

INVESTIGATION OF THE TOWING RESISTANCE OF A CATAMARAN WITH SIMPLIFIED HULL FORMS

K. M. Ushakov^{1,2}, Yu. V. Yatsuk¹, A. G. Sachenko²

¹ — Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

² — Forss Tekhnologii, Ltd., St. Petersburg, Russian Federation

The use of catamarans can be an effective solution for organizing mass passenger transportation on waterways. At the same time, there is a need to improve shipbuilding technology. The use of simplified hulls can be successfully employed to optimize the production process and significantly reduce construction costs. This article provides an analysis of existing studies on the resistance of vessels with simplified hull forms. It is shown that, in most cases, simplification of the hull form leads to an increase in towing resistance of up to 30%. The article presents the results of a model experiment conducted in the towing tank of the Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping. The model, with a single hull length of 2000 mm and a beam of 148 mm, was tested in calm water at three different drafts (60 mm, 80 mm, and 100 mm) and at speeds ranging from 1 m/s to 4 m/s, corresponding to Froude numbers between 0.22 and 0.90. The paper plots the towing resistance curves for the catamaran with simplified hull forms and presents the results of an experimental study of the effect of trim and draft on the towing resistance. The dependences of the residual resistance coefficient on the Froude number are examined. The data obtained during the experiment are compared with published results of propulsive performance studies of catamarans with similar principal particulars. The study provides evidence that simplifying the hull forms of high-speed multi-hull vessels negatively impacts towing resistance. It is concluded that the results obtained can be used in the design of vessels with simplified hull forms.

Keywords: catamaran, simplified hull forms, seakeeping, resistance, trim, draught, towing tests, multihull vessel, residual resistance, high-speed vessel.

For citation:

Ushakov, Konstantin M., Yu. V. Yatsuk and A. G. Sachenko “Investigation of the towing resistance of a catamaran with simplified hull forms.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 17.1 (2025): 127–137. DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-1-127-137.

УДК 629.5.022.22:532.583.4

ИССЛЕДОВАНИЕ БУКСИРОВОЧНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КАТАМАРАНА С УПРОЩЕННЫМИ ОБВОДАМИ

К. М. Ушаков^{1,2}, Ю. В. Яцук¹, А. Г. Саченко²

¹ — ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

² — ООО «Форс технологии», Санкт-Петербург, Российская Федерация

Темой работы является исследование сопротивления воды движению катамаранов с упрощенными обводами. В статье выполнен анализ существующих исследований ходкости судна с упрощенными обводами. Показано, что в большинстве случаев использование такого рода конструкции судна ведет к увеличению буксировочного сопротивления до 30 %. Представлены результаты модельного эксперимента, выполненного в опытовом бассейне ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова». Отмечается, что было проведено испытание модели на тихой воде со следующими характеристиками: длина модели — 2000 мм, ширина — 148 мм, осадка 60 мм, 80 мм и 100 мм в диапазоне скоростей 1–4 м/с, что соответствует числам Фруда 0,22–0,90. Выполнено построение кривых буксировочного сопротивления катамарана с упрощенными обводами, а также приведены результаты экспериментального исследования влияния дифферента и осадки на величину буксировочного сопротивления. Рассмотрены зависимости коэффициента остаточного сопротивления от числа Фруда. Выполнено сравнение данных, полученных в процессе проведения испытаний, с опубликованными в других работах результатами исследований ходкости близких по основным соотношениям

размерений катамаранов. Приведены доказательства того, что упрощение обводов высокоскоростных многокорпусных судов оказывает отрицательное влияние на величину буксировочного сопротивления. Сделан вывод о том, что полученные результаты могут найти применение при проектировании судов с упрощенными обводами.

Ключевые слова: катамаран, упрощенные обводы, ходкость, сопротивление, дифферент, осадка, модельные испытания, многокорпусное судно, остаточное сопротивление, высокоскоростное судно.

Для цитирования:

Ушаков К. М. Исследование буксировочного сопротивления катамарана с упрощенными обводами / К. М. Ушаков, Ю. В. Яцук, А. Г. Саченко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2025. — Т. 17. — № 1. — С. 127–137. DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-1-127-137. — EDN NLJFNC.

Введение (Introduction)

В России для высокоскоростных пассажирских перевозок традиционно применяются суда на подводных крыльях, за рубежом используются преимущественно многокорпусные суда, в частности катамараны. Особенность планировки многокорпусных судов заключается в наличии просторных палуб, позволяющих удобно разместить большое количество пассажиров. Для высокоскоростных судов характерны лекальные обводы, что требует применения листов со значительной кривизной, для изготовления которых необходим значительный объем гибочных работ. Примеры обводов таких катамаранов приведены в статье [1]. Процесс их качественного производства в современной практике является дорогостоящим и продолжительным, в то время как для заказчиков существенное значение имеют скорость постройки судна и его стоимость.

Объем гибочных работ можно существенно сократить, упростив обводы и увеличив в конструкции количество плоских листов. В работе [2] отмечается, что применение упрощенных обводов, независимо от материала корпуса, имеет большие технологические преимущества, позволяющие сократить плазовые и разметочные работы, уменьшить отходы материала при обработке, увеличить объем автоматизированных и механизированных операций при обработке, сборке и сварке секций и во время проведения стапельных работ, уменьшить производственные площади для сборки и сварки секций, увеличить количество унифицированных и стандартных деталей и элементов корпусных конструкций, сократить номенклатуру оснастки для обработки, сборки и сварки секций, проверочных работ на стапельном месте, улучшить условия прокладки трубопроводов систем, кабельных трасс, размещения механизмов и оборудования.

Вопросу проектирования судов с упрощенными обводами посвящено большое количество исследований. Так, в статье [3] рассмотрено влияние прямой и скругленной скулы на сопротивление воды движению судна, при этом отмечается, что скругленная скула уменьшает брызгообразование, требуя при этом гибки поперечного набора и листов обшивки скулового пояса. В работе [4] рассмотрена возможность проектирования рыболовного судна с упрощенными обводами на базе проекта малых рыболовных траулеров кормового траления (МРТК) типа «Балтика». В статье [5] представлен проект скоростного пассажирского судна-катамарана с упрощенными асимметричными обводами корпуса со скуловыми брызгоотбойниками и стреловидными поперечными реданами, что позволяет, по мнению авторов, более быстро, плавно и устойчиво выходить в режим глиссирования с минимальным брызгообразованием. К сожалению, работа [5] не содержит данных, позволяющих сделать вывод о том, в какой мере ее авторам удалось достичь заявленных показателей.

В отчете по НИР¹ и научной публикации А. Б. Карпова «Сопротивление воды движению судов с поверхностью корпусов из плоских секций» (Труды Горьковского политехнического ин-

¹ Министерство речного флота РСФСР «Новосибирский институт инженеров водного транспорта (НИИВТ)»: отчет по НИР «Модельные испытания по определению гидромеханических характеристик», т. I: Буксировочные испытания модели с лекальными обводами, тема № УШ-4.4 по плану НИР МРФ, тема 26/79 по плану НИИВТ. Новосибирск, 1981. С. 12–15.

ститута им. А. А. Жданова. 1974. № 13. С. 31–37) приведены результаты модельного эксперимента по определению сопротивления моделей теплоходов пр. 507, Р143, 2110 и их аналогов с упрощенными обводами пр. 507'Пл, Р143'Пл, 2110'Пл. В ходе исследований было установлено, что упрощение обводов вызывает значительный рост буксировочного сопротивления. На основании полученных результатов можно сделать прогноз о том, что применение упрощенных обводов при проектировании высокоскоростных судов приведет к появлению гидродинамических эффектов, нехарактерных для сравнительно тихоходных судов.

Целью данной работы является исследование ходкости высокоскоростных катамаранов с упрощенными обводами.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Исследование проводилось в опытовом бассейне ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова». Установка для проведения измерений гидродинамических сил, возникающих на корпусе модели судна при ее буксировке, включала чашу бассейна, буксировочную тележку и комплект измерительной аппаратуры. Характеристики чаши бассейна: длина 120 м, ширина — 6,0 м, глубина — 3,0 м. Максимально возможная скорость буксировки составляла около 6 м/с.

Для исследования была выбрана модель катамарана с остроскулыми упрощенными обводами. Длина одного корпуса модели — 2000 мм, ширина — 148 мм. Форма обводов показана на рис. 1 и 2.

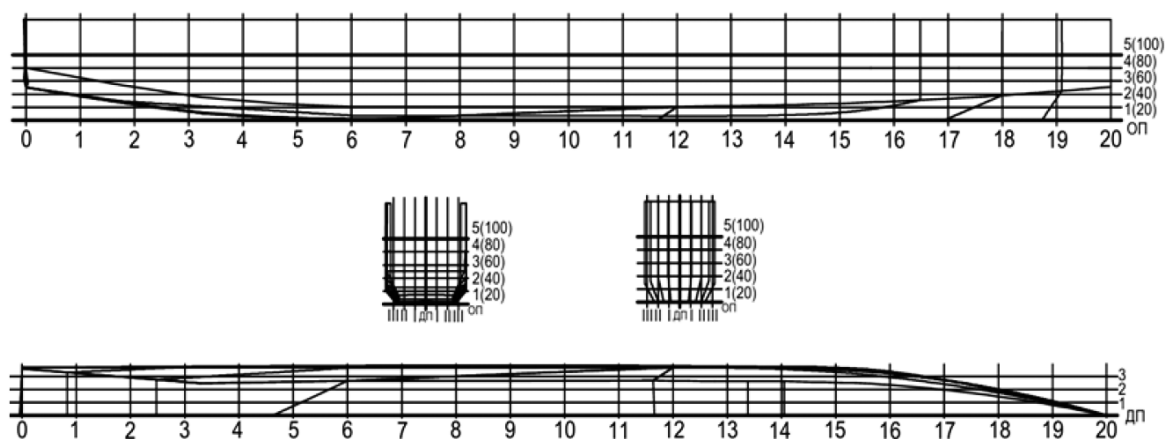


Рис. 1. Форма корпуса модели



Рис. 2. Вид модели катамарана с упрощенными обводами

Испытания катамарана проводились при трех значениях осадки: 60 мм, 80 мм и 100 мм. В каждом случае были исследованы три варианта посадки: на ровный киль с дифферентом 20 мм на нос и с дифферентом 20 мм на корму.

В данной работе представлены результаты проведения испытаний ходкости и получены кривые буксировочного сопротивления, а также определено остаточное сопротивление в зависимости от числа Фруда. Определение коэффициентов остаточного сопротивления выполнялось без учета динамического изменения площади смоченной поверхности.

Последовательность выполненных расчетов следующая.

1. Вычисление коэффициента полного сопротивления модели (C_M):

$$C_M = \frac{2R_T}{\rho V^2 S_M},$$

где R_T — измеренная сила сопротивления корпуса модели, Н;

S_M — площадь смоченной поверхности модели, м²;

V — скорость буксировки модели, м/с;

$\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ — массовая плотность воды.

2. Определение числа Фруда (относительной скорости — Fn):

$$Fn = V / \sqrt{gL},$$

где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ — ускорение свободного падения;

V — скорость буксировки модели, м/с;

L — длина модели, м.

3. Число Рейнольдса:

$$Re_M = VL / \nu_M,$$

где $\nu_M = 1,092 \cdot 10^{-6}$ — кинематическая вязкость воды в опытовом бассейне, м²/с.

4. Вычисление коэффициента сопротивления эквивалентной гладкой пластины $C_{F_{o.m}}$

$$C_{F_{o.m}} = \frac{0,075}{(\lg Re_M - 2)^2}.$$

5. Коэффициент остаточного сопротивления корпуса C_R

$$C_R = C_M - C_{F_{o.m}}.$$

Для высокоскоростных судов определение коэффициента остаточного сопротивления в некоторых случаях рекомендуется выполнять с учетом ходового изменения смоченной поверхности. Учет данного фактора позволяет точнее разделить составляющие полного сопротивления. При испытаниях данной модели ходовые дифферент и всплытие были относительно небольшими, поэтому учет ходовой посадки не выполнялся.

Результаты (Results)

На рис. 3 приведены экспериментальные значения полного сопротивления R_M в зависимости от скорости V , дифферента ψ и осадки T . При увеличении осадки полное сопротивление возрастает. В процессе проведения эксперимента в опытовом бассейне максимальная скорость движения модели оказалась ограниченной заливанием палубы.

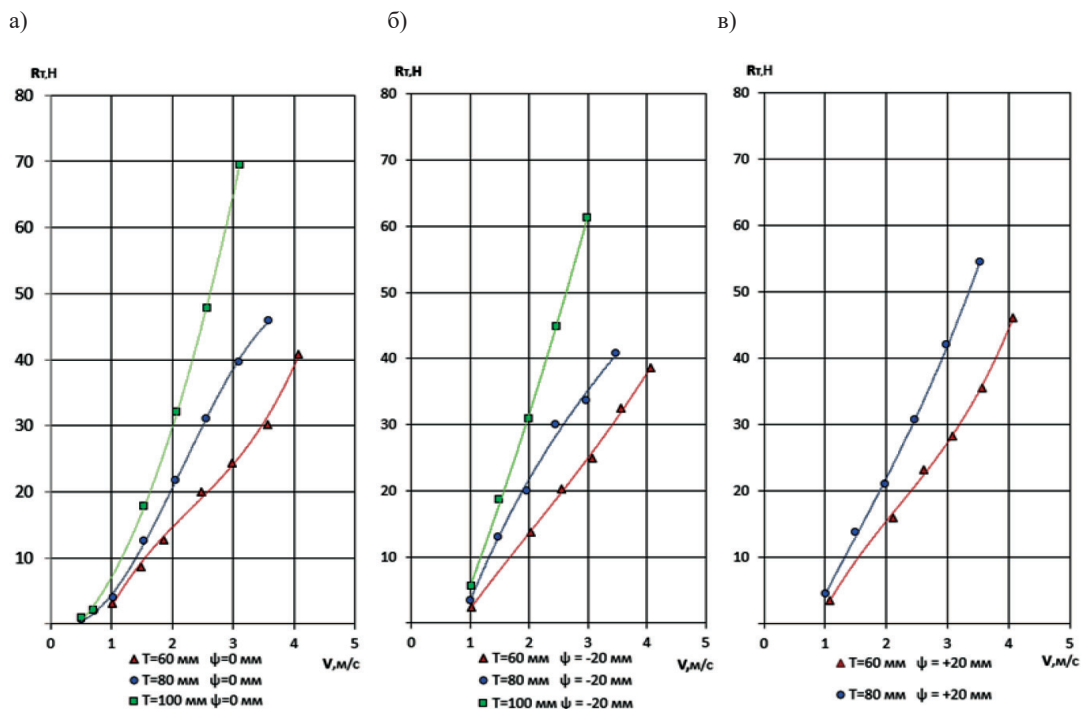


Рис. 3. Экспериментальные значения полного сопротивления в зависимости от скорости, дифферента и осадки:
а — посадка на ровный киль; б — дифферент на корму; в — дифферент на нос

На рис. 4 показаны экспериментальные значения коэффициента остаточного сопротивления в зависимости от числа Фруда, дифферента и осадки.

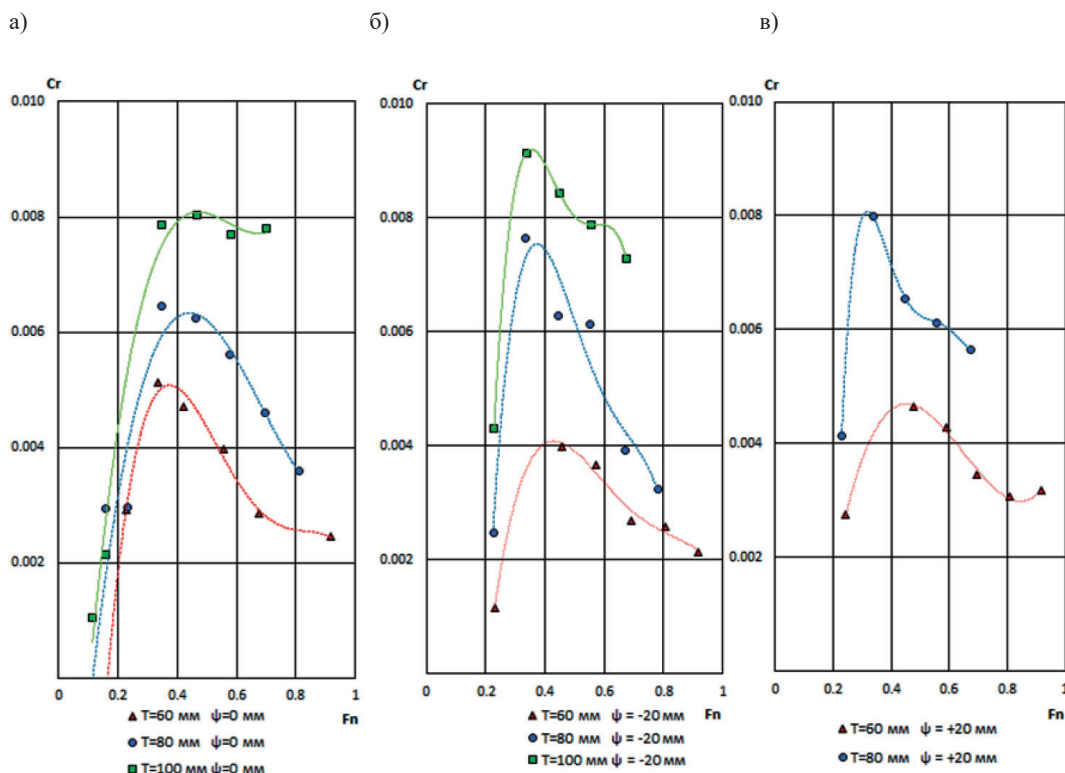


Рис. 4. Экспериментальные значения коэффициента остаточного сопротивления C_R в зависимости от числа Фруда, дифферента и осадки:
а — посадка на ровный киль; б — дифферент на корму; в — дифферент на нос

Характер полученных кривых в целом соответствует современным представлениям о гидродинамике высокоскоростных судов [1]. При относительной скорости около 0,40 имеется характерный максимум на кривых остаточного сопротивления. Форма кривой несколько отличается для варианта с осадкой $T = 100$ мм при посадке на ровный киль. Возможно, необычная зависимость вызвана повышенным заливанием палубы модели и узла крепления модели к динамометру. Вследствие этой же причины испытания при осадке 100 мм и дифференте на нос не проводились.

Обсуждение (Discussion)

Как видно из рис. 3 и 4, для всех осадок при числе Фруда более 0,60 дифферент на нос вызывает увеличение сопротивления, а на корму — снижение. Считается, что при движении с малой скоростью преимущество в сопротивлении должно быть у вариантов с посадкой на ровный киль или с небольшим дифферентом на нос [6]. Для осадок 80 мм и 100 мм сопротивление ниже при нулевом дифференте, однако в случае осадки 60 мм минимальные значения коэффициента остаточного сопротивления были получены также при дифференте на корму. При любых значениях скорости и дифферента остаточное сопротивление ниже для варианта с осадкой 60 мм, т. е. для модели с максимальным отношением ширины одного корпуса к осадке. Было выполнено сравнение полученных в результате эксперимента данных с опубликованными данными о сопротивлении близких по размерениям катамаранов, а также с результатами расчетов, выполненных с использованием существующих статистических методов.

Сравнение полученных данных и результатов расчетов с использованием метода Grubisic приведены на рис. 5. Видно, что значения коэффициентов остаточного сопротивления, рассчитанных согласно указанному методу, близки к экспериментальным значениям, полученным в результате модельного эксперимента. При осадке 60 мм кривая, рассчитанная по методу Grubisic, находится ниже экспериментальной кривой при относительной скорости $Fn < 0,4$ и выше в диапазоне скоростей $Fn = 0,4–0,6$, кривые практически совпадают в диапазоне скоростей $Fn = 0,7–1$. При осадке 80 мм экспериментальная кривая расположена выше кривой, рассчитанной по методу Grubisic, при скоростях $Fn < 0,4$ и $Fn > 0,6$.

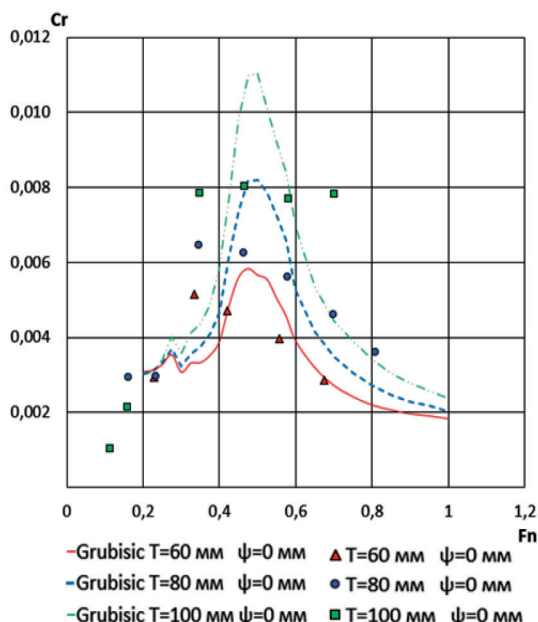


Рис. 5. Расчетные и экспериментальные значения коэффициента остаточного сопротивления C_R в зависимости от числа Фруда относительно нулевого дифферента и осадок

В статье [7] описано применение воздушной каверны на днище высокоскоростных катамаранов в качестве возможного решения проблемы снижения гидродинамического сопротивления

движению судов не только за счет уменьшения сопротивления трения, но и за счет уменьшения волнового сопротивления благодаря благоприятной интерференции волновых систем корпусов. В частности, были выполнены сравнительные испытания катамарана на воздушной каверне и высокоскоростного катамарана с обводами, спроектированными для переходного режима. При числе Фруда по водоизмещению $Fn_D = 1,5$ выигрыш в сопротивлении по сравнению с традиционным аналогом составил $\delta = 12,9 \%$, при $Fn_D = 2,0$ — $\delta = 18,8 \%$, при $Fn_D = 2,5$ — $\delta = 24,8 \%$, где $Fn_D = \frac{V_0}{\sqrt{9,81D^{1/3}}}$ и δ — разница сопротивлений.

Таким образом, результаты испытаний позволили ответить на вопрос о возможности эффективного применения искусственной каверны для снижения гидродинамического сопротивления катамаранов, эксплуатируемых в переходном режиме движения при скорости хода в диапазоне $Fn_D = 1,0 - 3,0$. При скорости $Fn_D = 2,5$ возможно снижение гидродинамического сопротивления за счет применения воздушной каверны на величину до 25 %. Влияние морского волнения на состояние каверны и величину сопротивления в данном случае не рассматривается. Сравнение относительного сопротивления данных катамаранов с наиболее близким, полученным в рамках данного исследования, приведено на рис. 6.

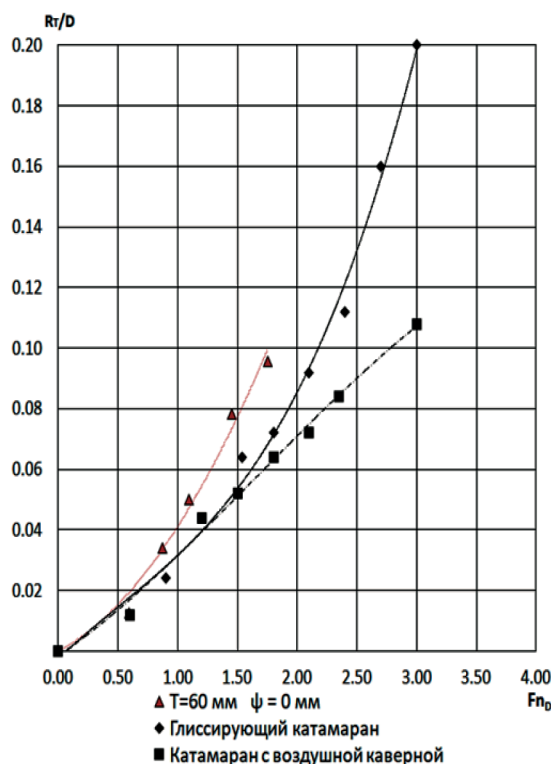


Рис. 6. Зависимость обратного гидродинамического качества R_T / D от числа Фруда по водоизмещению

Зависимость обратного гидродинамического качества R_T / D — отношение полного сопротивления R_T , Н, к водоизмещению D , Н. Согласно приведенным данным, сопротивление испытанного катамарана выше в среднем на 25 % по сравнению с полученными результатами в работе [7].

В процессе испытаний модели катамарана с упрощенными обводами изменение дифферента было незначительным, что нехарактерно для подобных судов. В работе [8] отмечается, что дифферент на корму положительно сказывается на величине буксировочного сопротивления скоростных судов. У многих катамаранов обшивка днища в носу имеет подъем, обеспечивающий увеличение ходового дифферента. В связи с этим в процессе проведения дальнейших исследований планируется модифицировать таким образом форму прошедшего испытания катамарана.

В статье [9] в результате модельного эксперимента была получена кривая буксировочного сопротивления для катамарана с носовой оконечностью *V*-образной формы и форштевнем с обратным наклоном. Длина судна составляла 27 м, ширина одного корпуса — 1,85 м, средняя осадка — 1,25 м. Сравнение результатов испытаний выполнено для модели с осадкой 100 мм, поскольку она наиболее близка по соотношению B/T .

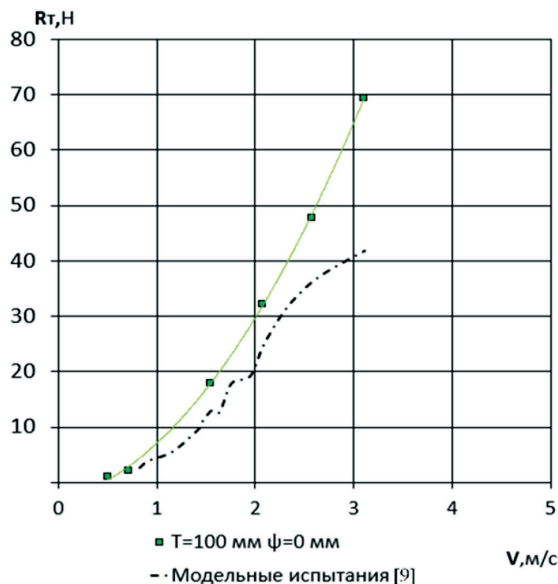


Рис. 7. Экспериментальные кривые буксировочного сопротивления модели при нулевом дифференте

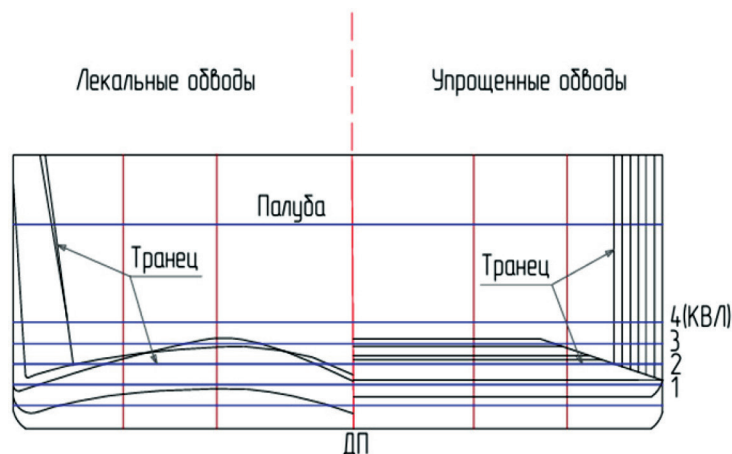


Рис. 8. Кормовые оконечности проекций «корпус» теоретических чертежей моделей судов пр. Р143 и Р143Тл

В ходе проведения испытаний в Новосибирском институте инженеров водного транспорта (НИИВТ) модели пр. Р143 и пр. Р143Тл выполнены в масштабе 1:10, диапазон чисел Фруда составил 0,08–0,2; на глубокой воде сопротивление модели с упрощенными обводами больше сопротивления модели лекальных обводов в среднем на 12 %, на мелководье сопротивление модели Р143Тл превышает сопротивление модели Р143 в среднем на 6 %.

Модели судов пр. 507 и пр. 507Тл были изготовлены в масштабе 1:30, диапазон чисел Фруда составил от 0,075 до 0,18. На глубокой воде при $Fn = 0,18$ наблюдается равенство сопротивлений, на меньших скоростях сопротивление модели с упрощенными обводами больше, чем сопротивление модели с лекальными обводами. На мелководье равенство сопротивления моделей достигается при $Fn = 0,135$, при меньшей скорости сопротивления модели 507Тл увеличение достигает 28 %.

Модель 2110Тл была выполнена с упрощенными обводами в носу, состоящими из двух наклонных плоскостей, переходящих в днищевую плоскость с радиусным закруглением, в корме — из пяти днищевых плоскостей и борта, представляющих развертывающуюся поверхность с кривизной в одном направлении. Модели пр. 2110 и пр. 2110Тл были изготовлены в масштабе 1 : 10. Диапазон чисел Фруда составляет от 0,103 до 0,278. На глубокой и мелкой воде сопротивление модели с упрощенными обводами больше сопротивления модели лекальных обводов в среднем на 30 %.

В статье [3] изучено влияние формы скулы на сопротивление. Для проведения испытаний была изготовлена модель с соотношением размерений $L / B = 2,88$ и $B / T = 5,15$. На основе приведенных данных сделан вывод о том, что форма скулы для данной модели практически не влияет на сопротивление воды движению судна. Буксировки проводились в диапазоне чисел Фруда 0,111–0,331.

В статье [4] в качестве объекта исследования выбран корпус судна с упрощенными обводами, разработанный на базе проекта МРТК типа «Балтика». В ней представлены расчеты остойчивости на больших углах крена в выбранном случае нагрузки и расчеты сопротивления судна с упрощенными обводами для оценки гидродинамических характеристик. Результаты сравнения сопротивления показали, что применение упрощенных обводов ведет к росту сопротивления в условиях свободного хода до 3,5 %, в условиях траления рост сопротивления составил 0,12 %. Расчет сопротивления для оценки гидродинамических характеристик судна с упрощенными обводами и МРТК «Балтика» выполнен авторами по методу В. А. Ерошина. Необходимо отметить, что данный метод применим для промысловых судов с круглоскулистыми обводами. Для варианта с упрощенными обводами должен быть использован один из методов расчета сопротивления водоизмещающих остроскулых судов (например, метод Робинсона или метод Савицкого). Сравнение расчетов сопротивления, выполненных различными методами для разных обводов, является более корректным.

В результате выполненных в статье [10] расчетов кинематических характеристик продольной качки и волновых изгибающих моментов с использованием нелинейной теории качки на нерегулярном волнении установлено, что ходкость и мореходность судов с упрощенными обводами хуже по сравнению с традиционными обводами. Авторы считают, что применение упрощенных обводов для среднескоростных и быстроходных водоизмещающих судов нецелесообразно ввиду значительного увеличения сопротивления, требуемой мощности, характеристик продольной качки и волновых изгибающих моментов.

В статье [11] исследовано сопротивление воды движению маломерного судна с упрощенными обводами. Исследование включало расчеты по эмпирическим зависимостям, с использованием численных методов, с помощью проведения модельного эксперимента и натурных испытаний. Достоверность расчетных и модельных исследований невелика вследствие применения некорректных методик, программного продукта и очень маленького размера модели, однако полученные натурные данные позволяют судить о величине сопротивления с достаточной точностью. Сравнение с приведенными в данной работе результатами расчетов по методам Холтропа и Ерошина фактически является сопоставлением остроскулого и круглоскулого вариантов судна. Сопротивление судов с упрощенными обводами в зависимости от скорости оказалось выше на 30–90 %.

Выводы (Summary)

На основе проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Анализ исследуемых данных показал, что влияние упрощения обводов на буксировочное сопротивление судов неоднозначно. В некоторых случаях вариант с упрощенными обводами практически не уступает варианту с лекальными обводами. Однако в большинстве случаев упрощение формы корпуса вызывает увеличение сопротивления на величину до 30 %.

2. Получены экспериментальные данные о сопротивлении воды движению катамарана с упрощенными обводами при разных значениях осадки и дифферента. Было выполнено сравнение с результатами испытаний, близкими по соотношениям размерений катамаранов, а также с результатами расчетов, выполненных с использованием статистических методов. Сравнение показало, что упрощение обводов, как правило, увеличивает буксировочное сопротивление.

3. На основании полученных результатов планируется модифицировать форму обводов, добавив небольшой уклон обшивки днища в носовой оконечности с тем, чтобы увеличить ходовой дифферент и снизить площадь смоченной поверхности на высоких скоростях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ушаков К. М. Экспериментальное исследование влияния параметров катамарана на остаточное сопротивление / К. М. Ушаков, Ю. В. Яцук // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. — 2023. — Т. 15. — № 2. — С. 295–303. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-2-295-303. — EDN AAELZL.

2. Глозман М. К. Технологичность конструкций корпуса морских судов. / М. К. Глозман. — Л: Судостроение, 1984. — 296 с.

3. Иванова А. П. Исследование влияния формы скулы на сопротивление воды движению судна / А. П. Иванова, А. Д. Мухамедшина, Е. А. Попова // 73-я Международная студенческая научно-техническая конференция: материалы конференции, Астрахань, 17–22 апреля 2023 года. — Астрахань: Астраханский государственный технический ун-т, 2023. — С. 1234–1236 — EDN MBPKEU.

4. Москаленко Ю. В. Разработка проекта судна с упрощенными обводами на базе проекта 1328 МРТК Балтика / Ю. В. Москаленко, А. А. Мушенков, Д. Р. Синкевичуте, И. И. Шахмиев // Вестник молодежной науки. — 2024. — № 1(43). — С. 11. DOI: 10.46845/2541-8254-2024-1(43)-17-17. — EDN CWLAJT.

5. Маслюк Е. В. Скоростное пассажирское судно-катамаран / Е. В. Маслюк, С. В. Гриб // Инновации в науке, образовании и бизнесе — 2013: труды XI Международной научной конференции. Калининград, 25–27 сентября 2013 года. Ч. 1. — Калининград: Калининградский государственный технический ун-т, 2013. — С. 319–322 — EDN ZEEVBT.

6. Ушаков К. М. Влияние дифферента на сопротивление воды движению модели малого пассажирского судна / К. М. Ушаков // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2021. — Т. 13. — № 5. — С. 723–729. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-5-723-729. — EDN EPXJER.

7. Метелица С. С. Экспериментальное исследование ходкости высокоскоростных катамаранов с воздушной каверной / С. С. Метелица // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2015. — № 3. — С. 14–22. — EDN UDUJSJ.

8. Сверчков А. В. Экспериментальное исследование влияния конструктивных и эксплуатационных факторов на ходовые качества волнорассекающего катамарана / А. В. Сверчков, Г. Б. Крыжевич, А. Ю. Правдин // Морские интеллектуальные технологии. — 2021. — № 2–3(52). — С. 13–19. DOI: 10.37220/MIT.2021.52.2.029. — EDN ALIETG.

9. Никитина А. Э. Исследование буксировочного сопротивления катамарана / А. Э. Никитина, К. М. Ушаков // Современные тенденции и перспективы развития водного транспорта России 19 мая 2022 года: материалы XIII межвузовской научно-практической конференции аспирантов, студентов и курсантов (в 3 ч.). Ч. 2. — СПб: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2022. — С. 36–45.

10. Суров О. Э. Влияние формы корпуса на мореходность и прочность судов / О. Э. Суров, М. В. Китаев, Е. Е. Соловьева // Судостроение. — 2023. — № 1(866). — С. 8–12. — EDN IPZVNA.

11. Аносов А. П. Сопротивление воды движению маломерных судов с упрощенными обводами / А. П. Аносов, С. В. Антоненко, В. О. Бессонова, А. А. Воробьева // Морские интеллектуальные технологии. — 2024. — № 1–1(63). — С. 31–40. DOI: 10.37220/MIT.2024.63.1.003. — EDN DZIRDH.

REFERENCES

1. Ushakov, K. M. and Yu. V. Yatsuk. “Experimental study of the influence of catamaran parameters on water resistance.” *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova* 15.2 (2023): 295–303. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-2-295-303.

2. Glozman, M. K. *Tekhnologichnost' konstruktsey korpusa morskikh sudov*. L: Sudostroenie, 1984: 296.

3. Ivanova, A. P., A. D. Mukhamedshina and E. A. Popova. “Issledovanie vliyaniya formy skuly na soprotivlenie vody dvizheniyu sudna.” *73-ya Mezhdunarodnaya studencheskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya: materialy konferentsii, Astrakhan', 17–22 aprelya 2023 goda*. Astrakhan': Astrakhanskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet, 2023: 1234–1236.

4. Moskalenko, Yu. V., A. A. Mushenkov, D. R. Sinkevichute and I. I. Shakhmiev. "Development of a vessel design with simplified contours based on the project 1328 MRTK Baltika." *Vestnik molodezhnoy nauki* 1(43) (2024): 11. DOI: 10.46845/2541-8254-2024-1(43)-17-17.

5. Maslyuk, E. V. and S. V. Grib. "Skorostnoe passazhirskoe sudno-katamaran." *Innovatsii v nauke, obrazovanii i biznese — 2013: trudy XI mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, Kaliningrad, 25–27 sentyabrya 2013 goda. Tom Chast' I*. Kaliningrad: Kaliningradskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet, 2013: 319–322.

6. Ushakov, K. M. "Trim influence on water resistance to movement of small passenger ship model." *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admiral S. O. Makarova* 13.5 (2021): 723–729. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-5-723-729.

7. Metelitsa, S. S. "Experimental research of propulsion high-speed catamarans with an air cavity." *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies* 3 (2015): 14–22.

8. Sverchkov, A. V., G. B. Kryzhevich and A. Yu. Pravdin. "Experimental investigation of structural and operational factor effects on speed performance of wave cleaving catamarans." *Morskie intellektual'nye tekhnologii* 2–3(52) (2021): 13–19. DOI: 10.37220/MIT.2021.52.2.029.

9. Nikitina, A. E. and K. M. Ushakov. "Issledovanie buksirovochnogo soprotivleniya katamarana." *Sovremennye tendentsii i perspektivy razvitiya vodnogo transporta Rossii 19 maya 2022 goda: materialy XIII mezhvuzovskoy nauchno- prakticheskoy konferentsii aspirantov, studentov i kursantov. Ch.2* SPb: Izd-vo GUMRF im. adm. S. O. Makarova, 2022: 36–45.

10. Surov, O. E., M. V. Kitaev and E. E. Solov'eva. "Influence of hull shape on seagoing performance and endurance of vessels." *Shipbuilding* 1(866) (2023): 8–12.

11. Anosov, A. P., S. V. Antonenko, V. O. Bessonova and A. A. Vorob'eva. "Water resistance to the movement of small vessels with simplified hull lines." *Morskie intellektual'nye tekhnologii* 1–1(63) (2024): 31–40. DOI: 10.37220/MIT.2024.63.1.003.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ушаков Константин Михайлович — доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
Двинская, 5/7
ведущий инженер-конструктор
ООО «Форсс технологии»
190013, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
Бронницкая 44/117, лит. А, пом. 1Н
e-mail: lotinskey@yandex.ru,
kaf_shipbuilding@gumrf.ru
Яцук Юрий Владимирович —
кандидат технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
Двинская, 5/7
e-mail: YatsukUV@gumrf.ru
Саченко Александра Григорьевна — инженер
ООО «Форсс технологии»
190013, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
Бронницкая, 44/117, лит. А, пом. 1Н
e-mail: Sachenko0501@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ushakov, Konstantin M. — associate professor,
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
lead design engineer,
Forss Tekhnologii, Ltd.
44/117 Bronnitskaya Str., St. Petersburg, 190013,
Russian Federation
e-mail: lotinskey@yandex.ru,
kaf_shipbuilding@gumrf.ru
Yatsuk, Yury V. —
PhD, professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: YatsukUV@gumrf.ru
Sachenko, Alexandra G. — engineer
Forss Tekhnologii, Ltd.
44/117 Bronnitskaya Str., St. Petersburg, 190013,
Russian Federation
e-mail: Sachenko0501@mail.ru

Статья поступила в редакцию 16 января 2024 г.
Received: Jan. 16, 2024.