не более 13 мм и диаметром 50 мм. Полосу толщиной 4—5 мм и шириной 50 ммгибают по оправке, закругленной на нужной радиус, зажимают шкивок в получившейся скобе и просверливают отверстия для оси блока. Конец болта, служащего осью, должен быть

расклепан, чтобы предотвратил отвинчивание гайки. Обойму блока крепят к одной из стоек двумя болтами намертво, а болт, который присоединяется к обойме второй стойки, крепят к обойме гайкой. Эта гайка утопается в раскосе, а второй гайкой с шайбой раскос крепится к обойме.

Угловой шарнир, соединяющий гик и рей, вырезают из обрезка листового металла. Болт служит в этом соединении в качестве осевого пальца, так что рей может поворачиваться вокруг оси, но подвергаться изгибу.

Выдвижной киль изготовляют из доски толщиной 20 мм и утолщают двумя киловарами липтого шпика. В герметичных корпусах катамарана необходимо предусмотреть вентиляционные отверстия для циркуляции воздуха. Для этого следует приклеить небольшие планки к палубам и просверлить в них отверстия под резакные пробки. Чтобы пробки не торчали, их прижимают шурупом.

Окрашивают катамаран общепринятым способом. Рекомендуется нанести по крайней мере три тонких слоя масляной краски; если есть необходимость, поверхность после первого покрытия шпаклюется. Рангоут покрывают лаком за два-три раза после пропитки его горячей олифой.

Спортивно-прогулочный катамаран «Дуэт»

Катамаран «Дуэт» (рис. 90—92) проектировался с расчетом на любительскую постройку. Это в известной мере определило как размеры, так и форму обводов судна.

Основные характеристики

Длина, м	
наблюдая	5,8
по ГЛЛ	6,5
Ширина корпуса, м	
наблюдая	1,02
по ГЛЛ	0,48
Ширина палубы, м	2,95
Площадь вылета борта, м ²	0,9
Осадка, м	0,4
Площадь вылета, м ²	0,18
в диаметрах, м ²	7,96
в руля, м ²	0,296
в бокового сопредельных, м ²	3,216
Средняя площадь поверхности корпуса, м ²	6,92
Площадь парусности, м ²	22,6
Высота парусов, м	6,26
Водоизмещение, м ³	0,55
Вес судна, кг	315
Коэффициент полноты водоизмещения	0,278

Ватерлинии имеют форму парабол с небольшим смещением ЦВ в нос. Хорошая гидродинамическая форма обводов соче-

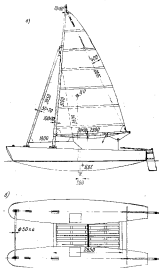
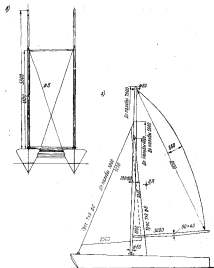


Рис. 92. Чертежи катамарана «Луз»: а, б, в — корпус с осью; г — орудие



матросе вооружение (боксовый вид, план стволу и вид шкотове вооружения.

тается с отсутствием двойной погни по поверхности корпуса. Шпангоуты имеют треугольную форму с одинаковыми углами при вершине (у киля). Палуба выполнена без погни и седловатости.

Таблица главных ординат катамарана «Друж»

Номер шпангоута	Высота от ОП		Полусвета от ДП по борту
	киль	борт	
0	400	992	325
1	395	975	410
2	122	958	465
3	80	940	485
4	30	920	505
5	0	900	500
6	18	883	490
7	65	860	455
8	138	845	400
9	291	825	320
10	400	810	225

Шверты отсутствуют — боковое сопротивление обеспечивается корпусами. Вместе с тем небольшая осадка катамарана делает его пригодным для плавания по мелководью.

Обшивка бортов и палубы изготовлена из водостойкой фанеры толщиной 5 мм. Набор, выполненный из сосновых реек, состоит из 10 шпангоутов, килей, 4 стрягеров и мидельвейсы. Балки набора связаны дюралюминиевыми кинками.

Корпуса связаны тавровыми балками, состоящими из фанерной стойки и основных полок, соединенных на клею с запрессованной шпунтами. Стенка балки, увеличиваясь по высоте, переходит в переборку; полки балки проходят через обшивку внутрь корпуса, соединяясь с переборкой. Таким образом, получается прочное соединение мостика со всеми деталями продольного и поперечного набора.

На мостике между корпусами и балками укладываются решетчатые палубы, через которые уходит попавшая на палубу вода. Корпуса герметически закрыты и имеют только по одному люку с крышками на резине. Коридорной и носовой отсеков представляют собой воздушные ящики, обеспечивающие судам невотопляемость при опрокидывании.

На катамаране предусмотрено два варианта парусного вооружения: одно- и двухмачтовое. При двухмачтовом варианте мачты устанавливаются на палубе корпусов в узлах наибольшей

прочности (над переборками). Мачты связываются планкой и расщепляются вантами, в результате чего образуются подобные формы. В продольном направлении мачты поддерживаются штаг-ирсами.

Замеры парусного вооружения

Наименование	Вариант	
	двухмачтовое	одномачтовое
Площадь стеньга, м ²	2 × 3,5	5,8
« грота, м ²	2 × 8,25	12
Общая парусность, м ²	2 × 11,75 = 23	17,8
Высота ЦП над КВЛ, м	2,7	3,42
« парусов, м	6,26	7,40
Центровка, %	3,5	0

Двухмачтовое парусное вооружение позволяет снизить плечо кренящего момента астра, облегчить мачты, разгрузить поперечный мостик, уменьшить раскливность судна.

Установка двух мачт и отсутствие шверта приводит к уменьшению расстояния по вертикали между ЦП и ЦБС, благодаря чему значительно уменьшается кренящий момент ветра. Гроги имеют свободную нижнюю шкаторину, это позволяет увеличивать размер и регулировать пузо паруса в самой широкой его части.

При одномачтовом варианте мачту устанавливают по середине дополнительной поперечной балки на мостике, конструкция которой аналогична основным поперечным балкам.

Центровка катамарана принята весьма малой (3,5% при двухмачтовом вооружении).

Катамаран удобен для туризма. Во время стоянок на гиках может быть натянута тент, образующий палатку площадью 7 м². Катамаран снабжается подвесным мотором «Москва», который устанавливается на транце мостика.

Пластмассовый катамаран

Основные характеристики

Длина, м	5,40
Ширина, м:	
общая	2,84
корпуса	0,62
Парусность, м ²	14,5
Вес, кг	320

Обводы этого катамарана (рис. 93) позволяют изготовить матрицу для его корпусов по контршаблону. Внутренняя по-

верхность контрблана должна точно соответствовать теоретическому корпусу катамарана.

Построение теоретического чертежа производится следующим образом. Согласно таблице плазовых ординат строят



Рис. 33. Общий вид плазового катамарана.

проекции полушироты и бока. Затем на проекции корпуса для каждого шпангоута размечают верх борта и проводят бортовую ветвь шпангоута под углом 11° к ДП. Из точки пересечения шпангоута с ДП, снятой с таблицы плазовых ординат, радиусом $r=240$ мм делают засечку. Проводят линию параллельно наклонной ветви шпангоута на расстоянии 240 мм от него.

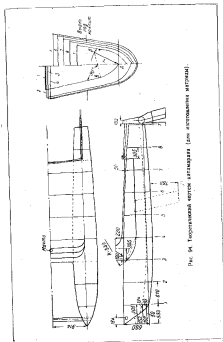


Рис. 34. Теоретический чертеж катамарана (для изготовления выграна).

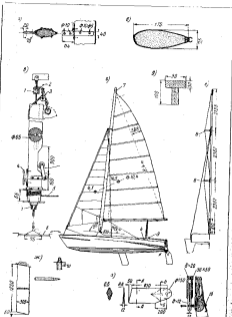


Рис. 97. План корпусности и детали обшивки, рули и швертового устройства: а — крепежные отверстия на мачте; б — сечение мачты; в — штаг; г — план корпусности; д — сечение палубы; е — прокладка штага; ж — шверт; з — руль.

кожуха в переборку (рис. 96). В корпусах прорезают отверстия для швертов и устанавливают швертовый колодец, выклеенный по парафиновой модели из стеклопластика. Стыки колодца с корпусом заделывают смолой и стеклокланью, как об этом говорилось в главе IV. Корпуса покрывают фанерной палубой, а кокпит — фанерной настилом.

В носовой части по бортам выклеивают из стеклоткани и пенопласта брызгоотбойники, а на палубе устанавливают фальшборты.

Мачта катамарана длиной 6857 мм имеет обтекаемое крылообразное сечение (рис. 97), сужающееся к топу до 75×75 мм. Конструкция стенок позволяет ориентировать мачту по ветру. Мачта может быть изготовлена из алюминия или из стекло-ткани с пластмассовым наполнителем. В последнем случае для крепления разрезанной алюминиевой трубки лкпласа в нее вклеивают дубовый брусок толщиной 13 мм. Мачту устанавливают с наклоном 3° к корме. Гик и форштаг сделают из сосны. Паруса из ткани с удельным весом 115—130 г/м² имеют следующие размеры.

Грот:		
площадь, м ²	.....	10,4
передняя шкаторня, мм	.....	5870
задняя шкаторня	.....	3120
гориз. задняя шкаторня, мм	.....	6480
весовая горба, мм	.....	510
Ставки:		
площадь, м ²	.....	4,1
передняя шкаторня, мм	.....	4720
задняя	.....	2130
гориз. задняя	.....	4040

На гроте имеется семь сквозных лат. Поворотный форштаг позволяет убирать стаксель, не выходя из кокпита. Конструкция швертов и рулей видна из рис. 97.

Спортивный катамаран К-3 «Линде Кетс»

Этот катамаран (рис. 98) разработан коллективом конструкторов ГДР во главе с инженером-судостроителем Куртом Дебусом.

Обводы судна проектировались с расчетом на изготовление обшивки из водостойкой фанеры, поэтому теоретический чертеж (рис. 99) построен лучевым методом. Все поверхности корпуса разворачиваются на плоскость. Главные размеры корпуса и линии теоретического чертежа выбирались такими, чтобы получить минимальную смоченную поверхность. Особое внимание уделялось формированию носовых обводов, обеспечивающих отсутствие холмового дифферента на нос. Наиболь-

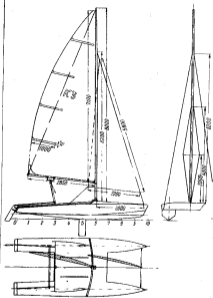


Рис. 98. Катаносаи «Ланза Керв».

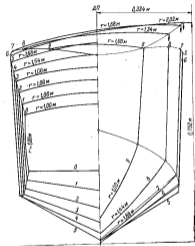


Рис. 99. Температурный лепток (корпус) катаносаи «Ланза Керв».

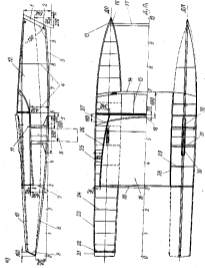


Рис. 100. Конструктивные чертежи катера «Лилейный лист»: а — бортовой чертеж; б — план; в — вид спереди.

1 — обшивка, высота 70 × 10; 2 — шпангоут; 3 — шпангоут; 4 — шпангоут; 5 — шпангоут; 6 — шпангоут; 7 — шпангоут; 8 — шпангоут; 9 — шпангоут; 10 — шпангоут; 11 — шпангоут; 12 — шпангоут; 13 — шпангоут; 14 — шпангоут; 15 — шпангоут; 16 — шпангоут; 17 — шпангоут; 18 — шпангоут; 19 — шпангоут; 20 — шпангоут; 21 — шпангоут; 22 — шпангоут; 23 — шпангоут; 24 — шпангоут; 25 — шпангоут; 26 — шпангоут; 27 — шпангоут; 28 — шпангоут; 29 — шпангоут; 30 — шпангоут; 31 — шпангоут; 32 — шпангоут; 33 — шпангоут; 34 — шпангоут; 35 — шпангоут; 36 — шпангоут; 37 — шпангоут.

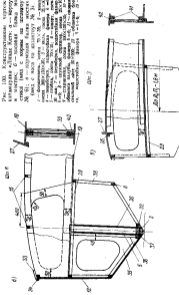


Рис. 101. Конструктивные чертежи катера «Лилейный лист»: а — бортовой чертеж; б — план; в — вид спереди.

1 — обшивка, высота 70 × 10; 2 — шпангоут; 3 — шпангоут; 4 — шпангоут; 5 — шпангоут; 6 — шпангоут; 7 — шпангоут; 8 — шпангоут; 9 — шпангоут; 10 — шпангоут; 11 — шпангоут; 12 — шпангоут; 13 — шпангоут; 14 — шпангоут; 15 — шпангоут; 16 — шпангоут; 17 — шпангоут; 18 — шпангоут; 19 — шпангоут; 20 — шпангоут; 21 — шпангоут; 22 — шпангоут; 23 — шпангоут; 24 — шпангоут; 25 — шпангоут; 26 — шпангоут; 27 — шпангоут; 28 — шпангоут; 29 — шпангоут; 30 — шпангоут; 31 — шпангоут; 32 — шпангоут; 33 — шпангоут; 34 — шпангоут; 35 — шпангоут; 36 — шпангоут; 37 — шпангоут.

Шаг дельты выбиралась из расчета получения максимального водоизмещения на ходу не более 500 кг.

Основные характеристики

Наибольшая длина, м	5,6
Длина по ГВЛ, м	5,3
Наибольшая ширина, м	2,4
Конструктивная ширина между корпусами, м	1,8
Осадка корпусом, м	0,467
Вес корпуса в сборе, кг	100
Площадь грота, м ²	14
• стальной, м ²	5,5
Общая площадь парусности, м ²	19,5

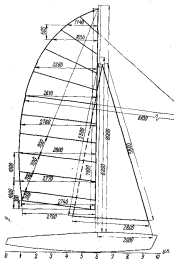


Рис. 101. План корпусности катамарана «Линде Кейт».

Шапка 360 мм. Закругление бортовых и донных ветвей теоретически эллипсоидов производится по радиусам, указанным на чертеже. Центр можно определить геометрическим построением из двух точек.

Постройку судна начинают с изготовления деталей. Затем устанавливают на станке киль и крепят к нему три переборки (рис. 100). Монтируют швертовый колодец со всеми деталями крепления. После постановки стрингеров корпус обшивают с бортов. Наконец корпус переворачивают вверх дном и обшивают днище.

После того как сборка корпусов закончена, их устанавливают на ровной площадке, вымеряют и связывают деталями мостика (поперечными балками). В последнюю очередь обшивают днище мостика.

Катамаран «Линде Кейт» (рис. 101) весьма быстроходен. В лагировку он идет со скоростью 10—12 узл. при ветре силой 5 баллов. На полупных курсах скорость достигает 16—18 узл. Наибольшая скорость более 20 узл. Средняя путевая скорость на переходе Висмар — Варнемюнде составила 10 узл. Поведение на волне и море не вызывает опасений за остойчивость судна. Катамаран отличается хорошей маневренностью: поворот оверштаг осуществляется за 4 сек. Плавание на нем безопасно, так как он не тонет и может быть легко поставлен на ровный киль с помощью другого судна. За время эксплуатации катамаран четыре раза опрокидывался, но каждый раз его быстро ставили на ровный киль. Судно удобно для прибрежного плавания.

ПРИЛОЖЕНИЕ
СОВРЕМЕННЫЕ ПАРУСНЫЕ КАТАМАРАНЫ
(ЧЕРТЕЖИ И ОПИСАНИЯ)

«Бел Кет»

Основные элементы и характеристики катамарана «Бел Кет» даны в табл. 2. Отличительной чертой этого катамарана (рис. 2) является простота конструкции, что делает его особенно привлекательным для любителей мелкого судостроения. V-образные шпангоуты расходятся под одинаковым углом от киля. При постройке они могут быть собраны на одном шаблоне. Килеватые корпуса обеспечивают катамарану большое боковое сопротивление и позволяют отказаться от установки швертового колодца, что также немало упрощает постройку судна.

Наиболее глубоко сидящая часть корпуса находится на расстоянии $0,4 L$ от носа, благодаря этому каждая ватерлиния имеет хорошо обтекаемую форму. Кроме того, принятая форма обеспечивает судну хорошую всхожесть на волну, чему также способствует большой наклон форштевня.

Поперенный мостик катамарана «Бел Кет» отличается своими большими размерами. Он установлен с наклоном 4° в корму и имеет лыкообразный загиб в носовой части. Такая конструкция обеспечивает создание подъемной силы при плавании катамарана на большой скорости и уменьшает возможность зарывания судна в воду на волне. Мостик имеет очень прочный набор, поэтому его вес равен весу обоих корпусов.

Основу мостика составляют три поперечные стальные трубы диаметром 47 мм, в которые входят трубы меньшего диаметра, установленные в корпусах. Благодаря такой конструкции катамаран может быть быстро разобран на три части (два корпуса и мостик), что удобно для перевозки его по суше.

При постройке этого и других вариантов катамаранов типа «Бел Кет» конструктор Уффи Фокс пользовался следующими соотношениями основных характеристик судна:

— ширина обшая равна половине длины по ГВЛ;

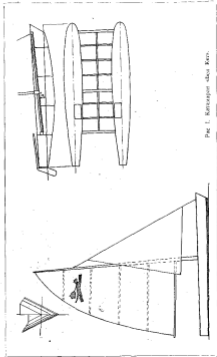
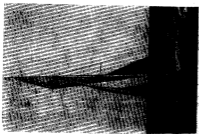
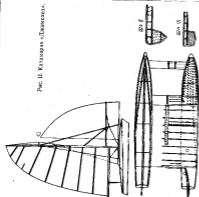


Рис. 1. Катамаран «Бел Кет».

Рис. II. Катамаран «Джампхед».



- ширина каждого корпуса равна четверти общей ширины;
- осадка не менее четверти ширины корпуса;
- площадь парусов — 3 м^2 на каждый метр длины по ГВЛ;
- диаметр мачты — 14 мм на метр длины по ГВЛ;
- длина передней шкаторины грота равна длине по ГВЛ.

На катамаране «Бел Кит» была достигнута скорость более 15 узл., однако аварии, которые происходили с рвангоутом и такелажем из-за повышенной нагрузки, свидетельствуют о необходимости делать эти детали по крайней мере на 50% жестче, чем у швертбота равной длины.

«Джампхед»

Существуют два варианта катамаранов (рис. II) этого типа: гоночный и прогулочный.

Основные характеристики	Вариант	
	гоночный	прогулочный
Длина наибольшая, м	4,88	4,88
Ширина, м:		
общая	2,34	2,34
корпуса наибольшая	0,61	0,61
» по ГВЛ	0,96	0,56
Площадь парусов, м ² :		
общая	15,5	30,96
грот	9,94	7,8
спинсель	5,56	3,15
Вес, кг:		
без вооружения	112,5	160
с вооружением	171,5	206

Прогулочный катамаран имеет удобные сиденья в кормовой части, двойное дно в корпусах. На катамаранах обоих вариантов предусмотрена установка подвесного мотора и разборного тента размерами $2,29 \times 2,16 \text{ м}$.

Каждый корпус делится водонепроницаемыми переборками на шесть отсеков; кроме того, имеется водонепроницаемый рундук. Набор корпуса выполнен из канадской сосны, обшивка фанерная. В носовой части шпангоуты у яля образуют угол 80° , в кормовой части — 150° .

В свежий ветер на полных курсах при смещении командки в корму такая конструкция обеспечивает хорошие условия для гласирования.

Наибольшая скорость, достигнутая на «Джампхед» с двумя человеками на борту, равна 19 узл.



Рис. III. Катамаран «Шарактер-III».

«Шарактер-III»

Основные элементы и характеристики катамарана «Шарактер-III» указаны в табл. 2. Он имеет почти полукруглые сечения шпангоутов (рис. III). Обладает хорошими маневренными качествами. Необходимое боковое сопротивление обеспечивается швертом, установленным посредине мостика. Катамаран оборудован двумя рулями, румили которых соединены поперечной тягой.

Размеры катамарана позволяют без особого труда перевозить его на трейлере или даже на крыше автомобиля. В то же время кокпит достаточно широк для того, чтобы при использовании судна для прогулок оборудовать на нем легкий тенс.

«Осолоз»

Основные элементы и характеристики катамарана даны в табл. 2. Корпуса «Осолоз» (рис. IV) имеют симметричную относительно ДП форму. Благодаря полукруглому поперечному сечению их смоченная поверхность близка к минимальной для судна данных размеров и составляет 6,32 м². В ДП каждого корпуса установлены швертовые колодки, однако на такой воде судно хорошо слушается руля и с поднятыми швертами. Приведение и удержание катамарана можно хорошо регулировать, поднимая и опуская шверт, так как площадь одного шверта создает достаточное боковое сопротивление.

Судно построено из 4,5-миллиметровой фанеры с легкими продольными и поперечными связями из реек. В настоящее время для постройки катамаранов этого типа используется трехмиллиметровая фанера, облицованная пластмассовым покрытием. Мостик между корпусами имеет решетчатую конструкцию, что обеспечивает быстрый слив воды с палубы.

«Тайгеркет»

Гонимый катамаран «Тайгеркет» (рис. V) спроектирован американским конструктором Робертом Гаррисом. Основные данные катамарана приведены в табл. 2.

Корпуса и мостик судна выполнены из пластмассы. Вращающаяся мачта имеет обтекаемую форму, паруса снабжены склееными латями. Для профилированных асимметричных швертов из легких сплавов установлены под небольшим углом к ДП.

Круглые обводы корпуса позволяют получить минимальную смоченную поверхность. Отношение площади парусности к смоченной поверхности равно 3,62.

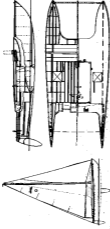
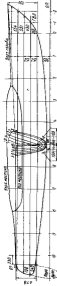


Рис. IV. Корабль «Юнона»

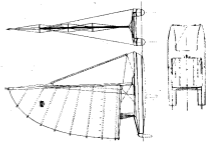
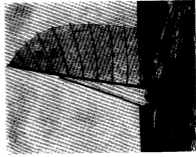


Рис. V. Корабль «Табитса»

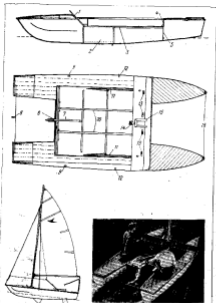


Рис. VI. Прогулочный катамаран.

1 — обшивка балки; 2 — внутренний кильник; 3 — днище мостика; 4 — обшивка балки; 5 — внутренняя переборка; 6 — вклеенный шверт; 7 — рундук; 8 — блок такельмажера; 9 — шкаторина обшивки; 10 — продольный набор мостика; 11 — шверт; 12 — внутренняя обшивка; 13 — утка; 14 — фаловая обшивка; 15 — стеньга; 16 — тросовый киль-бутик.

Катамаран отличается большой быстроходностью и остойчивостью, хорошей маневренностью и легкостью управления. Просторный настил удобен для обслуживания судна во время гонок.

В 1959 году в различных гонках парусных судов разных размеров и типов «Тайгерет» занял первое место, обогнав 47 яхт.

Прогулочный катамаран из фанеры или пластмассы

Основные характеристики

Длина, наибольшая, м	4,0
Ширина, м	1,86
Осадка, м:	
без шверта	0,20
со швертом	0,65
Площадь парусов, м ²	10,50
Вес, кг	105

На среднем мостике прогулочного катамарана (рис. VI) может быть установлен вспомогательный подвесной мотор.

Поимеваемые чертежи дают представление о конструкции судна. Корпуса катамарана имеют округлые обводы. Для увеличения бокового сопротивления предусмотрено два выдвижных шверта.

Конструкция среднего мостика выполнена заодно с корпусами катамарана. Большая жесткость и малый вес пластмассовой обшивки позволяют отказаться от часто поставленного набора; поперечная прочность корпусов обеспечивается тремя сплошными переборками, расположенными по обе стороны швертового колодца и в кормовой части мостика.

«Ману Кай»

Основные элементы и характеристики катамарана «Ману Кай» даны в табл. 2. Корпуса катамарана (рис. VII и VIII) имеют асимметричную относительно ДП форму с вертикальным наружным и плоским изогнутым внутренним бортом.

Такая конструкция позволяет отказаться от швертового устройства, так как необходимое боковое сопротивление обеспечивается вертикальными бортами. Набор корпуса и мостика катамарана выполнен из реек, обшивка — из 9- или 13-миллиметровой фанеры.

«Лани Кай»

Катамаран «Лани Кай» (рис. IX), прототипом которого является катамаран «Ману Кай», имеет ассиметричные корпуса с плоским наружным и изогнутым внутренним бортом.

Принятые размеры и расположение жилых помещений (рис. X и XI) обеспечивают ему лучшие условия для дальнего плавания и позволяют считать «Ланг Кан» одним из наиболее удачных современных крейсерских катамаранов.

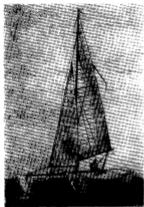


Рис. VII. Катамаран «Мату Кан».

Основные характеристики

Длина, м:	
пообшивки	14,36
по ГВЛ	10,9
Ширина пообшивки, м	5,49
Осадка, м:	
без шверта	0,61
со швертом	1,5
Водоизмещение, т	4,69

Катамаран вооружен шлюпом, площадь парусности 86 м². В качестве вспомогательного двигателя на мостике установлен

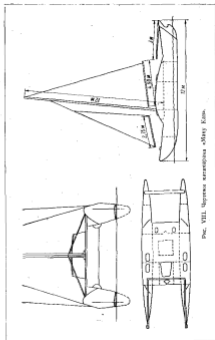


Рис. VIII. Чертежи катамарана «Мату Кан».

подвесной мотор фирмы «Джонсон» мощностью 40 л. с. с удлиненной ногой (рис. XII). Для обеспечения судна электроэнер-

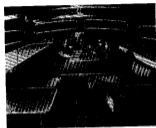


Рис. XI. Кают-компания.

гой предусмотрен дизель-генератор мощностью 2,5 л. с. Максимальная скорость хода под парусами, полученная во время первого плавания в Атлантическом океане, составила 21 узел.



Рис. XII. Нос подвесного мотора в рабочем положении.

реборки — 13 и 25 мм. Фанерная рубка сверху покрыта слоем пенопласта толщиной 75 мм.

В каждом корпусе с носа в корму размещены: односпальная койка шириной 0,87 м, двухспальная койка шириной 1,38 м

(выходящая на мостик), коридор, туалет с душевой. Высота прохода 2,13 м.

Каждый корпус соединен трапом с рубкой на мостике. Основная площадь рубки занята кают-компанией. Здесь установлен стол длиной 1,8 м, вокруг которого плут диваны, а над ними — койки. Всего на катамаране предусмотрено 10 постоянных спальных мест.

На судне имеются два холодильника, емкостью по 142 л, 4 цистермы питьевой воды общим объемом 0,8 м³ и цистерна топлива объемом 0,18 м³.

«366 вид Фау»

Основные элементы и характеристики катамарана даны в табл. 2. У этого катамарана (рис. XIII и XIV) все жилые помещения расположены в корпусах, служебные помещения находятся на среднем мостике.

Катамаран имеет шесть спальных мест. Корпуса набраны по поперечной системе. Шпангоутные рамки составлены из шпангоутов и бимсов, соединенных жесткими втулками; днищевой ветвью шпангоутных рамок служат флоры, которые доходят до ватстака второго дна. Продольными связями служат киль, скуловые и привальные брусья. Листы фанерной обшивки палубы, бортов, наружного и второго дна скреплены с этими связями в шпунт на клею и зашпаклеваны шпаклевкой. Зазоры между торцом листа и кромкой шпунта заделаны шпаклевкой на водостойком клею.



Рис. XIII. Катамаран «366 вид Фау».

Корпуса имеют симметричные относительно ДП обводы несложной формы, борта — с развалом, днище — с подъемом в кормовой и носовой частях.

Для увеличения высоты жилых помещений, расположенных в средней части корпусов, палубе придана обратная седловатость. Такая конструкция обеспечивает также повышенную прочность за счет удаления ватстака палубы от нейтральной оси.

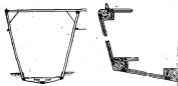
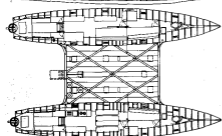


Рис. XIV. Чертежи катамарана «366 зид Флюр».

Жесткость обшивки дна мостика обеспечивается продольными ребрами, а жесткость настила палубы — часто поставленным поперечным набором. Для увеличения общей прочности мостика устанавливаются диагональные фермы, высота которых равна расстоянию между шпангоута набора дна и палубы мостика.

Прочность соединения мостика с корпусами обеспечивается сплошным поперечным набором под палубами мостика и корпусов, а также креплением диагональных балок и обшивки мостика к корпусам. Для уменьшения концентрации напряжений в углах соединения мостика с корпусом сделаны плавные переходы обшивки мостика в обшивку корпуса. Такая конструкция оказалась удачной: во время испытаний при постановке судна на опоры носом одного корпуса и кормой другого оконечности провисали не более чем на 30 мм.

Наиболее интересной особенностью катамарана «366 зид Флюр» является его парусное вооружение. На палубах корпусов установлены две мачты, связанные между собой прочными горизонтальными поперечными шкверами и вангами. В продольном направлении мачты удерживаются только фор- и ахтерштагами. Каждая мачта вооружена шлюком. На крутых отклонениях ветра курсах благодаря повышенной скорости воздушного потока на подветренной стороне одного паруса ощутимо увеличивается тяга другого.

«Мисти Миллер»

Основные характеристики

Длина наибольшая, м	8,85
• по ГВЛ, м	7,32
Ширина, м	3,80
Осадка, м	1,83
Водоизмещение, т	2,75
Площадь парусов, м ²	42

Конструкция крейсерского катамарана (рис. XV), построенного М. Хендерсоном, предусматривает обеспечение максимальной надежности судна. Для повышения устойчивости и во избежание опрокидывания при сильном ветре на обоих корпусах катамарана установлены олавиноконные фальшкильцы со свинцовым балластом общим весом 750 кг.

На топе мачты установлен поплавок, который предотвращает опрокидывание катамарана килем вверх и удерживает судно в горизонтальном положении.

На мостике расположена рубка, которая по бортам доходит примерно до ДП каждого корпуса. В центре рубки находится стол, позади него — два кресла, которые могут быть превращены в спальные места. Четыре других спальных места распо-

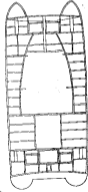
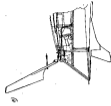
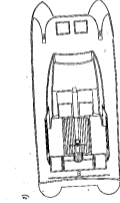
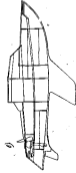
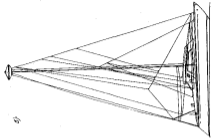


Рис. XV. Катерами «Амурс» а — корпус об-
 общей вид; б — вид сверху; в, г — варианты об-
 щего расположения; д — план палубы со стан-
 той обвязкой; е — план обвязки с фланцевой
 или анкерной и распорными колоннами
 мотра.

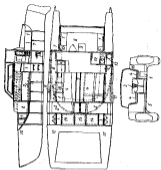
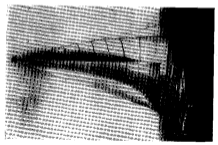


Рис. XVI. Катамаран «Симметрия».

1 — плавки; 2 — консольная планка; 3 — палуба; 4 — корпусные шпангоуты; 5 — дуги; 6 — корпусные шпангоуты; 7 — киль; 8 — корпусные шпангоуты; 9 — корпусные шпангоуты; 10 — корпусные шпангоуты; 11 — корпусные шпангоуты; 12 — корпусные шпангоуты; 13 — корпусные шпангоуты; 14 — корпусные шпангоуты; 15 — корпусные шпангоуты; 16 — корпусные шпангоуты; 17 — корпусные шпангоуты; 18 — корпусные шпангоуты; 19 — корпусные шпангоуты; 20 — корпусные шпангоуты; 21 — корпусные шпангоуты; 22 — корпусные шпангоуты; 23 — корпусные шпангоуты; 24 — корпусные шпангоуты; 25 — корпусные шпангоуты; 26 — корпусные шпангоуты; 27 — корпусные шпангоуты; 28 — корпусные шпангоуты; 29 — корпусные шпангоуты; 30 — корпусные шпангоуты; 31 — корпусные шпангоуты; 32 — корпусные шпангоуты; 33 — корпусные шпангоуты; 34 — корпусные шпангоуты; 35 — корпусные шпангоуты; 36 — корпусные шпангоуты; 37 — корпусные шпангоуты; 38 — корпусные шпангоуты; 39 — корпусные шпангоуты; 40 — корпусные шпангоуты; 41 — корпусные шпангоуты; 42 — корпусные шпангоуты; 43 — корпусные шпангоуты; 44 — корпусные шпангоуты; 45 — корпусные шпангоуты; 46 — корпусные шпангоуты; 47 — корпусные шпангоуты; 48 — корпусные шпангоуты; 49 — корпусные шпангоуты; 50 — корпусные шпангоуты; 51 — корпусные шпангоуты; 52 — корпусные шпангоуты; 53 — корпусные шпангоуты; 54 — корпусные шпангоуты; 55 — корпусные шпангоуты; 56 — корпусные шпангоуты; 57 — корпусные шпангоуты; 58 — корпусные шпангоуты; 59 — корпусные шпангоуты; 60 — корпусные шпангоуты; 61 — корпусные шпангоуты; 62 — корпусные шпангоуты; 63 — корпусные шпангоуты; 64 — корпусные шпангоуты; 65 — корпусные шпангоуты; 66 — корпусные шпангоуты; 67 — корпусные шпангоуты; 68 — корпусные шпангоуты; 69 — корпусные шпангоуты; 70 — корпусные шпангоуты; 71 — корпусные шпангоуты; 72 — корпусные шпангоуты; 73 — корпусные шпангоуты; 74 — корпусные шпангоуты; 75 — корпусные шпангоуты; 76 — корпусные шпангоуты; 77 — корпусные шпангоуты; 78 — корпусные шпангоуты; 79 — корпусные шпангоуты; 80 — корпусные шпангоуты; 81 — корпусные шпангоуты; 82 — корпусные шпангоуты; 83 — корпусные шпангоуты; 84 — корпусные шпангоуты; 85 — корпусные шпангоуты; 86 — корпусные шпангоуты; 87 — корпусные шпангоуты; 88 — корпусные шпангоуты; 89 — корпусные шпангоуты; 90 — корпусные шпангоуты; 91 — корпусные шпангоуты; 92 — корпусные шпангоуты; 93 — корпусные шпангоуты; 94 — корпусные шпангоуты; 95 — корпусные шпангоуты; 96 — корпусные шпангоуты; 97 — корпусные шпангоуты; 98 — корпусные шпангоуты; 99 — корпусные шпангоуты; 100 — корпусные шпангоуты.



ложены в корпусах катамарана, по два в нос и в корму от рубки. В мостике предусмотрено место для установки подвесного мотора.

Результаты плавания Катамарана еще не известны, однако большая протяженность мостика, едва не доходившего до форштевяей, может ухудшить устойчивость судна на волну, а также подвергает его опасности получить на волнении жесткие динамические удары.

«Симметрия»

Основные характеристики

Длина наибольшая, м	10,1
Ширина общая, м	1,38
Осадка, м	0,39
Водоизмещение, м	2,54
Площадь корпуса, м ²	52,5

Общий вид и чертежи общего расположения катамарана «Симметрия» показаны на рис. XVI.

ЛИТЕРАТУРА

- Андреевко П. Г., Ударной Е. П., Ветшев Ю. И. и дифферента на скорость хода кат. «Судостроение», № 9, 1961.
- Бойдуковский Я. И., Перинц Р. Я., Титов И. А. Строение и ходы корабля, Судостроение, 1960.
- Григорьев А. А., Коровельский Д. Н., Френкель А. А. Парусный спорт. «Физкультура и спорт», 1959.
- Ерлан Д. Д., Иванов И. П., Исмаил П. Э., Ключевая древесина в катеростроении, Судостроение, 1956.
- Крэмчек Ю. С., Может ли корпус судна или быстрос астра? «Судостроение», № 6, 1961.
- Крэмчек Ю. С., О быстротходности корпусов кат. «Судостроение», № 2, 1961.
- Мирохин Б. В., Некоторые особенности динамики корпусов судна с большими скоростями, «Судостроение», № 9, 1961.
- Павлов А. И., Конструкция двухкорпусных судов, «Судостроение», № 8, 1960.
- Павлов А. И., Малые суда из картона и фанеры, Судостроение, 1959.
- Терсатская Г. П., Морские деревянные суда, Судостроение, 1961.
- Федосеевский К. К., О движении корпусов кат с большими скоростями, «Судостроение», № 9, 1961.
- Шоддинг Ф. М., Теоретический чертеж малых судов, Судостроение, 1958.
- Адам П., Катamarаны (P. Adam, Les catamarans, Paris, 1959).
- Атвэн Дж., Типы полинезийских катмаранов, «Motor Boatings», V, 1953.
- Гаррис Б., Современные корпусы катмаранов (B. Harris, Modern Sailing Catamarans, N. J., 1958).
- Два катмарана длиной 16 футов, «Rudders», X, № 10, 1951.
- Дорджест Кр., Некоторые конструктивные соображения о двухкорпусных судах, «Der Segelboots», № 12, 1959.
- Дорджест Кр., Типы современных катмаранов, «Der Segelboots», № 10, 1959.
- Катмаран длиной 22 м, «Motor Boat and Yachting», II, т. 87, № 2034, 1954.
- Катмаран «Аксарус» длиной 9,75 м, «Yachting», т. 55, № 1, 1954.
- Катмаран Грэн и Гарриса водоизмещением 500 кг, «Rudders», IV, 1951.
- Катмаран из стекловолокна, «Yachting», т. 95, № 1, 1954.
- Катмаран «Проква» длиной 5,0 м, «Le Yacht», 1371, № 3340, 1951.
- Катмаран длиной 58 футов, «Yachting», VII, 1950.
- Катмаран — кат футуризм, «Le Yacht», 977V, № 3458, 1955.
- Крутейший в мире катмаран, «Rudders», X, 1958.
- Куттер Е., Организация и проведение гонок на катмаранах, «Jachting», I, 1963.
- Крейсерский катмаран длиной 9,2 м, «Rudders», I, 1954.
- Морвуд Дж., Конструкция катмаранов (Morwood J., Catamaran Construction, L., 1955).

- Новые виды катмаранов, «Yachting», т. 96, № 4, 1951.
- Ольсен, Некоторые соображения о двухкорпусных судах, «Yachting», XI, 1957.
- Океанский катмаран «206» код Фокс, «Motor Boat and Yachting», II, № 2034, 1954.
- «Оксел» — катмаран водоизмещением 318 кг, «Yachting», XII, 1957.
- Переход через Тихий океан на катмаране «Ваикана Сеп», «Yachting», 4, 1956.
- Пластмассовый катмаран длиной 17 футов, «Sea and Pacific Motorboats», IV, 1960.
- Пластмассовый катмаран длиной 12 футов, «Yachting», III, 1960.
- Постройки и испытания катмарана «Фемма», «Sea and Pacific Motorboats», IV, 1958.
- Среднеокеанский катмаран, «Yachting World», XII, 1954.
- Тоттлелл Т., Фокс для катмаранов, «Wood», т. 30, № 1, 1959.
- «Тур-Бор» — самый крейсерский катмаран, «Le Yacht», № 3423, 1954.
- «Sighaling and Shipping Records», т. 83, № 5, 1954.
- Трансатлантический переход на катмаране «Котула», «Le Yacht», № 3246, 1951.
- Тремаран Максулоа, «Rudders», XII, 1958.
- Тренинг Бедз — 16-футовый катмаран, «Rudders», № 11, 1951.
- Фокс У., Катмаран для азиатской постройки, «Motorboat and Yachting», III, 1958.
- Херстофф Ф., Как построить катмаран с парусностью 25 м², «Rudders», V, 1949.
- «Иккан» — катмаран водоизмещением 363 кг, «Yachting Monthly», I, № 907, 1956.
- Чоб Р., Катмаран сегодня (т. 1, «Скорость под парусами»), «Yachting», XII, 1958.
- Экспериментальный катмаран длиной 7 м, «Le Yacht», № 3474, 1955.
- Экспериментальный катмаран «Галакс Маклер», «Yachting World», № 2583, 1957.
- Фингер Дж., Катмараны (Finger J. Catamarans, N. J., 1959).

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава I. Типы катamarанов	7
Древние катamarаны Тихого океана и древние европейские катamarаны	7
Современные парусные катamarаны	12
Глава II. Основы теории двухкорпусных судов	21
Движение судна под парусами	—
Основы гидродинамики корпуса	25
Крепкий момент ветра	37
Типы парусного вооружения	38
Плавучесть катamarана	41
Остойчивость катamarана	49
Незатопляемость катamarана	55
Поворотливость катamarана	59
Устойчивость катamarана на курсе	66
Ходовые качества катamarана	89
Катamarаны с несущими плоскостями	98
Мореходность катamarанов	109
Глава III. Проектирование катamarанов	114
Последовательность разработки проекта	—
Главные размеры и их соотношения	115
Определение главных размеров типовых катamarанов	119
Определение главных размеров крейсерских катamarанов	123
Плавучесть корпуса и жесткость	126
Построение теоретического чертежа	134
Проектирование парусного вооружения	145
Расчет яхты надувной и золоченой ШТ	154
Расчет плавучести и дифферента судна	166
Проверка остойчивости катamarана	173
Расчет ходовых качеств катamarана	178
Глава IV. Конструкция катamarанов	193
Материалы для постройки	—
Конструкция корпуса катamarана	201
Конструкция мостика катamarана	205
Устройство швертов и рулей	209
Устройство парусного вооружения катamarана	215
Установка вспомогательного двигателя	221
Проектирование корпусных конструкций катamarана	225
Постройка катamarана	231
Проверка прочности катamarана	232

Глава V. Описание и чертежи катamarанов для самостоятельной постройки	249
Проголовчатый катamarан «Жанн Кет»	—
Спортивно-прогулочный катamarан «Дуэт»	257
Подъемный катamarан	263
Спортивный катamarан К-3 «Лавин Кет»	269
Приложения. Современные парусные катamarаны (чертежи и описание)	276
«Бел Кет»	—
«Джамала»	279
«Шарлотт-III»	281
«Оскар»	—
«Тайгерит»	—
Проголовчатый катamarан из фанеры или пластика	285
«Ману Кет»	—
«Лавин Кет»	291
«300 мид Флюр»	293
«Мисти Миллер»	297
«Симметри»	298
Литература	298