

На полпути к самолету

ВИКТОР ДУБРОВСКИЙ,
ДОКТ. ТЕХН. НАУК

Эта перманентная задача

Повышение скоростей катеров и судов некоторых назначений — боевых, пассажирских, прогулочных и т. д. — постоянная задача развития морского флота. Понятно, что преимущество в скорости позволяет боевому катеру или кораблю либо навязать противнику бой в выгодных для себя условиях, либо уклониться от него в условиях невыгодных. Применительно к линейным транспортным судам, например, пассажирским скоростным паромам, одним из факторов, стимулирующих существенное повышение их скоростей, является значительное снижение размерений и водоизмещения, если при повышении скорости удастся заменить каюты на салоны с креслами. Тогда большая скорость может обеспечить ту же провозоспособность при меньшей стоимости постройки и эксплуатации судна.

Однако гораздо больше стимулирует рост скорости конкуренция: если на линии появляется судно, время рейса которого меньше, пусть даже ненамного, все остальные суда в той или иной мере теряют пассажиров, что снижает доходы их владельцев и может сделать эксплуатацию этих судов экономически неприемлемой. Одним из решений данной проблемы является, например, замена дизелей как главных механизмов некоторых серий скоростных паромов на газовые турбины, что обеспечивает рост мощности при неизменных весе энергетической установки и водоизмещении судна, а значит, и рост скорости. Для прогулочных моторных яхт сильнейшим стимулом повышения скоростей становится тщеславие их владельцев, желание каждого из них “перещеголять” соседа. Таким образом, нет оснований считать, что задача повышения скоростей судов когда-нибудь будет решена окончательно.

В настоящее время в качестве ограничителей скоростей на море выступают уже не столько мощность ЭУ и вес корпуса, как это было относительно недавно, сколько гидродинамические факторы. Рассмотрим кратко про-



блему предельных скоростей катеров и судов.

Типы скоростных катеров и факторы, ограничивающие их скорость

Благодаря современному уровню развития энергетических установок, материалам и методам проектирования конструкций возможности создания скоростных катеров и судов сегодня значительно шире, чем ранее. Так, хотя большинство судовладельцев пока еще предпочитают дизели в качестве главных машин, все же огромные преимущества газовых турбин как существенно более легких двигателей, особенно при высоких мощностях, осознаются и судостроителями, и многими судовладельцами, несмотря на большой расход топлива турбинами. Легкие сплавы на основе алюминия совершенствуются также довольно быстро, что позволяет строить суда водоизмещением более 1000 т.

Известно множество типов скоростных судов, каждый из которых имеет свои гидродинамические особенности, определяющие ограничения их скоростей.

В скорости, очевидно, нет равных экранопланам, однако только на тихой воде. Существенным элементом аэродинамического комплекса этих судов является наличие определенного расстояния между несущим крылом и поверхностью воды. Но при характерных для них скоростях в 400–500 км/ч и более даже единичный случайный контакт корпуса с волной может привести к очень существенным разрушениям, что и произошло во время опытной эксплуатации. Столь невысокая надежность, даже при значительном совершенствовании систем управления положением судна относительно воды, представляется

существенным недостатком и боевых катеров, и, тем более, пассажирских экранопланов, что заставляет сомневаться в принципиальной возможности их применения на акваториях с более или менее заметным волнением.

Наиболее известными и изученными скоростными катерами являются глиссеры. Условно считается, что глиссирование как специфический гидродинамический режим начинается при числе Фруда по водоизмещению около 3 ($Fr_V = v / (gV^{1/3})^{0.5}$, где v — скорость, м/с, g — ускорение свободного падения, м/с², V — объемное водоизмещение, м³). Уже довольно давно строились малотоннажные глиссеры со скоростями 100 уз и более. Преимущество их — относительная дешевизна постройки и эксплуатации.

Главный ограничитель средних эксплуатационных скоростей этих катеров — морское волнение. Во избежание существенных ударов днища о волны, днищевое слеминга, приводящего не только к неприемлемым вертикальным ускорениям, но и к большой вероятности разрушения конструкций корпуса, глиссеры вынуждены существенно снижать скорость на волнении.

На тихой воде ограничителем скорости глиссеров является вертикальная устойчивость продольного движения; обычно проблемы устойчивости появляются при числе Фруда по водоизмещению 6 и более, т. е. примерно при вдвое больших скоростях, чем в начале глиссирования. Для повышения устойчивости движения можно, например, снижать удельную нагрузку на днище, но при этом увеличивается и сопротивление (при равном водоизмещении).

Недостаточно высокая мореходность ограничивает достижимые скорости также катеров и судов на воздушной

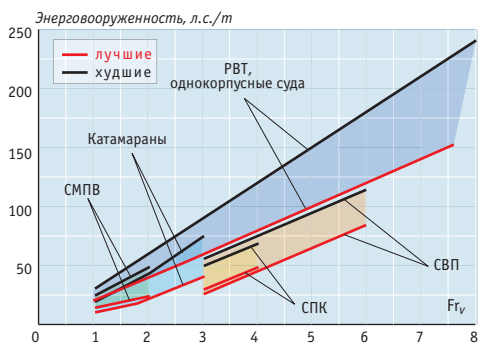


Рис. 1. Удельная мощность ЭУ скоростных катеров различных типов

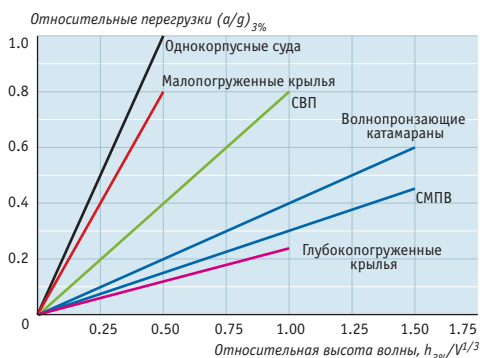


Рис. 2. Вертикальные ускорения катеров различных типов на встречном волнении

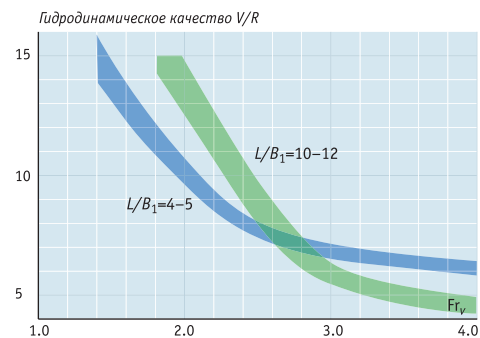


Рис. 3. Гидродинамическое качество изолированного корпуса традиционной формы

подушке, которые по ходкости на тихой воде превосходят традиционные глиссеры. Здесь проблема в том, что аппарат на подушке для предотвращения потери скорости должен поддерживать постоянный контакт с водой на достаточно большой ширине, т. е. как бы “собирать” энергию волн с широкой полосы. Это приводит к существенному возрастанию сопротивления на волнении. Кроме того, пока нельзя считать практически решенной проблему резонансов в объеме подушки на волнении, вызывающих качку различных направлений. Стоимость постройки СВП наибольшая по сравнению со всеми другими скоростными судами. Недаром после длительной эксплуатации амфибийных судов на подушке в Ла-Манше их заменяют пассажирскими катамаранами переходного скоростного режима.

Из известных скоростных судов наибольшей мореходностью отличаются суда на глубокопогруженных автоматически управляемых крыльях. Однако водоизмещение СПК принципиально ограничено, поскольку с ростом размеров оно увеличивается пропорционально третьей степени масштаба, а размеры крыльев и вес крыльев — только пропорционально квадрату масштаба, т.е. относительная площадь и вес крыльев должны расти быстрее водоизмещения. Кроме того, скорости, достижимые СПК, ограничены кавитацией крыльев, снижающей их несущую способность. Мореходность СПК также ограничена расстоянием между днищем судна и поверхностью воды в расчетном

режиме: превышение этого расстояния высотой волны приводит к возможности срыва режима обтекания крыльев и существенному ударному воздействию на судно. Стоимость постройки СПК также относительно выше, чем традиционного глиссера.

Скоростные катамараны, все чаще строящиеся в последние годы, отличаются высокими ходовыми качествами в переходном скоростном режиме, а также наименьшей стоимостью постройки на единицу площади палубы, что делает их экономически эффективными при транспортировке “объемных грузов”, к которым можно отнести автомобили и т. п., т.е. при использовании автомобильных и грузопассажирских перевозок. Отмеченные выше особенности ходкости скоростных катеров различных типов иллюстрирует рис. 1.

Качественное сопоставление вертикальных ускорений скоростных катеров разных типов на встречном волнении различной интенсивности показано на рис. 2.

Как следует из него, одними из лучших характеристик мореходности обладают так называемые “рассекающие волны” катамараны (РВК), отличающиеся от обычных катамаранов особой формой корпусов в надводной части. Однако характерное для катамаранов большое удлинение корпусов становится неэффективным со сменой переходного скоростного режима на глиссирование, что подтверждает рис. 3, где показано гидродинамическое качество корпуса V/R . Здесь V — водоизмещение, R — бук-

Рис. 4. Модель РВТ на расчетном скоростном режиме

Рис. 5. Модель надводной части РВТ в аэродинамической трубе



IX МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА

Boat Show Petersburg

Бот шоу

Ленэкспо С.-Петербург

7-10 июня

ПРИГЛАСИТЕЛЬНЫЙ БИЛЕТ



Рис. 6. Полунатурная модель РВТ, Австралия

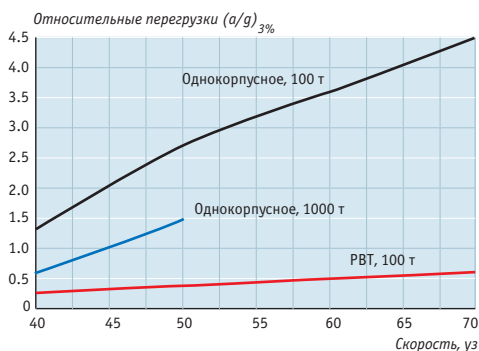


Рис. 7. Вертикальные ускорения в носовой части на встречном волнении, 4 балла

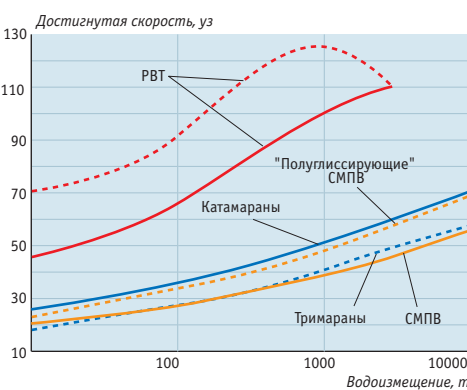


Рис. 8. Достижимые скорости объектов различных типов

сировочное сопротивление. Эта характеристика корпусов большого удлинения становится меньше, чем у корпусов малого удлинения при $F_{rV} > 3$.

Скоростное судно нового типа

Преимущества РВК в мореходности позволяют принять именно этот тип судов (катеров) как основу при поиске путей существенного повышения достижимых скоростей. Однако в настоящее время большинство объектов этого типа имеют скорости, близкие к верхнему пределу переходного скоростного режима, так что, как показывает рис.3, при существенном повышении скоростей потребуются уменьшение удлинения корпусов.

Для двух корпусов это представляется неудобным с общепроектной точки зрения, например, уменьшится продольная остойчивость и площадь палуб на тонну водоизмещения. Указанное противоречие устраняется путем перехода от двух корпусов к трем, расположенным "уступом". Это позволяет получить достаточно большую площадь палуб и продольную остойчивость при корпусах малого удлинения.

Существенное повышение скоростей диктует необходимость применения объемной надводной платформы обтекаемой формы, но крыльевидная платформа может также обеспечить заметную аэродинамическую подъемную силу. Так мы приходим к "полукрано-

плану", имеющему постоянный контакт с водой, с тремя "рассекающими волны" глиссирующими корпусами малого удлинения, названному автором "рассекающим волны" тримараном.

Буксировочные испытания РВТ показали, что до $F_{rV} = 5$ для каждого корпуса имеет место сильное неблагоприятное взаимодействие корпусов при всех приемлемых расположениях, и только при $F_{rV} \geq 6$ и выше имеет место небольшое благоприятное взаимодействие. Модель была испытана (рис.4) до $F_{rV} = 7.5$ для одного корпуса без признаков продольной неустойчивости движения. Есть основания полагать, что надводное крыло существенно демпфирует вертикальные самопроизвольные колебания и обеспечивает устойчивость движения при высоких относительных скоростях.

Испытания в аэродинамической трубе (рис. 5) показали, что выбранная форма надводной платформы с кормовыми интерцепторами обеспечивает аэродинамическое качество около 5 в широком диапазоне скоростей. Преимуществом дельтавидной в плане формы крыла является расположение центра аэродинамической подъемной силы над центром масс судна или несколько кормовее. При этом случайный порыв ветра, увеличивая подъемную силу, приведет к увеличению дифферента на нос, т. е. лишь к некоторому увеличению нагрузки на носовой корпус, не более. К сожалению, эта проблема была проигнорирована при испытаниях полунатуры на естественной акватории (рис. 6).

Внимательный анализ рис. 6 позволяет отметить несколько существенных положений. Прежде всего представляется совершенно неприемлемым наблюдаемый угол атаки крыла-платформы, ведь у натурального судна внутри этого крыла будут находиться пассажиры и команда, поэтому угол наклона днища платформы к горизонту может быть не более $2.5-3^\circ$. Более того, наблюдаемый угол атаки заставляет предположить,



IX ПЕТЕРБУРГСКИЙ САЛОН ЯХТ, КАТЕРОВ И СНАРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ВОДНЫХ ВИДОВ СПОРТА, ТУРИЗМА И ОТДЫХА



В 7 павильоне более 150 фирм
У 7 павильона – катера, лодки,
моторы, гидроциклы...
В акватории Гавани – водная
экспозиция яхт и катеров...

Boat Show Petersburg
Бот шоу
7-10 июня

ЯХТЫ
КАТЕРА
ЛОДКИ
МОТОРЫ
РЫБАЛКА
ДАЙВИНГ
ТУРИЗМ

Выставочный комплекс «Ленэкспо»
Павильон №7, время работы 11.00 – 20.00
Санкт-Петербург, Большой пр. В.О., 103
Тел.: +7 (812) 321-2679/80
E-mail: bthouse@mail.lenexpo.ru
www.boatshowpiter.ru



ЖУРНАЛ О ЛЮДЯХ, МОРЕ И КОРАБЛЯХ
КАПИТАН

КАТЕРА и ЯХТЫ
журнал основан в 1963 г.



Таблица 1

**ГЛАВНЫЕ РАЗМЕРЕНИЯ И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ПРЕДЛОЖЕННОГО РЯДА РВТ РАЗЛИЧНОГО ВОДОИЗМЕЩЕНИЯ**

Полное водоизмещение, т	20	100	900
Габаритные размеры, м	20x10x4.4	35x16x5.5	72x32x9.5
Дедвейт, т	7	35	350
Полезная площадь палуб, м ²	60	400	1,500
Количество пассажиров, чел.	50	250	600
Количество автомашин (легковых)	—	—	100
Количество и мощность ЭУ, МВт	2x0.75	2x3.7	2x33
Скорость на тихой воде, уз	50	65	95
Расчетная высота волны 3%-ной обеспеченности, м	1.25	2.0	3.5
Скорость на этом волнении, уз	38	50	70
Дальность на полной скорости, мили	200	300	1200

Таблица 2

**ХАРАКТЕРИСТИКИ КАТЕРОВ РАЗЛИЧНЫХ
ТИПОВ В РЕЖИМЕ ГЛИССИРОВАНИЯ ($Fr_V > 3.0$)**

Тип	Однокорпусный глиссер	СПК	СВП	РВТ
Верхний предел числа Фруда	Ок. 6	Ок. 4	(?)	Ок. 9–10
Относительная мощность ЭУ на верхнем пределе скоростей	3	2	1	3
Уровень мореходности при тех же скоростях	3	1	4	2
Относительная стоимость 1 м ² палубы	2	3	4	1
Уровень шума	2	3	4	1
Уровень живучести	2	3	4	1
Сумма мест (кроме первой строки)	12	12	17	8

что с увеличением скорости дифферент полунатурной модели на корму растет. Это может означать только то, что центр аэродинамической подъемной силы находится носовее центра масс модели, что совершенно недопустимо с точки зрения безопасности: велика вероятность случайного переворота через корму. И действительно, судя по публикациям, именно эта модель перевернулась в ходе испытаний, как часто бывает с гоночными катамаранами. В то же время правильное взаимное продольное расположение центра масс и центра аэродинамической силы РВТ гарантирует рост дифферента на нос при порыве ветра, что вызывает увеличение погружения носового корпуса и его статической силы поддержания.

Испытания на встречном волнении были проведены при скорости, соответствующей $Fr_V = 4.5$. Оказалось, что перегрузки в носовой части не превысили 0.5g; это позволяет предположить, что в названных условиях не было днищевого слеминга, при котором ускорения существенно выше.

Вертикальные ускорения натурного катера водоизмещением 100 т сопоставлены с натурными данными для обычных глиссеров двух различных водоизмещений (рис. 7). Очевидно существенное преимущество РВТ по вертикальным ускорениям на встречном волнении.

Таблица 3

ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ РВТ

	Преимущества	Недостатки
По сравнению с экранопланом	Большая безопасность, лучшая управляемость, больший пропульсивный коэффициент при использовании водяных движителей	Меньшие достижимые скорости
По сравнению с СВП	Меньшая стоимость постройки, меньшая шумность и вибрация, лучшая мореходность, большая удельная площадь палуб	Большее буксировочное сопротивление
По сравнению с СПК (автоматически управляемые ПК)	Большие достижимые скорости, меньшая стоимость постройки, повышенная непотопляемость, меньшая осадка	Меньшая мореходность
По сравнению с однокорпусным глиссером	Большая относительная площадь палуб, отсутствие днищевого слеминга, повышенная непотопляемость	Большой вес корпуса
По сравнению с глиссирующим катамараном	Большие достижимые скорости	Меньшая изученность

Таким образом, предлагаемая форма аэродинамической разгрузки дает заметные преимущества как по общему расположению и начальной остойчивости, включая продольную, так и по устойчивости движения и мореходности.

На основании проведенных испытаний были выполнены предэскизные проекты нескольких РВТ различного водоизмещения. Учитывая отмеченную выше связь между водоизмещением и скоростью, каждому значению водоизмещения соответствует минимальная допустимая скорость полного хода; верхний предел достижимых скоростей ограничен наибольшей скоростью, достигнутой на испытаниях модели ($Fr_V = 7.5$), а также пределом мощности современных газовых турбин.

На рис. 8 сопоставлены скорости РВТ, кажущиеся достижимыми сегодня, и скорости объектов различных типов в переходном режиме. Из него следует, что РВТ могут обеспечить увеличение достижимых скоростей примерно в два раза по сравнению с “рассекающими волны” катамаранами, которые сегодня оптимально сочетают в себе проектные, ходовые и мореходные качества.

Показанные графики основаны на предположениях, что катамараны с их корпусами большого удлинения обычно целесообразны с точки зрения ходовых качеств при $Fr_V \leq 3$ (см. рис. 3); “полу-

глиссирующие” СМПВ — до $Fr_L = 1.2–1.3$; тримараны и обычные СМПВ — до $Fr_L = 0.7$. Эти пределы могут быть обоснованы более подробно.

Масштабный ряд РВТ по водоизмещению был разработан на основании проведенных испытаний. При этом предложенная и запатентованная конструкция днища крыла-платформы позволила обеспечить вес легкосплавного корпуса в пределах от 35 (наименьшее водоизмещение) до 30 % (наибольшее водоизмещение). Проектные исследования показали, что водяные движители (вентилируемые водометы, предложенные сотрудниками ЦНИИ им. акад. А.Н.Крылова) применимы на скоростях при $Fr_V = 6.0$. Дальнейший рост скоростей приводит к настолько интенсивному падению оптимального диаметра водяного движителя, что его прочность не может обеспечить никакие известные материалы. При больших скоростях необходим переход к воздушным лвижителям, прежде всего к винтам в насадках. Откорректированные с учетом последнего обстоятельства приближенные характеристики рассмотренных РВТ приведены в табл. 1.

Приближенно определенные характеристики РВТ и имеющиеся данные о других скоростных катерах и судах позволяют дать им качественную характеристику (табл. 2).

Анализ данных табл. 2 позволяет сделать вывод о том, что предложенный новый тип скоростного судна — “рассекающий волны” тримаран — может стать серьезным конкурентом существующим типам катеров и судов. Более подробное, но тоже качественное сопоставление характеристик РВТ и скоростных катеров других типов приведены в табл.3.

Представляется, что РВТ может заполнить скоростной промежуток между экранопланами и СВП, имея к тому же лучшую мореходность, чем у них, медленно, но верно приближаясь по скорости к самолетам. ✕