

Особенности проектирования

Альберт Назаров, канд. техн. наук



Глиссирующих катамаранов

Автор статьи руководит конструкторским бюро «Albatross Marine Design» (Таиланд), специализирующимся на разработке проектов малых судов для рынков Азии, Европы, США, Австралии и Африки, по проектам которого в среднем спускается на воду одно новое судно ежемесячно. За год КБ разрабатывает более 20 проектов малых судов, из них 60% – катамараны, моторные и парусные. Опыт проектирования глиссирующих катамаранов он и делится с читателями.

Глиссирующие моторные катамараны как отдельный тип малых судов сформировались в 80-х гг. XX в. с появлением достаточно мощных и компактных моторов. Эти суда оказались чрезвычайно востребованы на открытых акваториях вблизи океанского побережья, где любители рыбалки вынуждены преодолевать волнение (рис. 1, 11). Благодаря своей надежности и мореходности катамараны заслужили репутацию великолепных спасательных, патрульных и служебных судов (рис. 2). Успешно используются они и в качестве паромов и «водных такси» (рис. 4, 6), а просторная палуба делает их идеальными судами для обслуживания дайвинга (рис. 3). Нередко можно встретить и моторные яхты, выполненные на основе катамаранной схемы.

Наибольшим опытом постройки моторных катамаранов, от небольших трейлерных моделей до быстроходных паромов на 400 пассажиров и более, обладают, пожалуй, судостроители Австралии. Заметим, что здесь и служба Береговой охраны имеет на вооружении катамараны. В Скандинавии «катамаранная тема» распространяется главным образом на быстроходные пассажирские паромы. В США на рынке глиссирующих катамаранов представлены в основном трейлерные лодки длиной 6–9 м, используемые для рыбной ловли. В ЮАР и странах Юго-Восточной Азии постройка быстроходных катамаранов становится все более значимым сегментом малого судостроения.

Главными неоспоримыми преимуществами глиссирующих катамаранов являются высокие ходовые качества и плавный ход на волнении; повышенная остойчивость и безопасность; высокая полезная площадь палубы/кокапита. При этом имеющиеся недостатки не представляются серьезными, и, как правило, владельцы «катов», однажды «подсевшие» на них, уже не изменяют своему выбору. Итак, поговорим о достоинствах и недостатках судов этого типа подробнее и сразу заметим, что не будем рассматривать экстремальные гоночные суда – это особая тема.

Архитектура и обводы

Катамараны, практичные по своей природе суда, приобретаются, как правило, для того чтобы ходить, а не стоять в марине. Отсюда очевидна приверженность их конструкторов к практичному стилю экстерьера, как нельзя лучше сочетающемуся с высокоротными широкими корпусами. Формы обводов глиссирующих катамаранов отличаются многообразием и отражают многолетний фирменный опыт разных конструкторов и производителей. Наиболее распространенные корпуса можно разделить на следующие типы (рис. 5):

- симметричные – форма днища и бортов корпуса симметрична относительно ДП корпусов (рис. 1, 3, 4, 10);
- асимметричные – как правило, внутренняя часть бортов выполняется более плоской, чем наружная;



Рис. 1. Катамаран пр. «С620». Серийно строится для азиатского, австралийского и европейского рынков. Спроектирован «под 40-футовый контейнер» – в него при перевозке помещаются два катамарана, у которых кормовая часть корпуса (так называемый «род») сделана съемной и крепится на болтах. Длина корпуса (с кормовой секцией) – 5,70 (6,20) м, ширина – 2,30 м; ПМ – 2 х (85–115) л.с.; скорость – до 40 уз.



Рис. 2. Катамаран-спасатель «R38». Длина – 12,2 м; ширина – 3,8 м; двигатели – 2х315 л.с.; максимальная скорость – 38 уз. Используется для патрулирования Андаманского побережья Таиланда и оказания оперативной помощи терпящему бедствие судну; снятия с него людей до подхода основных сил спасателей. Оборудован средствами оказания реанимационной помощи.



Рис. 3. «Дайверский» рабочий катамаран «FC1000». Длина – 10,0 м, ширина – 3,3 м, пассажироместность – 18 чел. с оборудованием и 2 члена экипажа, макс. скорость – 38 уз; ПМ – 2х50 л.с.

• «Split hull» (дословно «разрезной корпус») катамаран асимметричного типа с плоскими внутренними поверхностями корпусов (рис.2, 11).

В значительной мере выбор типа обводов зависит от предпочтений конструктора. Наш опыт показывает, что для катамаранов длиной 6–12 м, предназначенных для движения на скоростях до 30–35 уз, симметричные обводы предпочтительнее. Асимметричные обводы получают преимущество на судах, движущихся со скоростями более 40 уз.

Углы килеватости на транце большинства мореходных катамаранов составляют более 20°. Как правило, форма днища корпусов без поперечных реданов сохраняется постоянной от миделя в корму. Положение ЦВ по длине корпуса составляет $(0,35–0,45)L$ от транца.



Рис. 4. Катамаран-паром «NF1300». Предназначен для перевозки пассажиров в прибрежных акваториях и заливах. Длина – 13,37 м, ширина – 4,50 м, водоизмещение порожнем – 9500 кг; стац. двигатели – 2х(550–715) л.с.; расчетная скорость – до 45 уз.

Один из ключевых моментов проектирования катамарана – это выбор пропорций тоннеля, осуществляемый на стадии эскизного проектирования. Минимально допустимое соотношение ширины тоннеля s к его длине L обычно составляет $s/L = 0,1$. Этот вывод подтверждается результатами экспериментальных исследований, приведенными в [2]. Австралийские строители катамаранов пользуются другим простым правилом: ширина тоннеля должна быть равна ширине корпуса по КВЛ. Очевидно, что этот принцип не работает на катамаранах с ограниченной габаритной шириной корпуса. Увеличение же ширины

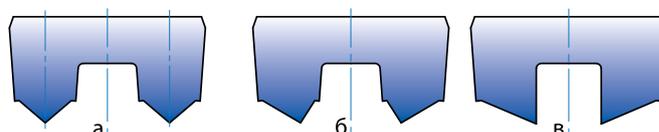


Рис. 5. Типы корпусов глиссирующих катамаранов: а – симметричный; б – асимметричный; в – «split hull».



Рис. 6. Катамаран «FC1000» в исполнении «водное такси». Длина – 10,0 м, ширина – 3,3 м, пассажироместность – 20–30 чел. Эти суда эксплуатируются в Таиланде, на Филиппинах, в Камбодже и Нигерии. На фото хорошо виден носовой волнорез.

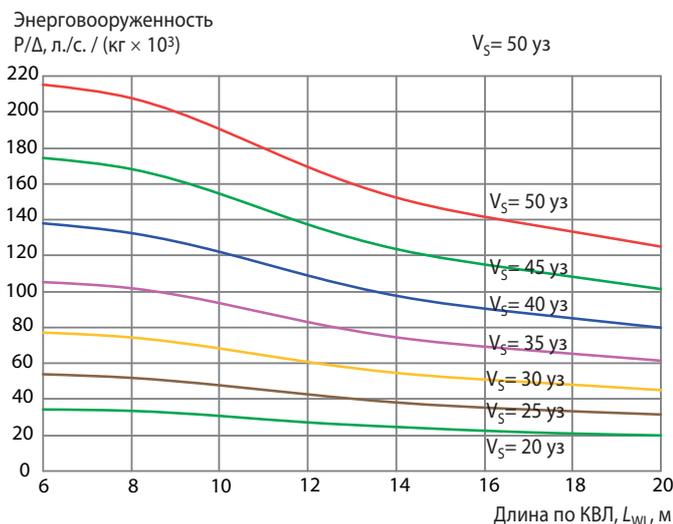


Рис. 8. Диаграмма для оценки потребной мощности двигателей катамаранов

тоннеля $c/L > (0.2-0.25)$ приводит к усилению слеминговых воздействий на поверхность тоннеля на волнении без какого-либо существенного снижения сопротивления на тихой воде.

Вертикальный клиренс тоннеля (т. е. расстояние от верхней поверхности тоннеля до ватерлинии) – важнейший фактор мореходности катамарана, зависящий от ударных нагрузок на волнении. На некоторых судах встречается тоннель, который в статическом положении погружен в воду. Такие обводы с неглубоким тоннелем нежелательны для мореходных судов – катамаран начинает глиссировать на поверхности тоннеля в его кормовой части, по сути, теряя преимущества в мореходности и плавности хода. Еще один недостаток такого тоннеля – забрызгивание через нос при движении против волны.

Для глиссирующего мореходного катамарана длиной L вертикальный клиренс тоннеля $(0.02-0.03)L$ можно считать достаточным, в то время как для такого же катамарана предназначенного для движения в водоизмещающем режиме, требуется вертикальный клиренс порядка $(0.045-0.050)L$.

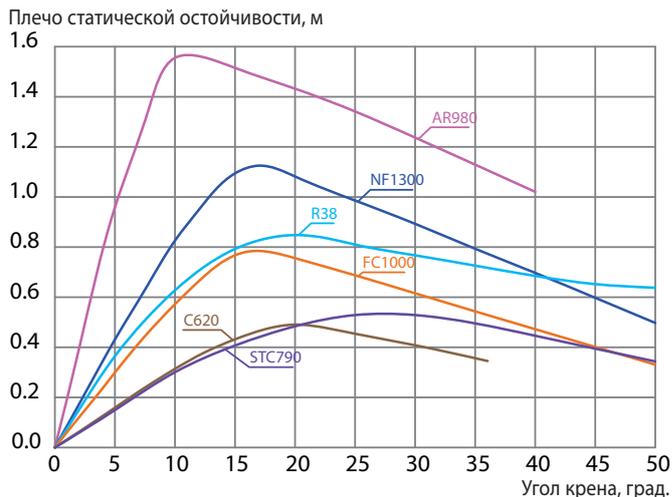


Рис. 7. Диаграммы статической остойчивости катамаранов «C620», «FC1000», «AR980», «NF1300», «R38», «STC790»

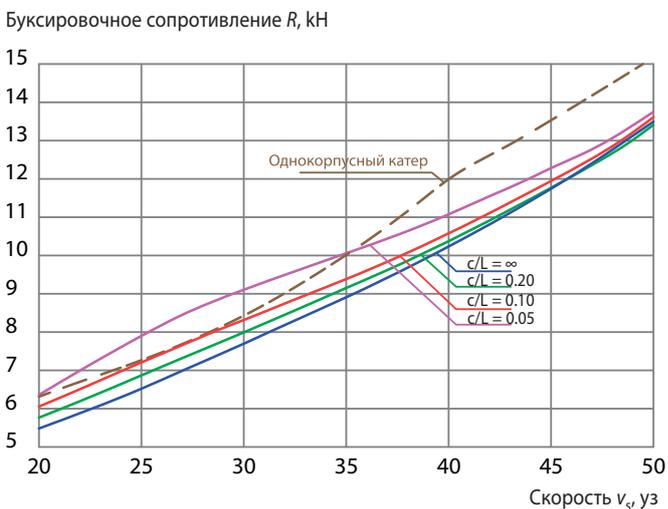


Рис. 9. Результаты расчетов буксировочного сопротивления катамарана длиной 10 м в зависимости от параметров тоннеля

Еще одна отличительная черта некоторых катамаранов – волнорез, устанавливаемый в носовой части или по всей длине моста. Форма волнореза способствует не только снижению ударов в мост, но и повышению жесткости конструкции.

На глиссирующих катамаранах иногда встречаются подводные крылья между корпусами – это главным образом попытка устранить просчеты проектирования или постройки. Крылья способствуют получению правильного ходового дифферента и повышению продольной устойчивости катамарана, а также увеличению площади несущих поверхностей.

Общее расположение

Проектирование помещений катамаранов ведется «вокруг тоннеля». В целом, для обитаемых катамаранов расположенные в корпусах каюты получаются более тесными, чем в однокорпуснике, а салон, кокпит и флайбридж – более просторными (см. рис. 10). С этим можно мириться, учи-

тывая, что основную часть времени на борту люди проводят именно в салоне или кокпите, а не в каютах.

Исходя из этого, катамаранная схема имеет преимущество на небольших судах с открытым кокпитом или на обитаемых судах с салоном и минимальными помещениями в корпусах. Если стоит задача спроектировать моторную яхту с большим количеством кают на нижней палубе, то объемов корпусов катамарана может оказаться недостаточно для их размещения, в этом случае, видимо, следует предпочесть однокорпусный вариант [8].

Плавучесть и остойчивость

Мореходные качества катамаранов (впрочем, как и остальных судов) напрямую связаны с их размерами. Катамараны, особенно оборудованные подвесными моторами, имеют довольно высокое положение центра тяжести (ЦТ) за счет того, что основные помещения и пассажиры размещаются на мосту. Как правило, ЦТ катамарана длиной 6–12 м расположен вблизи верхней поверхности тоннеля и главной палубы.

В целом благодаря большой ширине катамаранам свойственна высокая начальная остойчивость, а максимум диаграммы остойчивости достигается при угле крена, соответствующем выходу одного корпуса из воды (рис. 7). Большой начальной остойчивостью обладают катамараны с симметричными корпусами.

Остойчивость надводного борта и непотопляемость малых судов (т. е. судов с длиной корпуса $L_H < 24$ м) по международному стандарту ISO 12217 [5] оценивается комплексно. Критерии остойчивости катамаранов аналогичны критериям остойчивости однокорпусных судов с высокой начальной остойчивостью.

Для судов категорий С и D определяющим является тест на смещение нагрузки к борту (offset load test), именно он в большинстве случаев обуславливает максимальную пассажировместимость катамаранов. Их начальная остойчивость обычно избыточна, поэтому разрешенная пассажировместимость судна длиной до 8 м выше, чем однокорпусного судна такой же длины.

Наиболее критично для мореходных судов категорий А и В совместное действие ветра и бортовой качки (аналог «критерия погоды» для крупных судов). Для большинства катамаранов длиной 10 м и более достижение соответствия категории В не составляет проблем, а вот на категорию А они часто не проходят из-за высокой парусности борта/надстроек при относительно небольшом водоизмещении. (Ради справедливости отметим, что и легкие однокорпусные суда с развитыми надстройками также часто не соответствуют этому критерию.)

Конечно, каждое судно рассматривается индивидуально, но, как показывает наш опыт, названные критерии чаще всего оказываются определяющими.

Ходовые качества

Основное преимущество глиссирующего катамарана – высокие ходовые качества за счет меньшей ширины несущей части днища (следовательно, снижения смоченной поверхности) при сохранении остойчивости. Кроме того, обеспечение остойчивости за счет разнесения корпусов по ширине

позволяет увеличить углы килеватости и, соответственно, снизить перегрузки при движении на волнении [1].

Пропульсивный комплекс глиссирующих катамаранов – чаще всего двухвинтовой. Иногда на малых катамаранах подвесной мотор устанавливают в ДП, при этом перед дейдвудом мотора ставится обтекатель, являющийся частью моста. Наиболее распространенный привод для катамаранов длиной до 30–40 футов – пара подвесных моторов мощностью до 250–300 л.с. каждый. На более крупных судах используются стационарные двигатели с валопроводом и винтом, поворотные угловые колонки, водометы, приводы с ЧПВ.

Основная проблема при расчете ходкости катамаранов – правильный учет взаимодействия корпусов. Заметим, что большинство производителей движителей не гарантируют достижение требуемых скоростей на катамаранах именно из-за сложности точного расчета буксировочного сопротивления.

Нами выполнен анализ серии катамаранов, движущихся в переходном и глиссирующем режиме, в ходе которого были сопоставлены данные натурных испытаний и расчетов. Результаты представлены в виде диаграммы (рис. 8), которая может быть использована для оценки потребной мощности и скорости на ранних стадиях проектирования. Заметим, что диаграмма относится к пропульсивным комплексам с валопроводом и винтом, поворотными угловыми колонками либо подвесными моторами (т. е. соответствует пропульсивному КПД $\eta_0 = 0.55–0.60$).

Часто при проектировании катамаранов в погоне за уменьшением сопротивления и максимизацией ширины тоннеля днище и корпуса выполняют излишне узкими, что в



Рис. 10. Катамаран «AR980 Arbalist». Спроектирован на глиссирующий режим движения, эффективен и в переходном режиме. Длина – 9.80 м, ширина – 5.00 м, двигатели – 2х(110–190) л.с., расчетная скорость – до 34 уз.



Рис. 11. Катамаран «STC790 Crocodile» в стиле «милитари» с корпусом типа «split-hull» и поперечными реданами. Предназначен для любительской рыбной ловли. Длина – 7,90 м, ширина – 2,57 м, ПМ – 2х(100–160) л.с., расчетная скорость – до 50 уз.

сочетании с большими углами килеватости не способствует созданию достаточной гидродинамической подъемной силы [6]. То же самое относится и к перегруженным катамаранам. В итоге катамаран не выходит на глиссирование с нагрузкой или движется с большими углами дифферента. Во избежание этого при проектировании требуется проверить коэффициент статической нагрузки C_{Δ} , который для катамарана определяется как $C_{\Delta} = V/(2B_c)^3$, где V – объемное водоизмещение судна, м³, B_c – ширина одного корпуса по скуле, м. Выход катамарана на глиссирование обеспечивается при $C_{\Delta} < (0.5–0.7)$.

На рис. 9 представлены результаты расчетов буксировочного сопротивления R катамарана длиной $L = 10$ м при варьировании ширины тоннеля B_c и для сравнения – кривая буксировочного сопротивления для однокорпусного катера с близкими характеристиками. Расчеты выполнены по методике Савицкого [1, 3], с поправками на взаимодействие корпусов на основе данных, приведенных в работах В. Дубровского [2], Мюлер-Графа и Фалтинсена [3]. В целом, наиболее неблагоприятное взаимодействие корпусов наблюдается при $Fr = 0.5$ (начало переходного режима движения). С выходом судна на глиссирование и дальнейшим ростом скорости влияние взаимодействия корпусов на сопротивление уменьшается, что связано с уменьшением смоченной длины корпуса и фактически с увеличением относительной ширины тоннеля.

Мореходность

Эксплуатационные качества на волнении – это один из существенных плюсов глиссирующих катамаранов. Действительно, для них характерен более плавный ход, чем для однокорпусных катеров, но в то же время не стоит ожидать чуда. Скажем, небольшой катамаран длиной 6 м будет хорошо идти на малом и среднем волнении, разрезая волны высотой до 0.3 м и подпрыгивая на волнах высотой около 0.5–1.0 м, при этом уверенно поддерживая крейсерскую скорость около 25 уз [9]. При более высоком волнении придется снижать скорость. В процессе натурных измерений установлено, что вертикальные ускорения на катамаране на ходу соответствуют ускорениям на однокорпусном катере, но на 30% более длинном.

На стоянке из-за высокой начальной остойчивости катамараны обладают резкой бортовой качкой. В отличие от однокорпусных судов качка катамарана, поставленного лагом к волне, представляет собой поднятие одного корпуса и одновременное опускание другого. Как результат, качка имеет меньшие амплитуды и большие ускорения, чем на сравнимом однокорпуснике. При всех остальных курсовых углах набегающих волн качка катамаранов, как правило, более плавная, чем однокорпусных судов.

Маневренные качества

Диаметр циркуляции глиссирующих катамаранов превышает таковой для однокорпусных глиссирующих судов и имеет тенденцию к увеличению с ростом относительной ширины судна B/L . Измерениями траекторий с помощью GPS определено, что для глиссирующих катамаранов тактический диаметр циркуляции на полном ходу составляет $(6–10)L$, причем циркуляция сопровождается снижением скорости примерно на 20%. Важно отметить, что в данном случае, в отличие от однокорпусных катеров, крен на циркуляции практически отсутствует.

Одновременно катамараны обладают великолепной устойчивостью на курсе при глиссировании даже на попутном волнении, что выгодно отличает их от однокорпусных катеров сравнимых размеров.

Маневренные качества на малых скоростях в марине определяются наличием двух движителей, разнесенных на значительное расстояние. За счет этого катамараны способны разворачиваться на длине корпуса при работе винтов враздрай и практически не нуждаются в установке подруливающих устройств. Это относится как к глиссирующим, так и к водоизмещающим катамаранам.

Конструкция и прочность

При движении на волнении катамараны, в первую очередь его днище, испытывают значительные общие и местные нагрузки. Расчетные ускорения нередко достигают $6g$. Практически все глиссирующие катамараны имеют развитый днищевый набор. Общая поперечная прочность корпуса обеспечивается толщиной обшивки тоннеля, обшивкой и набором палубы и поперечными переборками. Современный подход к расчету конструкций катамаранов следующий:

- расчет местной прочности днища, бортов, палубы, надстроек и т. д. – такой же, как для однокорпусных судов;

- расчет местной прочности моста ведется с учетом специфической нагрузки для катамаранов;
- при расчете общей прочности особое внимание уделяется поперечной прочности на изгиб и кручение.

Эти расчетные нагрузки задаются в соответствии с международным стандартом ISO12215-5 [4], а также правилами некоторых классификационных обществ [7].

Вес катамарана, как и любого глиссирующего судна, – важнейший фактор достижения скорости. Это особенно актуально для катамаранов, коэффициент статической нагрузки которых при увеличении веса быстро становится избыточным. Основным резервом облегчения конструкций глиссирующих катамаранов является уменьшение массы обшивки днища и в меньшей степени бортов, палубы, надстроек за счет применения трехслойных конструкций и высокопрочного армирования.

Когда стоит обратить внимание на катамараны?

Замечено, что на популярность катамаранов в регионе влияет в первую очередь подготовленность рынка. Скажем, в Австралии и США «популяции» катамаранов достаточно развиты, что вызывает цепную реакцию интереса. В России пока в целом настороженно относятся к этим судам, в почете больше гламурные яхты для марин и РИБы, несмотря на все их эксплуатационные ограничения.

Представляется, что катамараны могли бы пользоваться спросом в первую очередь на побережьях морей и крупных водохранилищ, где требуется повышенная мореходность при ограниченных размерах судна. Еще одно возможное применение – в качестве «водных такси» и судов для дайвинга.

Будем надеяться, что глиссирующие катамараны, надежные и мореходные, скоро появятся не только в российских маринах, но и на вооружении спасательной и других служб.

Литература

1. *Doctors L. J. Hydrodynamics of High-Speed Small Craft.* – University of Michigan, 1985.
2. *Dubrovski V., Lyahovitsky A. Multi-hull Ships.* – Backbone Publishing Company, 2001.
3. *Faltinsen O. M. Hydrodynamics of High-Speed Marine Vessels.* – Cambridge University Press, 2005.
4. ISO 12215. Small craft – Hull construction and scantlings.
5. ISO 12217. Small craft – Stability and buoyancy assessment and categorization.
6. *Nazarov A. Why catamarans? Design factors and applications of the two-hull concept // SEA Yachting, 2007, March-April, p.24–27.*
7. *Shenoi R. A., Wellicome J. F. Composite materials in marine structures.* – Cambridge Ocean Technology Series – Cambridge Press, 1993.
8. *Tennant M. Catamarans as passagemakers // Power Catamarans, 2007, Vol. 10 (September), p. 86–90.*
9. *Thai Cats – Two Trailerable Power Catamarans // Practical Boat Owner, 2008, December.*

WWW.VCH5.RU
ВОДНО-МОТОРНЫЙ ЦЕНТР
 Бесконечные возможности для комплектации
 вашей лодки, катера, яхты
 Отправляем товары в любые уголки РОССИИ

МОСКВА
 Дмитровское шоссе, 107/14, оф. 6
 тел. (495) 485-46-53

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
 ул. Софийская, 14 (Купчино)
 тел. (812)449-40-78

© 2009 «Кия»