

Особенности проектирования катамаранов

Часть 1. Обводы и мореходность

Альберт Назаров, К.Т.Н.



Рис. 1. Яхта-катамаран проекта Н65 – спущена в конце 2013 года в Таиланде

В №218 «Кия» мы начинали разговор о принципах проектирования глиссирующих катамаранов. Сейчас, несколько лет спустя, хотелось бы обобщить опыт создания моторных судов катамаранного типа – автором за прошедшее время реализовано около 40 проектов (из них 8 – в России), и многие из них строятся серийно. В этой части статьи мы рассмотрим вопросы проектирования обводов и особенности мореходных качеств катамаранных судов. Далее последуют аспекты прочности, остойчивости и архитектуры.

В России в последние несколько лет растет интерес к судам катамаранного типа, хотя традиционно это направление в нашем малом и скоростном судостроении развито недостаточно – предпочтение до сих пор отдается априори более сложным в постройке и обслуживании судам на

подводных крыльях, воздушной подушке или даже экранопланам. Хотя общепризнанно, что в применениях, не связанных с амфибийностью, катамараны имеют неоспоримые преимущества при перевозке объемных грузов, в частности пассажиров, а также в качестве рабочих судов. Например,

подавляющее большинство судов для обслуживания ветроэнергетических установок – именно катамараны, которые при ограниченной длине гарантируют высокую скорость и мореходность. Согласно мировой статистике, среди пассажирских скоростных судов катамараны на сегодняшний день составляют около 60% флота. Ну и среди проектов нашего КБ 50% катамаранов, хотя это скорее показатель его специализации (рис. 1). Преимущества катамаранов как прогулочных судов также общеизвестны – это увеличенная площадь помещений и палуб, на 30% и более превосходящая площади однокорпусных аналогов.

Таким образом, основными преимуществами катамаранов назовем: способность поддерживать скорость и плавный ход на волнении; высокую начальную остойчивость и безопасность; большую полезную площадь помещений и палуб; высокую вместимость у пассажирских судов.

Надо сказать, что утверждение о меньшем сопротивлении катамаранов по сравнению с однокорпусниками является скорее заблуждением и справедливо только в случае, например, очень малых водоизмещений. Избыточный вес катамарана, вносимый мостом и надстройками, как правило, «убивает» преимущества в ходкости, хотя при грамотном проектировании можно получить некоторое преимущество в сопротивлении – например, за счет правильного выбора геометрии корпуса и применения легких сэндвичевых конструкций. Вообще, если нет особых соображений (например, необходимо создание просто остойчивой платформы), применение катамаранов оправдано при значении относительной длины корпуса $L/V^{1/3}$ не менее 5–6, в противном случае получается скорее плот, чем катамаран. Именно поэтому постройка малых катамаранов из тяжелого материала, например из стали, в большинстве случаев не имеет смысла.

Недостатки катамаранов связаны в основном с их более высокой строительной стоимостью, а также снижением мореходности в условиях значи-

тельного волнения. При эксплуатации также сказываются нехватка подходящих стояночных мест в маринах и более высокая стоимость содержания. Главным же сдерживающим фактором назовем инерцию менталитета – своеобразное недоверие к «необычным судам». В то же время появление катамаранов часто вызывает цепную реакцию роста их численности; на сегодня в некоторых регионах мира они составляют до 25% прогулочного флота.

Сразу заметим, что рекордные гоночные суда мы не рассматриваем, а в основном будем говорить о малых (т.е. длиной до 24 м) водоизмещающих (число Фруда по водоизмещению $Fn_v < 1$), переходного режима ($Fn_v = 1...3$) и глиссирующих ($Fn_v > 3$) моторных катамаранах.

Проектирование обводов

Формы корпусов катамаранов отличаются значительным многообразием; как отмечалось в №218, в целом можно выделить суда с симметричными и асимметричными корпусами, а также корпуса типа *split hull*, представляющие собой как бы рассеченный по ДП корпус однокорпусного судна (рис. 2). Для выбора типа обводов на начальном этапе могут быть использованы рекомендации рис. 3. Следует учитывать, что для сравни-



Рис. 2. 8-метровые катамараны проектов AT800 «Boomerang» и STC790 «Crocodile» на выставке. Хорошо видны типы обводов – симметричные (слева) и *split hull*. Обратите также внимание на конструкцию трейлеров – симметричный катамаран позиционируется направляющими на тоннеле и стоит на килях, что упрощает «заезд» на трейлер, *split hull* позиционируется и стоит на днище как обычный катер с V-образным днищем

тельно легких катамаранов с узкими корпусами традиционное деление на водоизмещающие, переходные и глиссирующие типы не работает. Это учтено на предлагаемой диаграмме – как видим, выбор типа корпуса зависит не только от числа Фруда, но и от относительной длины. Очень легкий катамаран, движущийся формально с высокими Fn_v , может оказаться на самом деле водоизмещающим, т.к. силы динамического поддержания не будут выражены, и это потребует применения соответствующих обводов. Для большинства малых катамаранов применимо общее правило: чем выше скорость, тем асимметричнее обводы; формы типа *split hull* оптимальны для скоростей выше 40 уз.

Параметры формы корпуса катамарана можно разделить на две группы: параметры изолированного корпуса и параметры тоннеля и взаимного расположения корпусов.

Параметры изолированного корпуса аналогичны таковым для однокорпусных судов. Для водоизмещающих и переходных судов наиболее значимыми являются относительная длина $L/V^{1/3}$, отношение длины к ширине одного корпуса L/B , коэффициент продольной полноты CP и отношение площади погруженной части транца к площади миделя A_T/A_M .

Для глиссирующих катамаранов имеют значение угол килеватости β , профилировка скул, положение ЦТ по длине судна LCG и т.д. Для воз-

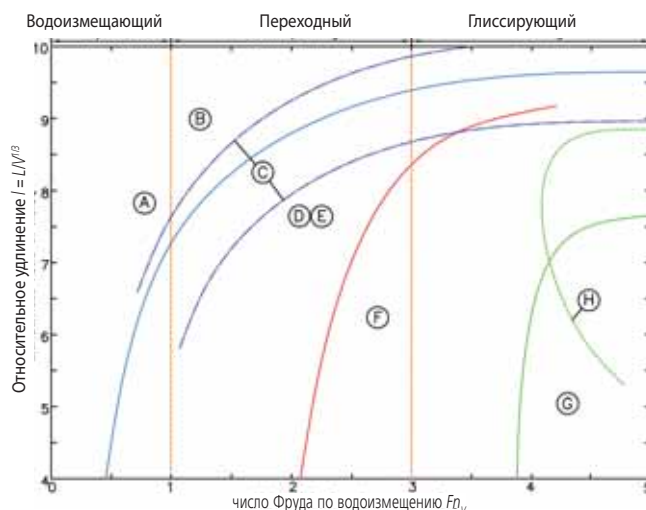
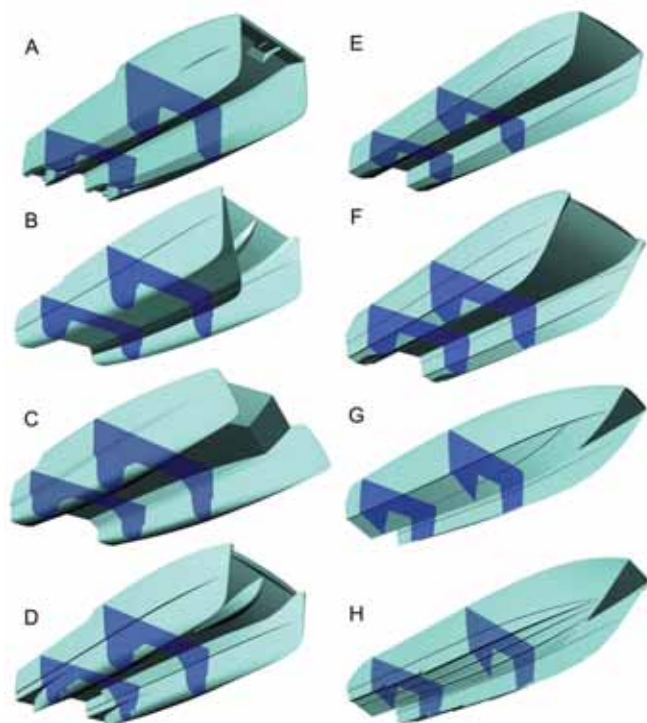


Рис.3. Рекомендации по выбору типа обводов катамарана в зависимости от относительного удлинения $l = L/V^{1/3}$ и числа Фруда по водоизмещению Fn_v . Заметим, что для сверхлегких судов традиционные понятия глиссирования и переходного режима не работают



Рис. 4. Обтекание тоннеля симметричного катамарана проекта AT800W. Фото соответствуют относительным скоростям $Fn_v = 2.5, 3.4$ и 4.1 . Обратим внимание на просвет в тоннеле – у правильно спроектированного глиссирующего катамарана тоннель в кормовой части может замыкаться брызгами, но не должен использоваться для создания подъемной силы

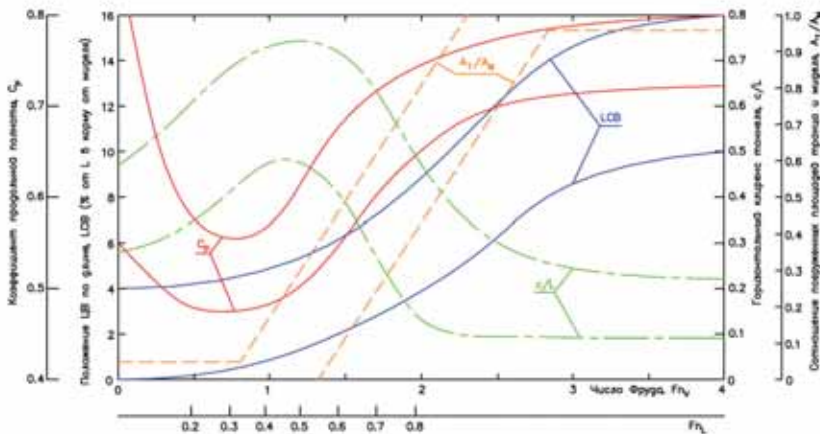


Рис. 5. Рекомендации по выбору параметров формы корпуса катамаранов

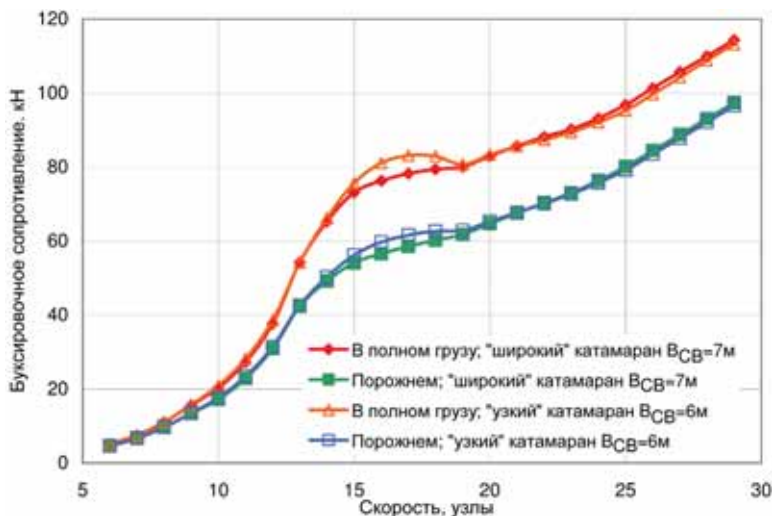


Рис. 6. Расчет буксировочного сопротивления катамарана длиной 24 м. Показаны кривые для водоизмещения порожнем и в полном грузу при варьировании расстояния между центрами величины корпусов B_{CB} . Обратим внимание на влияние горизонтального клиренса на сопротивление – для «узких» катамаранов оно растет в области горба, причем этот эффект наиболее выражен у тяжелых судов

возможности глиссирования значение коэффициента статической нагрузки $C_d = V/(2B_c)^3$ должно составлять $C_d \leq 0.5...0.7$, где B_c – ширина одного корпуса по скуле.

Для судов с «нормальными» значениями относительной длины, применение остроскулых обводов оправдано при $Fn_v > 1.0$ и становится обязательным при $Fn_v > 2.5$. В

каждом случае выбор тех или иных обводов (особенно для судов переходных режимов, в зависимости от весовой нагрузки) является предметом оптимизационных расчетов. На рис. 5 представлены некоторые рекомендации автора по выбору параметров изолированного корпуса и тоннеля.

Интрига грамотного проектирования катамарана заключается в верном назначении параметров тоннеля, где вертикальный клиренс моста t влияет на мореходные качества судна, а горизонтальный клиренс s имеет значительное влияние на буксировочное сопротивление. В целом, подходы к выбору вертикального клиренса соответствуют рекомендациям Дубровского по аналогии с высотой надводного борта F ; для малых судов полагается $F = L_H/(10...24)$ в зависимости от категории, где L_H – наибольшая длина корпуса. Для водоизмещающих катамаранов вертикальный клиренс должен составлять не менее $t = (0.045...0.06)L$. Важнейшее значение имеет продольная профилировка тоннеля – необходим подъем на протяжении 25% длины в носовой части, наиболее подверженной слемингу. Замечено, что для водоизмещающих катамаранов наступлению слеминга соответствует приближенное условие $2t = h_{1/3}$, где $h_{1/3}$ – высота значительных волн; это условие также может быть использовано для назначения вертикального клиренса.

Для глиссирующих катамаранов автором рекомендуется вертикальный клиренс не менее $t = (0.02...0.03)L$. При этом избежать смачивания кормовой части тоннеля брызгами практически невозможно, в то же время

глизирование на поверхности тоннеля (например, вследствие замыва отходящей волной, когда на поверхности моста образуется подъемная сила) в большинстве случаев считается серьезным дефектом.

Горизонтальный клиренс c оказывает существенное влияние на сопротивление судна (рис. 6). Для глизирующих судов рекомендуемый горизонтальный клиренс составляет $c = (0.1...0.2)L$; завышенные значения вызывают неоправданный рост сопротивления вследствие замывания тоннеля. Для водоизмещающих судов следует стремиться к максимизации клиренса c/L в области «горба» сопротивления (рис. 5).

Как показывает исследование обтекания тоннеля у ряда судов (рис. 4), его поперечный профиль не оказывает влияния на сопротивление, форма тоннеля диктуется скорее соображениями прочности и компоновки, необходимо лишь обеспечить отсутствие выступов.

Ходовые качества

Достоверная оценка ходовых качеств катамарана представляет определенную сложность из-за проблем расчета буксировочного сопротивления. Расчетные методы ограничены и дают значительный разброс результатов, особенно в диапазоне «горба» сопротивления. Модельные испытания зачастую не могут обеспечить достаточную точность, в первую очередь для быстроходных катамаранов, из-за существенных различий в поле давлений в кормовой части натуре и модели при отсутствии движителей. Поэтому большое значение приобретает привязка результатов расчетов к результатам ходовых испытаний уже построенных судов.

Буксировочное сопротивление катамарана R_T принято представлять в виде:

$$R_T = 2(R_R + R_F) + R_C + R_{APP} + R_{AA} + R_{AW}$$

где R_R – остаточное сопротивление изолированного корпуса; R_F – сопротивление трения изолированного корпуса; R_C – дополнительное сопротивление катамарана; R_{APP} – сопро-

тивление выступающих частей; R_{AA} – аэродинамическое сопротивление; R_{AW} – добавочное сопротивление на волнении. Первые три слагаемых представляют собой полное гидродинамическое сопротивление голого корпуса катамарана на тихой воде. Для водоизмещающих катамаранов сопротивление R_C может составлять (–10...40)% от полного; для глизирующих (–5...20)% от полного.

Факторы, влияющие на дополнительное сопротивление R_C , следующие:

- взаимодействие волновых систем корпусов, которое влияет на волновое сопротивление и достигает максимума в области «горба» сопротивления ($Fn_L = 0.4...0.5$); эта составляющая наиболее существенна для судов переходного режима;

- рост скорости обтекания корпуса в тоннеле, который приводит к увеличению трения и вязкостного сопротивления;

- увеличение смоченной поверхности в тоннеле, влияющее на сопротивление трения и наиболее существенное для катамаранов в конце переходного режима и в режиме глизирования $Fn_v > 2.0$.

В нашей практике для расчета буксировочного сопротивления катамаранов применяются следующие методы:

- Систематическая серия Моланда, которая представляет собой результаты испытаний моделей ка-

тамаранов. Форма обводов серии базируется на серии NPL быстроходных катеров, круглоскулой формы с погруженным транцем. Параметры серии: относительная длина $L/V^{1/3} = 6.27...9.50$; отношение длины к ширине корпуса $L/B = 7.0...15.1$; $B/T_C = 1.5...2.5$, $L_{CB} = 0.064$; $CP = 0.693$; $B_{CB}/L = 0.2...0.5$; диапазон чисел Фруда по длине $Fn_L = 0.2...1.0$.

- Систематическая серия VMS '89 (серия Мюллера-Графа), испытанная в Берлине. Использовано несколько базовых остроскулых форм корпуса симметричной и асимметричной формы. Параметры серии: $L/B = 7.55...13.55$; $B/T_C = 2...3.5$; отношение осадки транцем к осадке $T_{TR}/T_C = 0.54...0.95$, $L_{CB} = 0.38...0.445$; килеватость на миделе $\beta_M = 16...38^\circ$; $Fn_L = 0.25...1.35$. Значительным недостатком серии, не позволяющим в полной мере применять эти результаты в оптимизационных расчетах, является фиксированное значение горизонтального клиренса $c/L = 0.167$.

- Для глизирующих катамаранов применяется метод Савицкого с поправками на взаимодействие корпусов – например, Шермана. Нами также применяются методы CFD (компьютерного моделирования процессов обтекания, рис. 7), однако их следует использовать с оглядкой на реальные данные. Для многокорпусных судов дополнительным фактором погрешностей таких расчетов выступает взаимодействие корпусов *

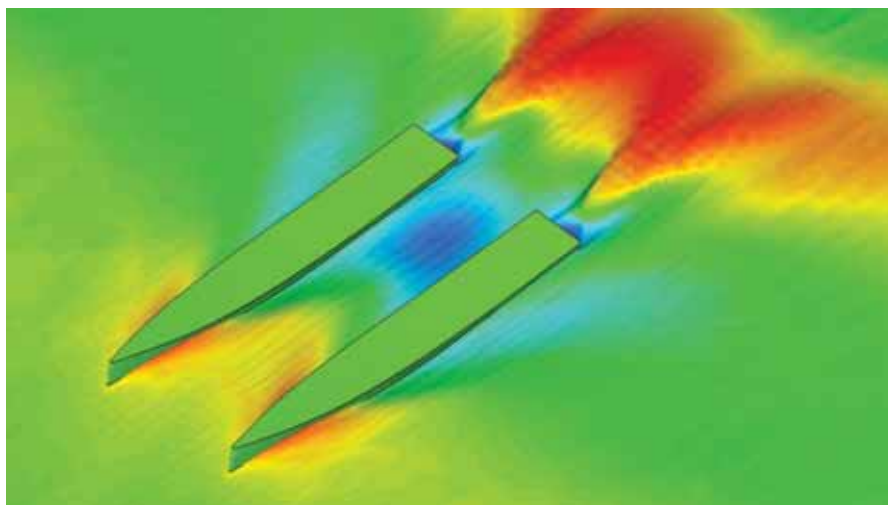


Рис. 7. Визуализация CFD-расчета катамарана проекта Н48 для скорости 10 уз