

щая каждую волну, треугольный грот типа «Стриж», силуэт которого ни с чем не спутать, и наличие двух поворотных шверцов. Слабыми местами штатной конструкции являются рулевое устройство, шверцы, мачта.

Производство катамаранов прекращено с начала 90-х годов, но до сих пор множество лодок этого типа все еще на ходу и пользуются популярностью на вторичном рынке.

Широко распространен тюнинг и усовершенствования «Альбатросов» – заменяют баллоны, паруса, мачты, шверты и т.д. Ранее этим активно занимались в Жуковском, в местном парусно-туристском клубе. Там же на основе серийного «Альбатроса» делали так называемый «Альбатрос-16».

«Простор»

Катамаран «Простор» был создан в 80-х годах прошлого века на заводе «Энергомаш». Было выпущено огромное количество этих



«Простор», основные данные:

длина – 5,26 м, ширина – 2,4 м. Диаметр корпуса – 0,5 м. Площадь парусности – 8,6 м². Масса – 75 кг, грузоподъемность – 350 кг. Пассажировместимость – 3–4 чел.

судов. «Простор» – это не очень хорошая копия английского катамарана Catapult. Проще говоря, из-за применения менее качественных материалов и сомнительных конструктивных решений катамаран

получил недостаточную прочность. После покупки его нельзя было эксплуатировать без усиления и переделок, и даже после этого требовался периодический ремонт, поэтому катамаран получил неофициальное прозвище «плавающий гроб». Точно известно о двух произошедших с ним трагических случаях. Несмотря на это, при грамотном усилении, профилактике и ремонте катамаран позволял ходить в дальние походы (Белое море, Ладога, Онега).

Помимо катамаранов промышленного изготовления множество лодок строилось и строится любителями паруса самостоятельно, по собственным проектам. Некоторые из них выглядят истинными шедеврами, на некоторых опасно выходить на воду. Поэтому, покупая катамаран самостоятельной постройки, надо подходить к этому вопросу внимательно и ответственно, ведь от надежности судна будет зависеть ваша жизнь ✘

Особенности проектирования катамаранов

Часть 2. Мореходность, управляемость, остойчивость

Малый пассажирский катамаран проекта AT1500 длиной 15,4 м на 72 пассажира, скорость крейсерского хода 22–25 уз. Такие катамараны используются для перевозки туристов в Таиланде и Камбодже



Альберт Назаров, к.т.н.



Мореходность

Мореходность катамаранов в нормальных, штатных условиях характеризуется в первую очередь вертикальными ускорениями (перегрузками) на ходу. Именно они определяют физиологическое самочувствие экипажа и пассажиров, а также нагрузки на элементы конструкции и оборудование – вследствие ударов (слеинга) и инерционных нагрузок.

Расчет вертикальных ускорений при движении катамарана на волнении может быть выполнен по методу Савицкого-Брауна; именно этот метод в настоящее время используется большинством классификационных обществ (КО) для оценки перегрузок в расчетах прочности:

$$\frac{a_{zCG}}{g} = 0.0104 \left[\frac{H_{1/3}}{B_C} + 0.084 \right] \frac{\tau}{4} \left[1.67 - \frac{\beta}{30} \right] \times \left[\frac{v_s}{\sqrt{3.28L}} \right]^2 \frac{L}{B_C C_\Delta}$$

где a_{zCG}/g – относительное среднее вертикальное ускорение в центре масс (ЦМ) судна; $H_{1/3}$ – высота значительных волн, м; τ – угол ходового дифферента, принимается равным 3–4° для предварительных оценок; B_C – ширина корпуса по скуле, для катамаранов принимается как удвоенная ширина одного полукорпуса, м; L – длина судна, м; v_s – скорость судна, уз; β – угол килеватости на миделе, градусы; C_Δ – коэффициент статической нагрузки. Декларируемая точность формулы 0.2g. Причем, по нашему опыту, угол килеватости β в ней для катамаранов необходимо принимать не на миделе, а в носовой части, в зависимости от скорости движения.

Чем важна эта формула? Она показывает, что действующие ускорения тем меньше, чем больше угол килеватости корпуса и чем меньше ширина по скуле. Понятно, что их значения у катамаранов как раз способствуют снижению ускорений, в этом и заключается секрет плавности их хода на волне.

Большинство КО принимают величину вертикальных ускорений в носу равной удвоенному значению в ЦТ, однако как показывают наши измерения, это не всегда верно для катамаранов. В ходе измерения распределения ускорений по длине судна установлено, что в носовой части они превышают ускорения в ЦТ судна на 20...100% – для глиссирующих судов (рис. 1); а для водоизмещающих – до 300%.

За последние несколько лет нашим коллективом выполнен большой объем экспериментальных исследований по измерению вертикальных ускорений на катамаранах различных проектов; результаты этих исследований опубликованы в ряде работ. В целом можно отметить, что в наихудшем случае – движении на встречном волнении – вертикальные ускорения на катамаранах на 30...50% ниже, чем на аналогичных однокорпусных судах.

Для скоростных пассажирских катамаранов оценка уровня вертикальных ускорений является неотъемлемой частью процесса выбора главных размерений. И это неслучайно – при движении на крейсерской скорости при ожидаемом волнении необходимо обеспечить пассажирам комфорт по перегрузкам, а не бешеную скачку по

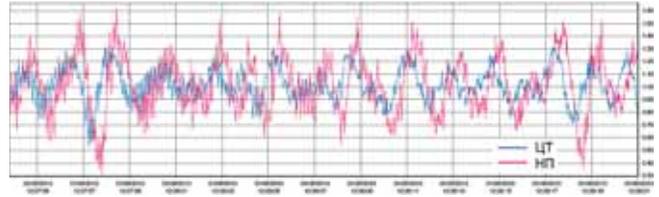


Рис. 1. Пример записи вертикальных ускорений по времени, на катамаране 8.1 м длиной при движении на скорости 30 уз, встречное волнение $H_{1/3}=0.34$ м. Показаны запись ускорений в ЦТ судна и на носовом перпендикуляре (НП)

волнам. Как правило, комфортной считается величина до 0.7g при обеспеченности 1/10 (т.е. берется среднее значение из 1/10 самых больших пиков ускорений). На основании результатов экспериментальных исследований и расчетов разработана диаграмма (рис. 2), позволяющая обоснованно выбирать размерения пассажирских катамаранов на начальных этапах проектирования. Диаграмма связывает водоизмещение катамарана $DSPL$, скорость v_s и состояние моря в баллах SS в пределах 2–5.

Задача мореходности также неразрывно связана с задачей прочности, их решение – в поиске компромисса между массой конструкции и ограничениями по скорости/волнению – чтобы, с одной стороны, судно не «развалилось» на волнении, с другой – чтобы оно не оказалось перетяжеленным.

Распространенной проблемой на многокорпусных судах является заливаемость; этому дефекту у катамаранов способствуют как излишне острые, так и излишне полные обводы носовой части.

Механизм бортовой качки катамаранов таков, что корпуса поочередно совершают вертикальные колебания (а не угловые, как на однокорпусном судне), что затрудняет эффективное демпфирование качки традиционными методами. У относительно узких катамаранов распространена проблема «штопорного» характера качки при волнении с кормовых четвертей; эта проблема решается увеличением относительной ширины судна или надлежащим выбором скорости движения.

Управляемость

Распространено мнение, что катамараны обладают худшей маневренностью по сравнению с однокорпусными судами. Автором выполнены измерения маневренных характеристик ряда катамаранов, в том числе и катамаранов с идентичными полукорпусами при варьировании горизонтального клиренса (рис. 3). По результатам этих измерений можно сделать следующие выводы:

- Относительно более широкие катамараны обладают большим радиусом циркуляции R/L , причем эта разница более выражена на малых скоростях. В то же время, возможность отдельной регулировки оборотов двигателей позволяет эффективно уменьшать радиус поворота.

- Практически достижимые диаметры циркуляции катамаранов на полной скорости составляют $DT = (3...5)L$, что сравнимо с однокорпусными судами.

- Большинство глиссирующих катамаранов с симметричными корпусами имеют небольшой крен наружу поворота (в отличие от однокорпусных судов); суда с асимметричными корпусами кренятся внутрь поворота. Угол крена при циркуляции составляет всего 2...5°; четкая зависимость угла крена от радиуса циркуляции не обнаружена. Таким образом, катамараны имеют неоспоримое преимущество перед однокорпусными судами в плане безопасных и комфортных углов крена, что особенно существенно для пассажирских и прогулочных судов.

- Снижение скорости на циркуляции v/v_0 существенно зависит от R/L и начальной скорости катамарана v_0 . Снижение скорости может достигать 0.4 для катамаранов нормальной ширины; для обычных маневров величина v/v_0 составляет 0.6...0.8.

- Выполненные замеры горизонтальных ускорений свидетельствуют, что их уровень не превышает 0.2g для обычных (не экстремальных) маневров, то есть являются безопасными, в отличие от однокорпусных судов – это особенно важно для пассажиров.

Результаты экспериментов и вышеприведенные выводы использованы для обоснования маневренных характеристик проектируемых катамаранов, а также для оценки остойчивости на циркуляции.

Вследствие высокого удлинения корпусов катамараны обладают высокой устойчивостью на курсе. Маневренные качества на малых скоростях обеспечиваются разносом двигателей; практически управление катамараном возможно без применения рулей. Обычно прогулочные катамараны длиной до 15...20 м не нуждаются в установке подруливающих устройств, хотя такие устройства могут оказаться полезными, если судно имеет значительную парусность надстроек. Ну и главный принцип управления катамараном при швартовке в марине – «сохранять движение», т.к. маневрирование обеспечивается за счет упора винтов, а любая остановка – это снос боковым ветром.

Остойчивость

Напомним, что остойчивость – это способность наклоненного судна к спрямлению. Когда непосвященные говорят о катамаранах, первое, что приходится слышать – «катамаран может опрокинуться». Причем, такой же подход демонстрируют и представители сертифицирующих организаций. Например, в последней редакции стандартов ISO12217-1:2013 для моторных катамаранов требуется эвакуационный люк «на случай, если судно может быть опрокинуто». Так вот, опрокинуться может любое судно, но правда в том, что опрокинуть катамаран намного труднее – для этого нужно проделать большую работу, говоря терминами физики.

В подтверждение посмотрим на диаграммы остойчивости (ДО) однокорпусных судов и катамаранов (рис.4). Как можно заметить, для катамаранов характерна значительно большая площадь под диаграммой, как раз и характеризующая работу по опрокидыванию судна (динамическая остойчивость – *прим. ред.*). Угол максимума сдвинут в сторону меньших углов, обычно 10–20° для от-

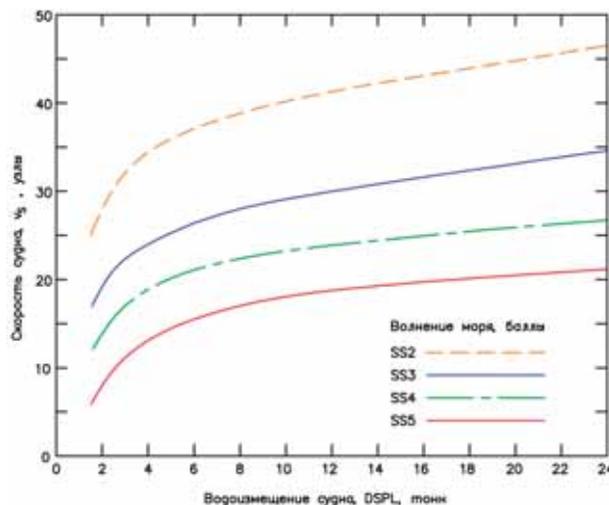


Рис. 2. Рекомендации по обоснованию комфортных размеров и скорости малого пассажирского катамарана

носителю широких катамаранов. Углы заливания катамарана могут быть существенно меньше, чем у однокорпусника, например, если воздухозаборники машинного отделения установлены на бортах. Наиболее близкими к «однокорпусным» диаграммами остойчивости обладают катамараны типа *split hull*.

Остойчивость – сложное понятие, и поэтому ее принято оценивать комплексно – набором критериев. Наиболее продуманные специальные критерии для многокорпусников содержатся в документе IMO High Speed Craft Code, где требования к остойчивости в неповрежденном состоянии следующие:

- Площадь под диаграммой остойчивости до угла θ – меньшего из углов заливания, угла максимума ДО или 30° – должна составлять не менее $0.055 \times 30/\theta$. Как видим, при угле 30° формула дает стандартное IMO-вское значение площади 0.055 м × рад.

- Угол максимума ДО должен составлять не менее 10°.

- Критерий ветростойкости катамарана рассчитывается при действии порыва ветра с динамическим коэффициентом 1.5, при этом крен не должен превышать 10°.

- Критерий совместного действия порыва ветра, скопления пассажиров или циркуляции, а также бортовой качки. При этом амплитуда качки обычно принимается равной 15°. Критерий оценивается путем вычисления остаточной площади под диаграммой остойчивости после приложения моментов, которая должна составлять не менее 0.028 м × рад до угла заливания либо до угла, соответствующего амплитуде качки.

- Крен на циркуляции – не более 8° в наружную сторону, а при совместном действии циркуляции и ветра – не более 12°.

- Крен при скоплении пассажиров на борту не более 10°.

Как видим, здесь напрямую не нормируются ни угол заливания, ни угол заката – в этом нет никакой практической необходимости, потому что в рассматриваемых случаях наклонить судно до этих углов нереально. Это физически обоснованный подход для многокорпусников, и для катамаранов в частности.

Для прогулочных катамаранов по ISO12217 применяются такие же критерии, как и для широких однокорпусных судов. Соответствие этим критериям часто представляет проблему, из-за специфической архитектуры катамаранов, тем не менее необходимо научиться им пользоваться, поскольку этот метод обязателен для прогулочных судов поступающих на рынок Евросоюза и ряда других стран.

- Смещение людей к борту (*offset load test*) – нормируется угол крена и остаточный надводный борт в этом положении, крен ϕ_0 должен быть не более $11.5 + (24 - L_H)^3 / 520$, град.;

- Критерий угла заливания, который должен составлять наибольшее из $\phi_0 + 15^\circ$ или $\phi_0 + 25^\circ$ для категории B; и $\phi_0 + 25^\circ$ или 30° для категории A.

- Для судов категорий A и B – критерий ветра и волнения, аналог хорошо известного «большим» судостроителям «критерия погоды» (рис. 5). При этом амплитуды качки рассчитываются по формулам $25 + 20/V_D$ для категории A, $20 + 20/V_D$ для категории B, где V_D – объемное водоизмещение. Заметим, что эти формулы дают завышенные углы качки для катамаранов.

- Для судов категорий C и D – критерий действия ветра;

- Параметры диаграммы остойчивости – максимальные восстанавливающий момент и плечо остойчивости. По сути, этот критерий закрывает категории A и B небольшим по размерам судам. Для широких судов, у которых угол максимума ϕ_{\max} менее 30° (как раз для катамаранов) выполняется пересчет требуемых параметров: для требуемого восстанавливающего момента $750/\phi_{\max}$ для категории A и $210/\phi_{\max}$ для категории B, кНм. Соответственно, для максимального плеча остойчивости требуется как минимум $6/\phi_{\max}$ для обеих категорий, что при угле 30° дает привычное для однокорпусников значение 0.2 м.

- Критерии влияния рецессов и кокпитов, которые могут быть заполнены водой, на остойчивость, т.е. свободных поверхностей;

- Оценка возможности опрокидывания – для судов

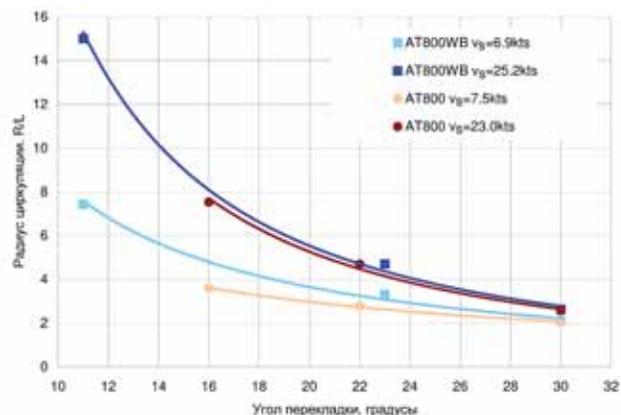


Рис. 3. Катамараны проектов AT800 и AT800WB длиной по КВЛ 7.1 м имеют идентичные корпуса, но второй проект на 500 мм шире за счет вставки в мостовую конструкцию. Показаны результаты измерений радиуса установившейся циркуляции при варьировании угла перекадки двигателей и скорости до входа в поворот

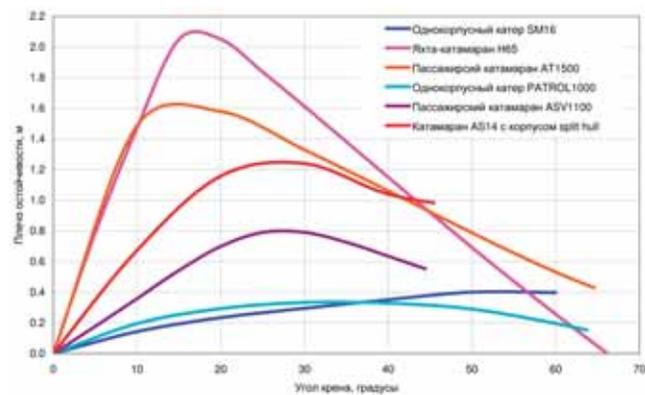


Рис. 4. Диаграммы остойчивости катамаранов и однокорпусных судов. Диаграммы обрываются на угле заливания у всех судов кроме катамарана пр. H65 категории A «океанская»

категории C, в зависимости от соотношения высоты боковой парусности и ширины судна; таким образом устанавливается необходимость иметь эвакуационный люк из помещений.

Из практики, наиболее жестким оказывается критерий ветра и волнения для судов категорий A и B – с учетом особенностей диаграммы остойчивости и большой парусности надводной части катамаранов. Для самых малых катамаранов низших категорий C и D определяющим будет критерий смещения нагрузки.

По опыту, сравнивая оценки для одной и той же расчетной скорости ветра, один и тот же катамаран может проходить по критериям HSC Code, но не проходить по критериям ISO. Если же взять требования РС для морских судов, даже ограниченных категорий, то катамараны оказываются в еще более невыгодном положении. Нелишне также упомянуть, что, например, разработчики Технического регламента ТС по маломерным судам о катамаранах не подумали вообще, и большинство существующих малых катамаранов по приведенным там «однокорпусным» требованиям к остойчивости просто не пройдет.

Надо отметить общий подход – в критериях остойчивости, предназначенных для многокорпусных судов, применяется пересчет требуемых площадей под диаграммой, моментов, плеч и т.д. и корректируется исходя из угла максимума по сравнению с однокорпусными судами. Меньше угол максимума и угол заливания – большая площадь под диаграммой остойчивости требуется. То есть если максимум/заливание наступает при сравнительно малом угле крена, то судно должно быть более «труднонакренимым» до этого угла.

С другой стороны, критерии остойчивости однокорпусных судов малоприспособны для катамаранов – они не учитывают особенности катамаранов и чаще всего искусственно делают катамараны менее конкурентоспособными. Поэтому рекомендация такая: при проектировании пользоваться критериями, предназначенными специально для катамаранов: HSC Code, если судно коммерческое или специальное, и ISO12217-1 – если судно прогулочное. К слову, автором уже пере-



добную схему невозможно реализовать на однокорпусных судах или СПК; по сравнению с ними катамараны обладают на порядок большей живучестью. Например, для катамарана пр. АТ1500 остойчивость обеспечена в случае затопления одного любого отсека.

Для прогулочных судов по стандартам ISO обеспечивать непотопляемость не требуется (кроме некоторых опций сертификации, в основном для судов длиной до 6 м). Вообще непотопляемость сложно обеспечить на малом судне, т.к. этим сильно ограничивается обитаемый объем; на прогулочных катамаранах корпуса почти всегда обитаемые. Тем не менее, в наших проектах обычно предусматриваются переборки форпика и машинного отделения, и иногда – двойное дно в носовой части; это позволяет обеспечить непотопляемость при наиболее вероятных повреждениях носовой оконечности или движительно-рулевого комплекса ✘

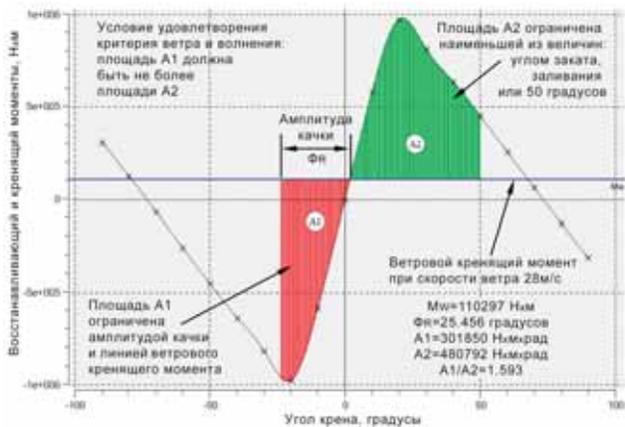


Рис. 5. Пример оценки критерия ветра и волнения по ISO12217-1 для прогулочного катамарана пр.Н65 категории А. Очевидно, что из-за расположения максимума диаграммы в области малых углов крена, и применения амплитуды бортовой качки рассчитанной по формуле для однокорпусных судов могут возникать проблемы соответствия требованиям, особенно при малых углах заливания. Отсюда тенденция на подобных катамаранах под стандарты ISO смещать воздухозаборники машинного отделения ближе к ДП судна, либо устанавливать воздухопроводы соответственно

даны в технический комитет ISO предложения по совершенствованию требований к остойчивости катамаранов; возможно в следующей редакции они будут усовершенствованы.

Непотопляемость

Катамараны обладают большими возможностями обеспечения непотопляемости – плавучести и остойчивости при повреждении. На пассажирских судах при размещении пассажирского салона на уровне моста/главной палубы и верхних палубах необитаемые корпуса очень удобно «нарезать» на отсеки. При повреждении такого отсека или их группы катамаран сохраняет плавучесть и остойчивость, при этом салон находится над водой. По-

Продается судно серии ОМ



длина, м – 44	осадка, м – 1.25 м (средняя)
ширина, м – 6.7	водоизмещение, т – 170
высота борта, м – 2.5	двигатель, л.с. – 2 × 150

Владелец «СК-Старт»
+7 906 751-1867, Михаил