

УДК 531.391.1:532.5.011
DOI: 10.37890/jwt.vi84.617

Исследование влияния несимметричных корпусов на гидродинамику речного катамарана грузоподъемностью 1000т.

Е.Ю. Чебан

ORCID: 0000-0002-0983-9879

М.Н. Москалева

ORCID: 0009-0006-5811-1821

А.И. Кожевников

ORCID: 0000-0001-9013-8510

Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В статье представлены результаты численного моделирования гидродинамики катамарана г/п=1000 т. с несимметричными корпусами. При моделировании использовались результаты исследований сопротивления катамаранов М.Я. Алферьева. Параметры численного моделирования, расчетная сетка устанавливались на основании верификации с результатами модельных экспериментов, показавшие хорошее совпадение. Моделировался катамаран в натурную величину для устранения масштабных эффектов в диапазоне чисел Фруда от 0,145 до 0,255. По результатам моделирования построены графики изменения коэффициентов сопротивления в зависимости от чисел Фруда и относительных клиренсов. Результаты исследования позволяют утверждать, что несимметрия корпуса в соотношении 0,35 к 0,65 с более узкой частью внутрь не оказывает существенного влияния на коэффициенты сопротивления в указанном диапазоне чисел Фруда по сравнению с симметричным корпусом. В то же время высоты волн в корме катамарана от несимметрии зависят существенно и оказываются ниже для несимметричного корпуса относительно симметричного.

Ключевые слова: внутренние водные пути, речной катамаран, трансформация корабельных волн, волновое сопротивление, несимметричные корпуса, численное моделирование

Study of the influence of asymmetrical hulls on the hydrodynamics of a river catamaran 1000 ton capacity

Egor Yu. Cheban

<https://orcid.org/0000-0002-0983-9879>

Maria N. Moskaleva

<https://orcid.org/0009-0006-5811-1821>

Artur I. Kozhevnikov

<https://orcid.org/0000-0001-9013-8510>

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article presents the results of numerical modeling hydrodynamics of the catamaran with a capacity of 1000 tons and asymmetric hulls. The results of the M.Ya. Alferyev resistance studies of a river catamarans were used in the modeling. The numerical simulation parameters and the computational mesh were set based on verification with the results of model experiments. Comparing showed good agreement with towing test data. A full-size catamaran was modeled to eliminate scale effects in the Froude number range from 0.145 to 0.255. Based on the simulation results, graphs of the change in drag coefficients

depending on the Froude numbers and relative catamaran's clearances were constructed. The results of the study allow us to state that the asymmetry of the hull in the ratio of 0.35 to 0.65 with a narrower part inward does not have a significant effect on the drag coefficients in the specified range of Froude numbers compared to a symmetrical hull. At the same time, the wave heights at the stern of the catamaran depend significantly on asymmetry and are lower for an asymmetrical hull than for a symmetrical one.

Keywords: inland waterways, river catamaran, wave formation of catamarans, wave resistance, nonsymmetrical hull, numerical modeling, resistance components.

Введение

Российская Федерация обладает сетью внутренних водных путей (ВВП) общей протяженностью около 101589.5 км, существенная часть которых расположена в регионах с достаточно ограниченной по времени навигацией, что требует повышения скорости транспортировки грузов и пассажиров по этим участкам ВВП. Значительную часть перевозимых грузов составляет колесная и гусеничная техника, а также контейнеры. В настоящее время для таких перевозок используются в том числе, суда проекта СК-2000, приспособленные для работы в качестве паромов (рис.1). Однако скорость движения таких судов не превышает 19 км/ч. Предполагается, что необходимая скорость движения судов может составлять 30 км/ч, что позволит не относить их к скоростным судам и обеспечить круглосуточную и всепогодную эксплуатацию. Техничко-экономическое обоснование необходимости повышения скорости судов приведено в работах [1,2]. С другой стороны, существенное повышение скорости однокорпусного водоизмещающего судна приводит к увеличению высоты генерируемых им корабельных волн, что показано во многих работах в том числе [3,4,5] Это может негативно сказываться на состоянии дна и берегов участков ВВП, в первую очередь мелководных. В таких условиях целесообразно использовать суда катамаранного типа, которые как показано в [6] имеют преимущество перед однокорпусными судами по высотам волн, т.е. «экологический резерв», что позволяет эксплуатировать судно с повышенными скоростями движения, но при тех же значениях высот волн.



Рис.1. Судно типа СК-2000 для перевозок накатных грузов



Рис. 2. Речные катамараны проектов 829 (КТ-619) и Р-19

Таблица 1

Характеристики речных катамаранов и судов типа СК-2000

		СК-2000	КТ-619 (пр. 829)	P-19
1.	Длина, м	72,95	76,2	97,05 м
2.	Ширина, м	14,9	15,0	15,64
3.	Высота борта, м	2,2	3,0	4,4
4.	Надводный габарит, м	13,94		
5.	Осадка, м	1,85	1,9 м	2,96
6.	Скорость, км/ч	19 / 14,7 (с приставкой)	24,5	27
7.	Дедвейт, т	985	-	-
8.	Грузоподъемность, т	900	600	1000
9.	Водоизмещение, т	1520	991	1761
10.	Мощность ГД, л.с.	2х600	2х540	2х900
11.	Экипаж, чел.	10	-	-

В 60-80 гг. прошлого века на ВВП эксплуатировались грузовые речные катамараны проектов Р-19 и 829 г/п 1000т. и 600т., однако скорости их движения не достигали 30 км/ч (рис. 2). Характеристики речных катамаранов и судов типа СК-2000 приведены в Таблице 1. Кроме того, как следует из результатов [7] катамаранные суда имеют преимущества перед другими в сопротивлении (рис. 3).

Повышение скорости даже катамаранного судна, как и любого другого плавающего тела, в любом случае приведет к увеличению высот корабельных волн и возрастанию волнового сопротивления, обусловленного в том числе и процессами трансформации волн между двумя корпусами. В работе [3] показано, что процессы трансформации волн в пространстве между корпусами катамарана крайне неустойчивы, и приводят к существенным изменениям в коэффициенте сопротивления катамарана при числах Фруда от 0,2 до 0,28. Например, при увеличении числа Фруда от 0,227 до 0,247 коэффициент только остаточного сопротивления увеличивается с $0,135 \cdot 10^3$ до $0,365 \cdot 10^3$, затем при повышении до $Fr=0,265$ уменьшается до $0,305 \cdot 10^3$ [3]. Такая зависимость сохраняется для разных клиренсов и форм корпусов, и по всей видимости обусловлена именно волновым сопротивлением. Такие колебания сопротивления могут оказывать существенное влияние на характеристики судна и должны быть по возможности сглажены. В связи с этим целесообразно рассмотреть вопрос управления трансформаций волн, например, с помощью изменения формы корпусов, в частности использования несимметричных корпусов.

Обычной практикой для судов катамаранного типа является использование корпусов с большими отношениями L/B и значительными относительными клиренсами, что позволяет избежать трансформации волн между корпусами. С другой стороны, использование таких корпусов снижает возможности при размещении помещений, систем, устройств, двигателей и т.д., что вызывает необходимость использования корпусов с большой полнотой.

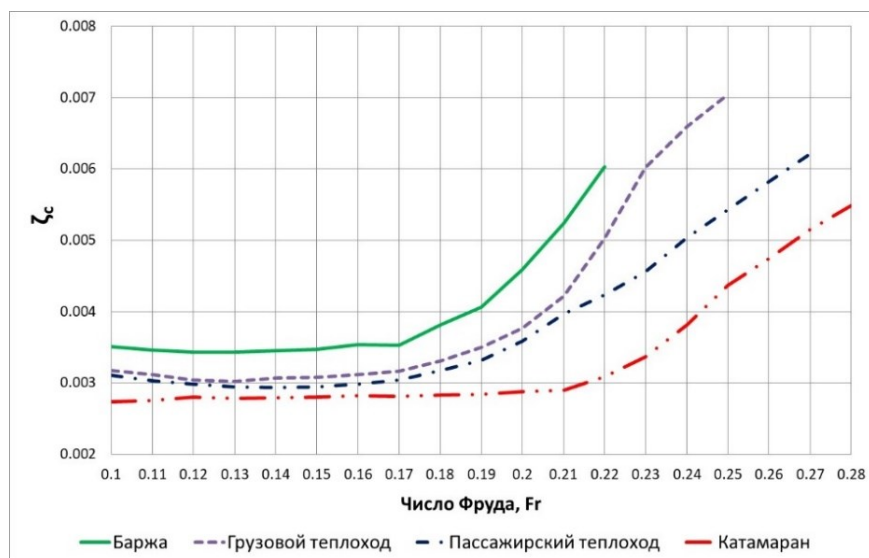


Рис. 3. Кривые относительного сопротивления судов различных типов

В отчете М.Я. Алферьева [6] приведены результаты модельных испытаний для разрезного катамарана, катамарана с полными обводами и катамарана с относительно острыми обводами (рис. 4), которые показали, что различия в сопротивлении для корпусов разной формы проявляются при $Fr=0,2$. Также показано, что корпус с плоским внутренним бортом не имеет преимуществ по сравнению с остальными. Этот же вывод подтверждается и работой [3] для большегрузных катамаранов с симметричным корпусом и плоским внутренним бортом для $L/B= 11,20, 12,44, 13,20, 14,67, 15,20, 16,89$.

Необходимо отметить, что участок кривых на графиках рис. 4 получен с большой дискретностью чисел Фруда в диапазоне от 0 до 0,3, в котором как было указано выше, происходит существенное изменение коэффициента сопротивления. Также, работы по исследованию сопротивления катамаранов посвящены в основном оценкам коэффициентов сопротивления в зависимости от формы корпусов, и по большей части не затрагивают причину их неустойчивости, которая вероятно связана с процессами трансформации волн в междукорпусном пространстве катамарана. С другой стороны, процессы трансформации зависят от геометрии твердых границ между которыми может происходить дифракция или интерференция волн.

Таким образом, целью настоящей работы является исследование гидродинамики речного катамарана с несимметричными корпусами, в первую очередь параметров волнообразования при его движении в доволновом режиме.

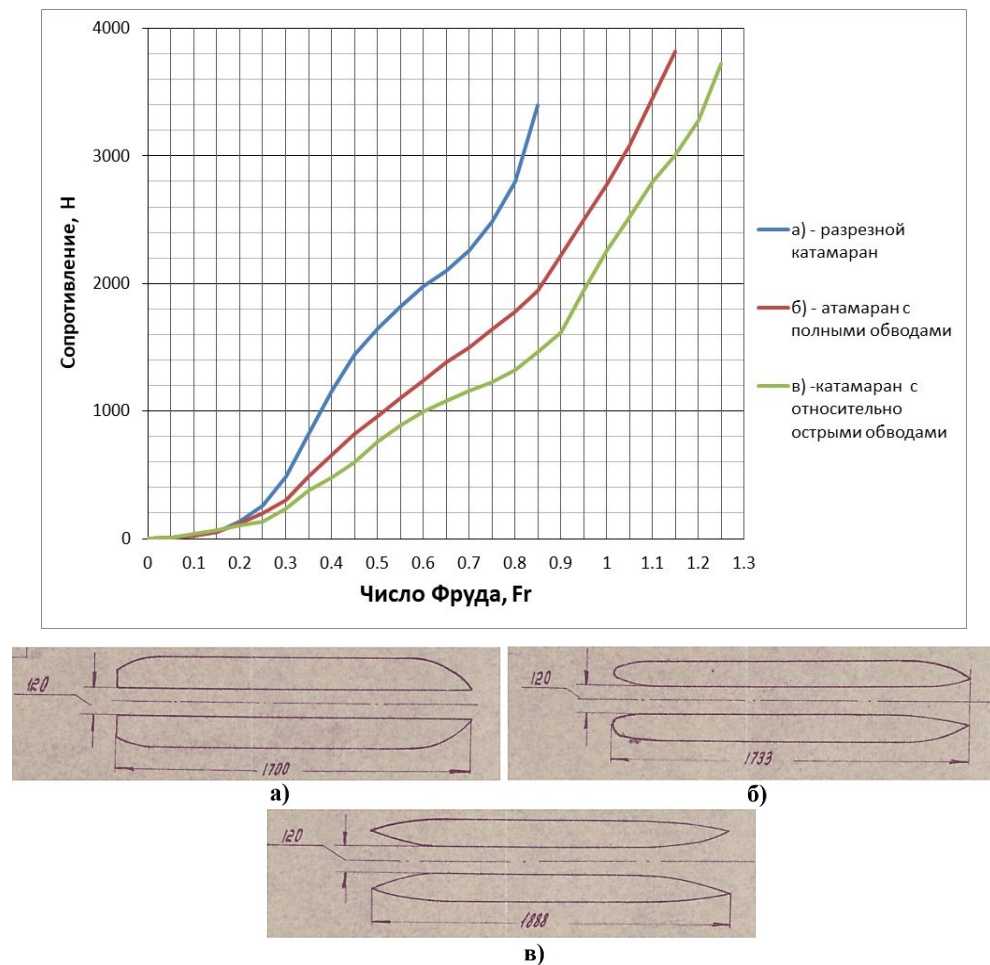


Рис. 4. Кривые буксировочного сопротивления для катамарана с разными формами корпусов по М.Я. Алферьеву [6]: а) разрезной корпус с плоским внутренним бортом; б) катамаран с относительно полными обводами; в) корпуса с острыми обводами

Численное моделирование гидродинамики речного катамарана с несимметричными корпусами.

Для численного моделирования гидродинамики несимметричного катамарана использовалась программа NUMECA/FineMarineTM, предназначенная для численного решения задач корабельной гидродинамики.

Выполненное ранее сравнительное моделирование [3] (рис. 5), показало хорошую сходимость с результатами модельных испытаний в опытовом бассейне, причем не только для коэффициентов сопротивления, но и для формы волновой поверхности (рис. 6), которая необходима для изучения процессов трансформации волн. Расхождения результатов численного моделирования и эксперимента могут быть объяснены тем, что для модели сопротивление трения рассчитывалось по экстраполятору трения, а в FineMarineTM моделировался гладкий корпус без учета шероховатости, что является предметом дальнейших исследований. Кроме того, при модельных испытаниях с использованием гравитационной системы модель изменяет свою посадку, что для катамарана может быть существенным [10], поскольку приводит к изменению формы волновой поверхности при движении катамарана. Также необходимо отметить зависимость сопротивления от расположения

турбулизатора при модельных испытаниях, а также моделей турбулентности, реализованных в численных расчетах, в большей степени приспособленных для моделирования натуральных объектов. В связи с этим в дальнейших исследованиях использовалась геометрия корпусов катамарана в натурную величину.

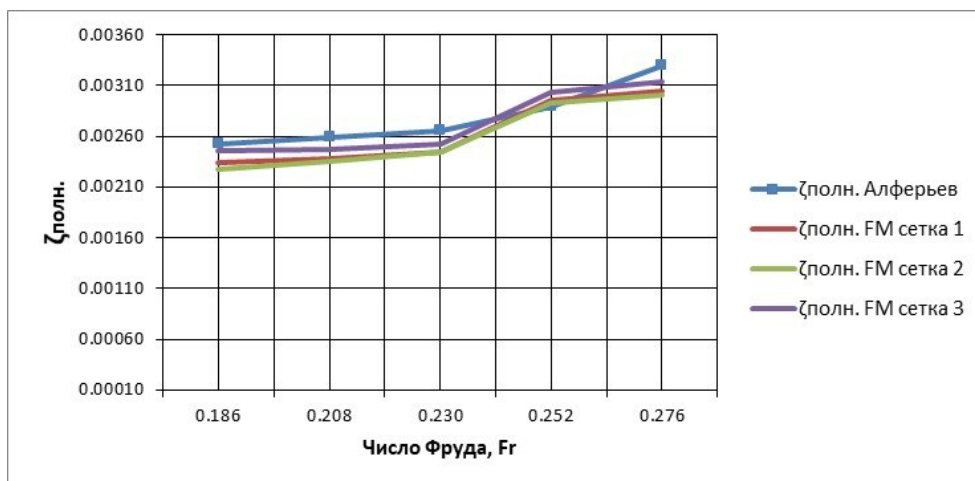


Рис. 5. Сравнение значений коэффициентов полного сопротивления катамарана KT-619 полученных с помощью NUMECA/FineMarine™, и буксировочных испытаний (сетка 1 – 2528123 ячеек; сетка 2 – 4742227 ячеек; сетка 3 – 5005850 ячеек)

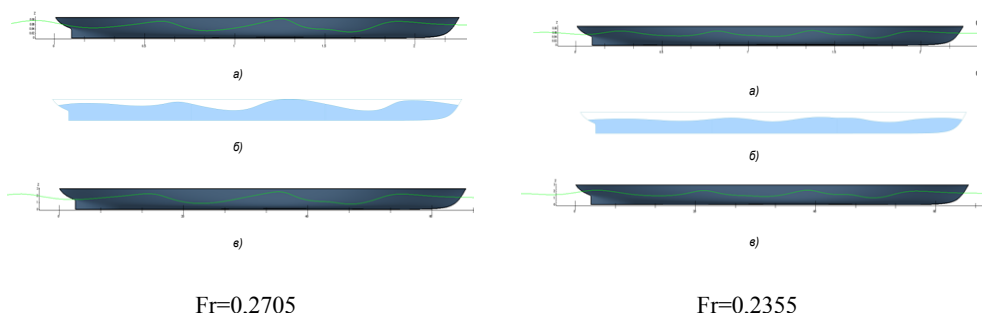


Рис. 6. Волновая поверхность в диаметральной плоскости катамарана: а) модель FM; б) модель в опытном бассейне; в) натуральный катамаран FM

Для численного моделирования использовалась геометрия несимметричных и симметричных корпусов катамарана с полными обводами. В соответствии с [7] соотношение бортов было установлено 0,35 и 0,65 от симметричного корпуса путем аффинного преобразования корпуса по ширине (рис. 7).

Размерения моделируемого катамарана составили: длина $L=95$ м., ширина $B=6,14$ м., высота борта $H=4,4$ м., осадка $T=2,9$ м., относительный клиренс $\bar{C} = C/2 \cdot B = 0,3; 0,35; 0,4; 0,44; 0,5; 0,56$ при грузоподъемности 1000 т, где C - горизонтальный клиренс катамарана, B – ширина одного корпуса.

Параметры расчетной области, начальные и граничные условия, расчетная сетка использовались в соответствии с [3,4].

В частности, расчетная сетка строилась на основании оценки сеточной сходимости. Использовалась сетка средней плотности с дополнительным измельчением в области изменения волновой поверхности [3,4] в виде сектора, охватывающая в том числе междукорпусное пространство. Количество ячеек с учетом

локальной адаптации составило 5,5 – 6 млн. в зависимости от клиренса катамарана. Во всех случаях применялась «k- ω -модель» турбулентности, показавшая хорошие результаты при решении задач корабельной гидродинамики [3,9].

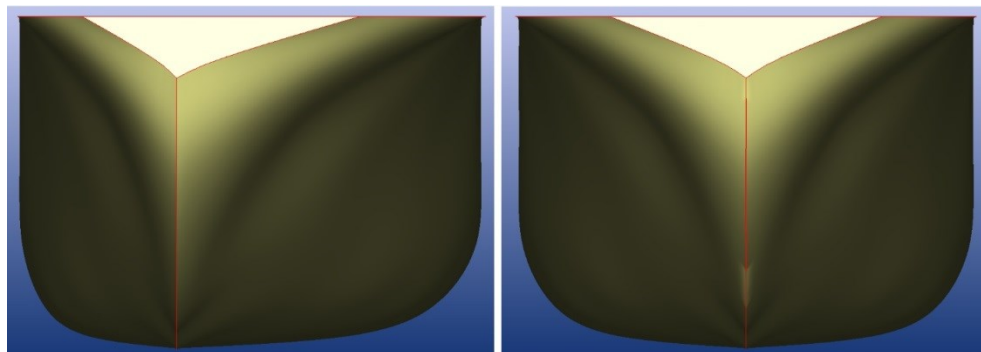


Рис. 7. Геометрия симметричного и несимметричного корпусов катамарана

Результаты и обсуждение

Зависимости коэффициента полного сопротивления от чисел Фруда, а также относительных клиренсов $\bar{C}$, полученные в ходе моделирования, приведены на (рис.8) и (рис.9). Как видно из представленных графиков, существенной разницы в коэффициентах сопротивления между симметричным и несимметричным корпусами нет, что в принципе соответствует результатам М.Я. Алферьева, полученным в ходе модельных испытаний (рис. 4).

Существенная зависимость коэффициента сопротивления от относительного клиренса начинает проявляться при $Fr > 0,2$, что подтверждается результатами ранее выполненных исследований волнообразования большегрузного катамарана с симметричным корпусом и корпусом с плоским внутренним бортом [3,4]. По всей видимости процессы трансформации волн, и, следовательно, величина волнового сопротивления, существенно зависят от длины корпуса, т.е. междукорпусное пространство катамарана является своего рода волноводом, в котором происходят процессы дифракции и интерференции волн. Это позволяет выделить кроме доволновой и волновой областей, переходную область, в которой происходит изменение сопротивления катамарана с большой амплитудой. Подобная область может быть существенна именно для большегрузных речных катамаранов при движении в диапазоне чисел Фруда от 0,25 до 0,3.

Интересно изменение площади смоченной поверхности катамарана. Очевидная зависимость увеличения площади смоченной поверхности при повышении скорости, нарушается для несимметричного корпуса (рис. 10а), когда при $Fr > 0,237$ площадь смоченной поверхности для всех клиренсов стабилизируется, что может свидетельствовать о примерно постоянной картине трансформации волн в данном узком диапазоне чисел Фруда. В то же время, зависимость площади смоченной поверхности от клиренса практически несущественна (рис. 10), поскольку кривые практически совпадают для всех значений $\bar{C}$.

Об изменении картины трансформации корабельных волн, генерируемых катамараном, можно судить по результатам измерения высот, которые обобщены на графиках рис. 11-13. На рис. 11 и 12 показаны высоты волн в носовой части корпусов катамарана (int – внутренний борт, out – наружный борт). Высоты волн в носовой части катамарана с симметричными корпусами по внутреннему и наружному бортам отличаются мало, но в то же время максимальная высота носовой волны наблюдается при относительном клиренсе $\bar{C} = 0,56$. Однако, для $\bar{C} = 0,5$ высота волны меньше на 17 процентов при $Fr = 0.237$.

Разброс высот волн при изменении клиренса для симметричного корпуса (рис. 11б) начинается при $Fr=0,2$, что согласуется с изменениями коэффициента полного сопротивления, и по всей видимости волновой составляющей сопротивления.

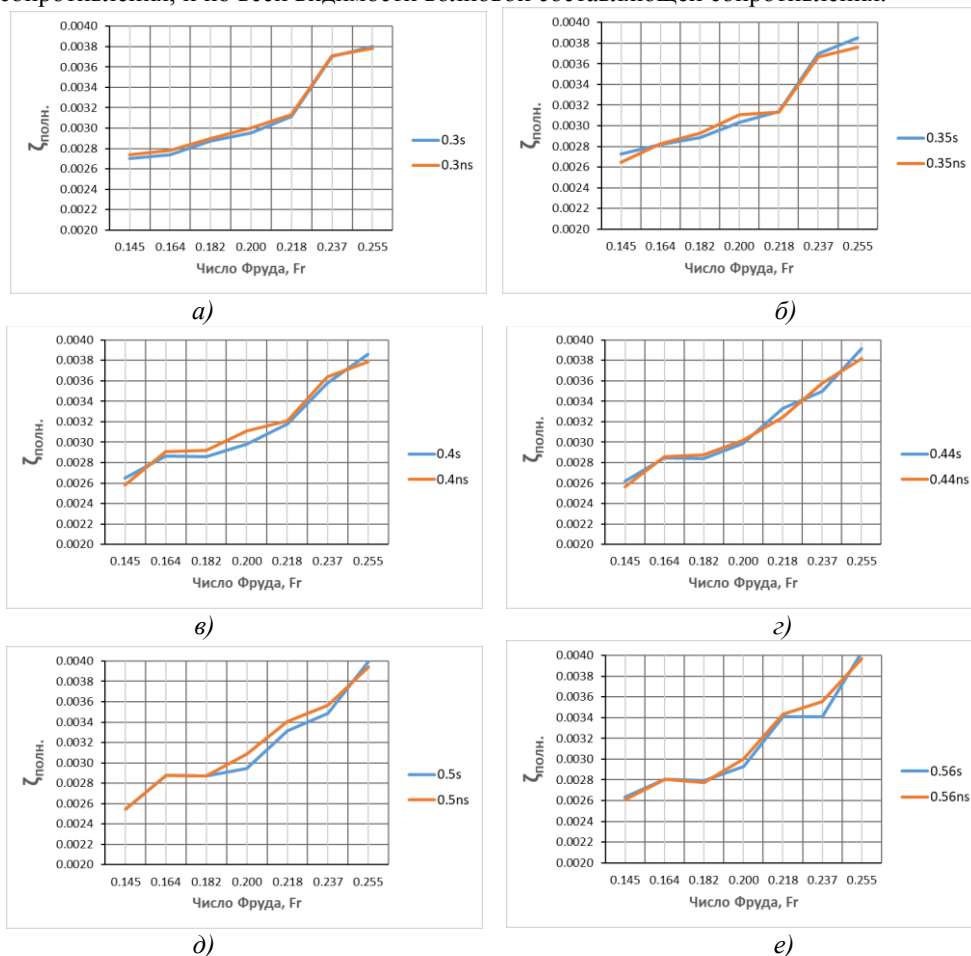


Рис. 8. Зависимость коэффициентов полного сопротивления от числа Фруда:
а) $\bar{C} = 0,3$; б) $\bar{C} = 0,35$; $\bar{C} = 0,4$; $\bar{C} = 0,44$; $\bar{C} = 0,5$; $\bar{C} = 0,56$

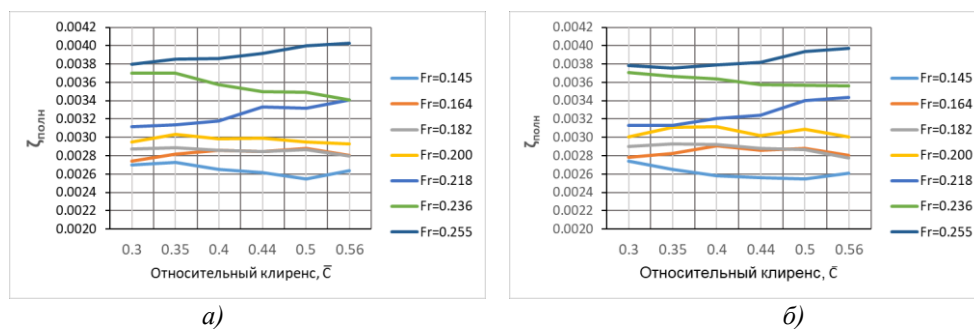


Рис. 9. Зависимость коэффициентов полного сопротивления от относительного клиренса:
а) несимметричный корпус; б) симметричный корпус

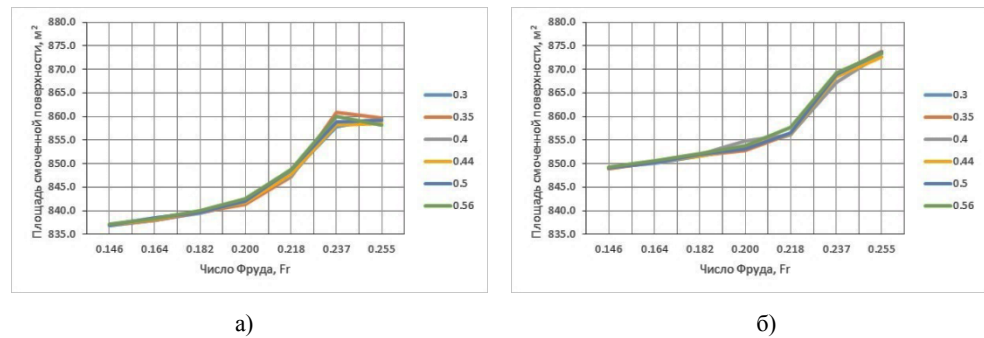


Рис. 10. Площадь смоченной поверхности катамарана (один корпус): а) несимметричный корпус; б) симметричный корпус

Для несимметричного корпуса наблюдается больший разброс высот волн, который становится существенным при $Fr=0,218$: высоты носовых волн для внутреннего борта оказываются ниже, что обусловлено меньшей полнотой обводов. Наблюдаются локальные максимумы при $Fr=0,2$ для $\bar{C} = 0,4$.

Волновая поверхность в кормовой части катамарана формируется в том числе в результате трансформации волн в междукорпусном пространстве. В результате, минимальные высоты волн для несимметричного корпуса наблюдаются для относительного клиренса $\bar{C} = 0,35$, но для симметричного корпуса при этом же клиренсе наблюдаются наибольшие высоты волн ($Fr=0,237$), но при $\bar{C} = 0,3$ наблюдаются наибольшие высоты волн также при $Fr=0,237$ (рис. 12). Для симметричного корпуса высоты волн по внутреннему борту в кормовой части в общем случае оказываются выше. В то же время, появление локальных максимумов и их смещение по числам Фруда позволяет предположить, что в этих случаях происходит интерференция волн, приводящая в том числе к разнице в сопротивлении.

При повышении скорости для постоянной длины корпусов катамарана число волн между корпусами сокращается, но их высота увеличивается (рис. 13), что приводит к увеличению высот и длин волн и понижению их крутизны. Все эти явления могут привести, в том числе, к перераспределению нагрузок на конструкции корпуса и моста катамарана, которые необходимо учитывать при проектировании судна.

О характере возникновения и трансформации волн можно судить в том числе по картинкам, показывающим форму свободной поверхности при движении катамарана (рис. 14).

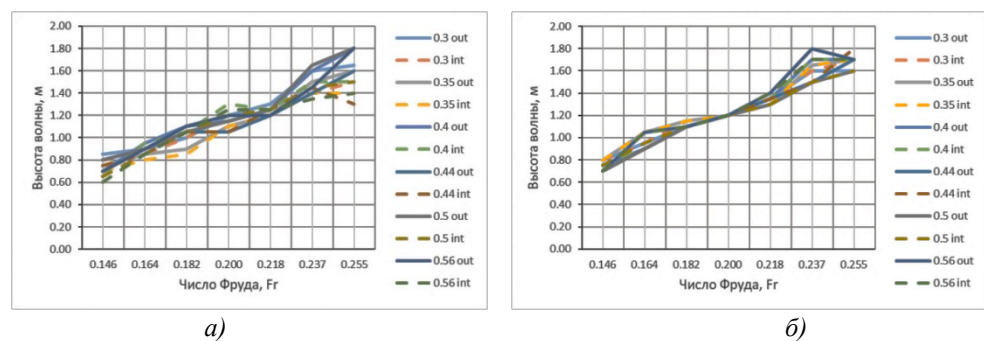


Рис. 11. Высоты волн в носу корпусов катамарана: а) несимметричный корпус; б) симметричный корпус

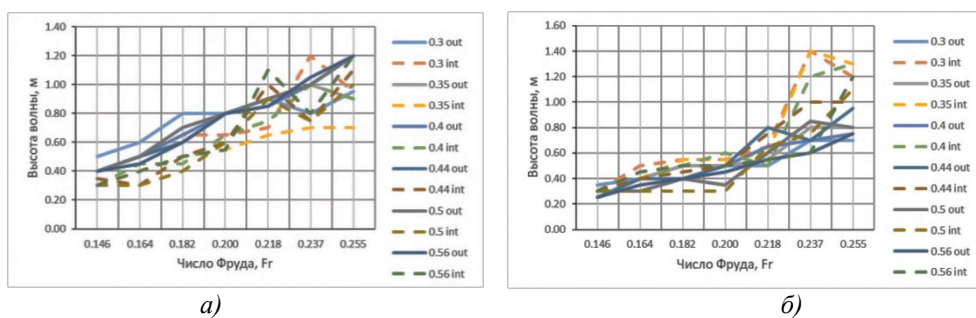


Рис. 12. Высоты волн за кормой корпусов катамарана:
а) несимметричный корпус; б) симметричный корпус

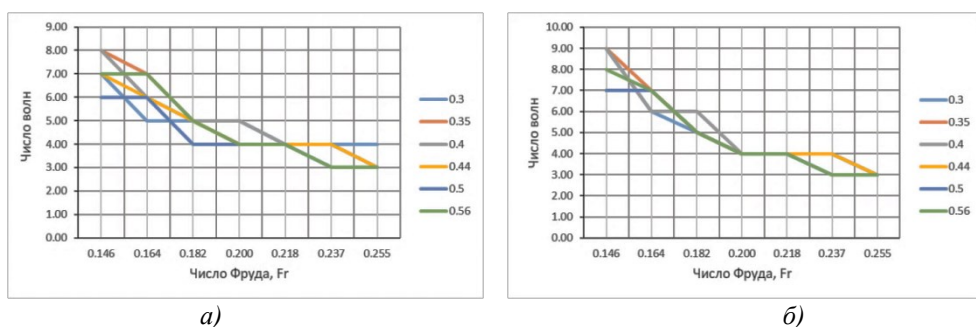


Рис. 13. Число волн в междукорпусном пространстве катамарана:
а) несимметричный корпус; б) симметричный корпус

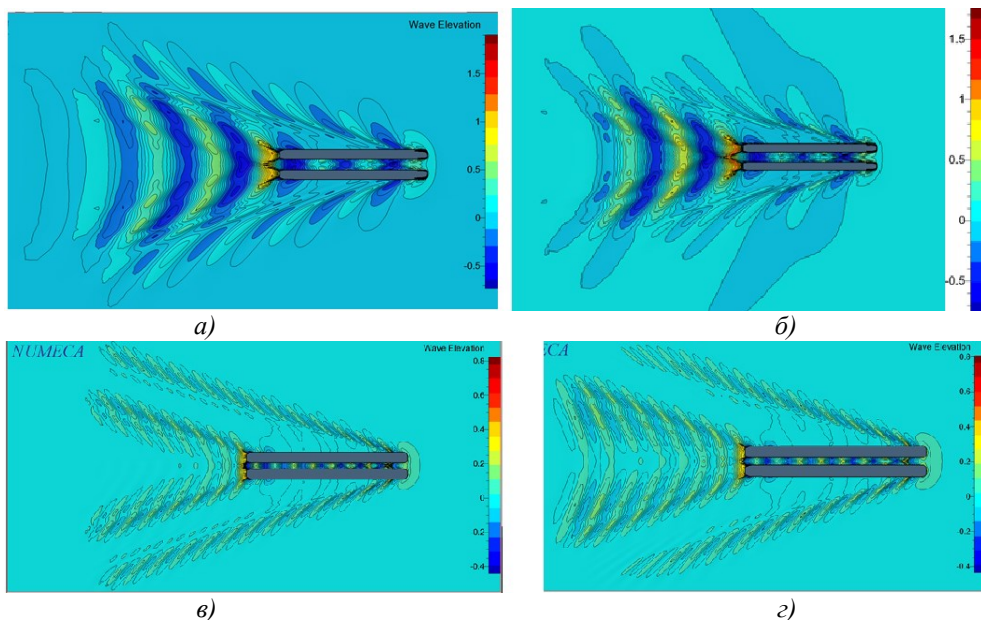


Рис. 14. Волновая поверхность при движении катамарана: а) несимметричный, 7,78 м/с ($Fr=0,255$, $\bar{C} = 0,56$); б) симметричный 7,78 м/с ($Fr=0,255$, $\bar{C} = 0,56$); в) несимметричный, 4,44 м/с ($Fr=0,145$; $\bar{C} = 0,3$); г) симметричный 4,44 м/с ($Fr=0,145$; $\bar{C} = 0,3$)

Заключение

В настоящей работе приведены результаты исследования гидродинамики речного катамарана длиной $L=95$ м с несимметричными корпусами численными методами. Показано, что несимметрия корпусов не оказывает существенного влияния на полное сопротивление катамарана в диапазоне числе Фруда 0,145-0,255. В то же время при $Fr=0,218$, $Fr=0,237$ высоты волн в междукорпусном пространстве имеют меньшую высоту в кормовой части, по сравнению с симметричным корпусом, что может быть важным для снижения волнового воздействия на берега и ложе участков внутренних водных путей. Кроме того, высоты волн в междукорпусном пространстве зависят от относительного клиренса катамарана.

Благодарности

Авторы статьи благодарят д.т.н., профессора кафедры Прикладной математики и математического моделирования ФГБОУ ВО «СПбГМТУ» Д.В. Никущенко за помощь при выполнении исследований.

Список литературы

1. Костров В.Н., Телегин А.И., Митрошин С.Г. Моделирование и продвижение новых технологий в паромно-транспортной логистической системе. Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. 2008. № 24. С. 132-136.
2. Лукина Е.А., Митрошин С.Г., Битков Д.А. «Обоснование применения накатного судна для паромно-транспортных грузовых перевозок в Волжско-Камском бассейне». / Вестник ВГАВТ. Вып.28.- Н.Новгород: Изд-во ФГОУ ВПО ВГАВТ, 2009. – С.56-62.
3. Исследование волнообразования большегрузного катамарана для внутренних водных путей численными методами / Е. Ю. Чебан, Е. А. Лукина, С. Г. Митрошин [и др.] // Морские интеллектуальные технологии. – 2023. – № 3-1(61). – С. 210-219. – DOI 10.37220/MIT.2023.61.3.021. – EDN PERDQG.
4. Оценка волнообразования большегрузного катамарана с различными формами внутреннего борта / Е. Ю. Чебан, О. В. Мартемьянова, С. Г. Митрошин [и др.] // Научные проблемы водного транспорта. – 2020. – № 63. – С. 109-120. – DOI 10.37890/jwt.vi63.82. – EDN AXBAQK.
5. Результаты сравнения параметров корабельных волн от судов различных типов с помощью модельных испытаний / В. Л. Этин, Е. А. Лукина, С. Г. Митрошин, Е. М. Сироткин // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2015. – № 45. – С. 192-196. – EDN VHWADL.
6. Оценка волнообразования большегрузного катамарана для внутренних водных путей / И.К. Кузьмичев, Е.А. Лукина, С.Г. Митрошин, Е.Ю. Чебан // Морские интеллектуальные технологии. – 2017. – № 4-3(38). – С. 99-105. – EDN YPLAKC.
7. Горьковский институт инженеров водного транспорта, Кафедра теории корабля №ТБ-25. Отчет по теме №17 «Изыскание новых типов судов для скоростных перевозок», г. Горький, 1958 г.
8. Yusuke Tahara, Daniele Peri, Emilio Fortunato Campana, Frederick Stern. Single- and multiobjective design optimization of a fast multihull ship: numerical and experimental results. December 2011 Journal of Marine Science and Technology 16(4):412-433 DOI:10.1007/s00773-011-0137-y
9. Численные методы в механике жидкости: учебное пособие / Д.В. Никущенко. – Санкт-Петербург: Изд-во СПбГМТУ, 2025. – 144 с. ISBN 978-5-88303-720-6
10. Корякова, М. Н. Оценка изменения посадки большегрузного катамарана численными методами / М. Н. Корякова, С. В. Бушков, Е. Ю. Чебан // Транспорт. Горизонты развития : Труды 4-го Международного научно-промышленного форума, Нижний Новгород-Новосибирск-Владивосток-Самара, 23–26 апреля 2024 года. – Нижний Новгород: Волжский государственный университет водного транспорта, 2024. – С. 117. – EDN ADDWCN.
11. Алферьев М.Я., Мадорский Г.С. Транспортные катамараны внутреннего плавания. М., изд. «Транспорт», 1975, 336 с.

12. Многокорпусные суда. Под ред. Дубровского В.А. Л., изд. «Судостроение», 1978, 304с.

References

1. Kostrov V.N., Telegin A.I., Mitroshin S.G. Modelirovanie i prodvizhenie novyh tehnologij v paromno-transportnoj logisticheskoy sisteme. Vestnik Volzhskoj gosudarstvennoj akademii vodnogo transporta. 2008. № 24. S. 132-136.
2. Lukina E.A., Mitroshin S.G., Bitkov D.A. «Obosnovanie primeneniya nakatnogo sudna dlja paromno-transportnyh gruzovyh perevozok v Volzhsko-Kamskom bassejne». / Vestnik VGAVT. Vyp.28.- N.Novgorod: Izd-vo FGOU VPO VGAVT, 2009. – S.56-62.
3. Cheban E.Yu., Lukina E.A., Mitroshin S.G., Nikushchenko D.V., Martemyanova O.V. Investigation of wave formation of a heavy-duty catamaran for inland waterways by numerical methods. //Marine intelligent technologies. 2023. No. 3-1 (61). pp. 210-219.
4. Estimation of the wave formation for extra-capacity catamaran with various forms of inner sides / E. Ju. Cheban, O. V. Martem'janova, S. G. Mitroshin [i dr.] // Nauchnye problemy vodnogo transporta. – 2020. – № 63. – S. 109-120. – DOI 10.37890/jwt.vi63.82. – EDN AXBAQK.
5. Rezul'taty sravneniya parametrov korabel'nyh voln ot sudov razlichnyh tipov s pomoshh'ju model'nyh ispytaniy / V. L. Jetin, E. A. Lukina, S. G. Mitroshin, E. M. Sirotkin // Vestnik Volzhskoj gosudarstvennoj akademii vodnogo transporta. – 2015. – № 45. – S. 192-196. – EDN VHWADL.
6. Kuzmichev I.K., Mitroshin S.G., Cheban E.Yu., Lukina E.A. Assessment of wave formation of a heavy-duty catamaran for inland waterways // Marine intelligent technologies. Scientific Journal No. 4 (38) T.3, 2017. – pp. 99-106. [Electronic resource: www.morintex.ru , ISSN No. 2073-7173].
7. Gor'kovskij institut inzhenerov vodnogo transporta, Kafedra teorii korablja №TB-25. Otchet po teme №17 «Izyskanie novyh tipov sudov dlja skorostnyh perevozok», g. Gor'kij, 1958 g.
8. Yusuke Tahara, Daniele Peri, Emilio Fortunato Campana, Frederick Stern. Single- and multiobjective design optimization of a fast multihull ship: numerical and experimental results. December 2011 Journal of Marine Science and Technology 16(4):412-433 DOI:10.1007/s00773-011-0137-y
9. Chislennye metody v mehanike zhidkosti: uchebnoe posobie / D.V. Nikushhenko. – Sankt-Peterburg: Izd-vo SPbGMTU, 2025. – 144 s. ISBN 978-5-88303-720-6
10. Korjakova, M. N. Estimation the change of the large cargo catamaran's draft and trim by numerical methods / M. N. Korjakova, S. V. Bushkov, E. Ju. Cheban // Transport. Gorizonty razvitiya : Trudy 4-go Mezhdunarodnogo nauchno-promyshlennogo foruma, Nizhnij Novgorod-Novosibirsk-Vladivostok-Samara, 23–26 aprelja 2024 goda. – Nizhnij Novgorod: Volzhskij gosudarstvennyj universitet vodnogo transporta, 2024. – S. 117. – EDN ADDWCN.
11. Alferyev M.Ya., Madorsky G.S. Transportnye katamarany vnutrennego plavaniya [Transport catamarans of inland navigation]. M., izd. "Transport", 1975, 336 s.
12. Mnogokorpusnye suda [Multi-hull vessels]. Pod red. Dubrovsky V.A. L., izd. "Shipbuilding", 1978, 304 s.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Чебан Егор Юрьевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры гидродинамики, теории корабля и экологической безопасности судов, ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта», 603905, Нижний Новгород, Нестерова 5, e-mail: egor.cheban.2@gmail.com

Москалева Мария Николаевна, аспирант кафедры гидродинамики, теории корабля и экологической безопасности судов, Волжский

Egor Yu. Cheban, Dr. Sci. (Eng), assistant professor, professor of Department of Hydrodynamics, Ship Theory and Environment Safety of Ships, Volga State University of Water Transport, 603905, Nizhny Novgorod, Nesterova 5, e-mail: egor.cheban.2@gmail.com

Maria N. Moskaleva, postgraduate student Hydrodynamics, ship theory and ship's ecological safety department, Volga State

государственный университет водного
транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г.
Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail:
kshtaltnaja@rambler.ru

Кожевников Артур Игоревич, аспирант
кафедры гидродинамики, теории корабля и
экологической безопасности судов, Волжский
государственный университет водного
транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г.
Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail:
nkolonget@ro.ru

University of Water Transport 603950, Nizhniy
Novgorod, Nesterova, 5, e-mail:
kshtaltnaja@rambler.ru

Artur I. Kozhevnikov, postgraduate student
Hydrodynamics, ship theory and ship's
ecological safety department, Volga State
University of Water Transport 603950, Nizhniy
Novgorod, Nesterova, 5, e-mail:
nkolonget@ro.ru

Статья поступила в редакцию 26.05.2025; опубликована онлайн 20.09.2025.
Received 26.05.2025; published online 20.09.2025.