

УДК 532.5

**НАТУРНОЕ ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ
КАТАМАРАНА КТ-619**

Чебан Егор Юрьевич¹, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры гидродинамики, теории корабля и экологической безопасности судов
e-mail: egor.cheban.2@gmail.com

Москалева Мария Николаевна¹, аспирант
e-mail: ksht.moskaleva@yandex.ru

¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В статье представлены результаты исследования гидродинамических характеристик и параметров корабельных волн при движении катамарана Кт-619 в натурную величину. Исследование выполнялось при числах Фруда от 0,093 до 0,268, что соответствует скоростям от 13 до 25 км/ч. При моделировании изменялся относительный клиренс от 0,3 до 0,56. Показано, что результаты численного моделирования соответствуют модельным экспериментам с достаточной точностью, причём не только для коэффициентов сопротивления, но и формы волновой поверхности. Приведены графики изменения высот волн в зависимости от чисел Фруда и относительного клиренса, которые нужны для оценки механизмов трансформации волн в междукорпусном пространстве их влияния на сопротивление судна.

Ключевые слова речной катамаран, трансформация корабельных волн, волновое сопротивление.

**FULL-SCALE NUMERICAL SIMULATION OF THE HYDRODYNAMICS OF THE
CATAMARAN KT-619**

Egor Yu. Cheban¹, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Hydrodynamics, Ship Theory and Environmental Safety of Ships
e-mail: egor.cheban.2@gmail.com

Maria N. Moskaleva¹, Doctoral student
e-mail: ksht.moskaleva@yandex.ru

¹ Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article presents the results of a study of the hydrodynamic characteristics and parameters of ship waves during full-scale movement of the catamaran Kt-619. The study was performed at Froude numbers from 0.093 to 0.268, which corresponds to speeds from 13 to 25 km/h. During the simulation, the relative clearance changed from 0.3 to 0.56. It is shown that the results of numerical simulation correspond to model experiments with sufficient accuracy, not only for the resistance coefficients, but also for the shape of the wave surface. Graphs of changes in wave heights depending on the Froude numbers and relative ground clearance, which are

needed to assess the mechanisms of wave transformation in the inter-hull space and their effect on the resistance of the vessel, are presented.

Keywords: river catamaran, transformation of ship waves, wave resistance.

Значительная часть внутренних водных путей (ВВП) Российской Федерации расположена в регионах с ограниченной по времени навигацией, что требует повышения скоростей перевозки грузов по этим участкам, в том числе для обеспечения «северного завоза». Довольно существенную часть перевозимых грузов составляет колесная и гусеничная техника, а также контейнеры, используемые не только для обеспечения населения, но и для работы нефтегазовых месторождений. Поскольку во многих регионах водный транспорт является в летний период единственным способом передвижения, это делает необходимым использование накатных судов, в качестве которых в настоящее время используются суда проекта СК-2000, но скорость движения таких судов ограничивается 19 км/ч.



Рисунок 1 – Судно типа СК-2000 для перевозок накатных грузов

Известно, что повышение скорости однокорпусного водоизмещающего судна до 27-30 км/ч приводит к увеличению высоты генерируемых им корабельных волн, что в свою очередь может негативно сказываться на состоянии дна и берегов участков ВВП, особенно мелководных. Как показано в работах [1], судном удовлетворяющим требованиям по скорости, высоте волн и сопротивлению, является катамаран. В 1960-1980 годах на ВВП эксплуатировались грузовые катамараны проектов 829 и Р-19, был накоплен опыт использования этих судов для перевозок грузов различного назначения, а также получены верифицированные результаты модельных и натурных испытаний, расчеты гидродинамических характеристик.

Необходимо отметить, что исследования гидродинамики речных катамаранов, обобщенные в работах М.Я. Алферьева и В.А. Дубровского [2, 3], проводились в опытовых бассейнах. Однако, как показывают более поздние исследования, в собственных речным катамаранам доволновом и переходном режимах, существенное значение имеют волновые процессы в междукорпусном пространстве, которые более точно могут быть исследованы на судах в натурную величину [4], что в настоящее время возможно только методами численного моделирования. На первоначальном этапе желательно выполнить обоснование параметров численного моделирования основываясь на уже известных результатах. Поэтому целью настоящей работы является обоснование параметров численного моделирования и исследование гидродинамики катамарана Кт-619 в натурную величину. Характеристики катамарана Кт-619 приведены в табл. 1.



Рисунок 2 – Речной катамаран проекта КТ-619

Таблица 1. Характеристики речного катамарана КТ-619

		КТ-619 (пр. 829)
1.	Длина, м	76,2
2.	Ширина, м	15,0
3.	Высота борта, м	3,0
5.	Осадка, м	1,9 м
6.	Скорость, км/ч	24,5
7.	Дедвейт, т:	-
8.	Грузоподъемность, т	600
9.	Водоизмещение, т:	991
10.	Мощность ГД, л.с.	2х540

Для численного моделирования гидродинамики катамарана КТ-619 была использована программа NUMECA/FineMarineTM, предназначенная для численного решения задач корабельной гидродинамики. Выполненные ранее исследования [5] с использованием настроек программного комплекса, приведенных в [6, 7], показали достаточное соответствие коэффициентов сопротивления, полученных в результате численного моделирования и модельного эксперимента в опытовом бассейне (рис. 3). Также результаты сравнения волновых поверхностей, полученных с помощью численного моделирования и опытового бассейна, показали достаточное соответствие, в том числе и для натурного катамарана.

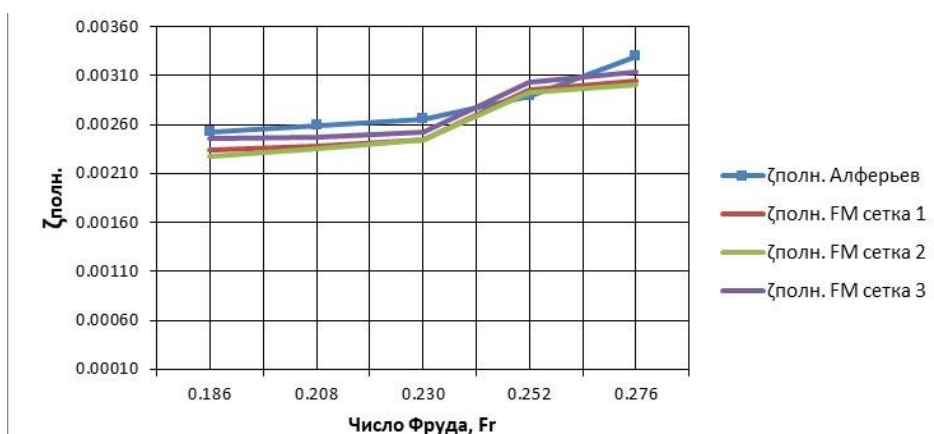


Рисунок 3 – Сравнение значений коэффициентов полного сопротивления катамарана КТ-619 полученных с помощью NUMECA/FineMarineTM, и буксировочных испытаний. (сетка 1 – 2528123 ячеек; сетка 2 – 4742227 ячеек; сетка 3 – 5005850 ячеек)

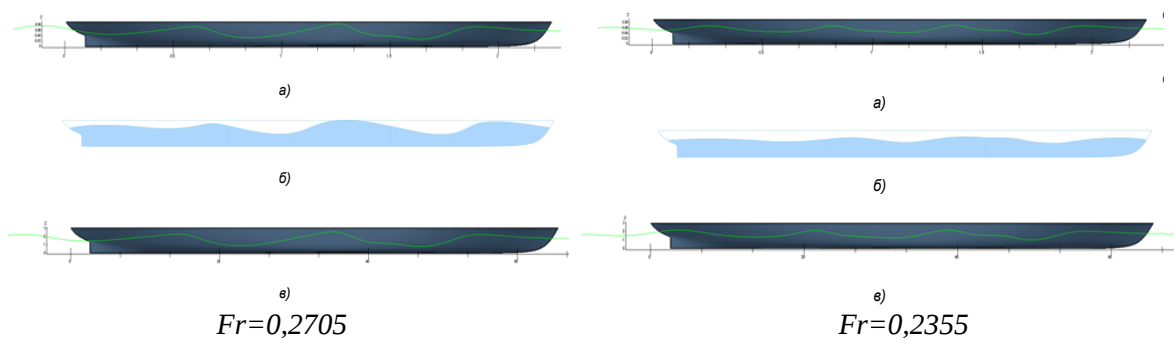


Рисунок 4 – Волновая поверхность в диаметральной плоскости катамарана: а) модель FM; б) модель в опытовом бассейне; в) натурный катамаран FM

Причины расхождений как в форме волновой поверхности между корпусами, так и коэффициентов полного сопротивления, частично проанализированы в работе [5], а также являются целью дальнейших исследований.

При моделировании использовалась геометрия корпусов катамарана в натурную величину. Изучался диапазон чисел Фруда от 0,093 до 0,268, что соответствует скоростям от 13 км/ч до 25 км/ч. Также при моделировании изменялся относительный клиренс в границах от 0,3 до 0,56. Граничные условия, размеры расчетной области и настройки сетки использовались в соответствии и рекомендациями [6, 7].

На рис. 5 показана зависимость коэффициентов полного сопротивления от числа Фруда при разных относительных клиренсах, полученные в результате моделирования. Из рис. 5 видно, что до $Fr=0,164$ коэффициент полного сопротивления от относительного клиренса не зависит. Зависимость начинает проявляться при $Fr>0,164$, что показано и в более ранних исследованиях [1, 5]. По всей видимости это может быть связано с тем, что процессы трансформации волн между корпусами не оказывают влияния на сопротивления катамарана в указанном диапазоне чисел Фруда. Это же прослеживается на графиках рис. 7, из которых видно, что коэффициенты полного сопротивления для всех чисел Фруда имеют постоянное значение для всех относительных клиренсов, но некоторое влияние начинает проявляться при $Fr=0,164$ и в большей степени при $Fr>0,268$.

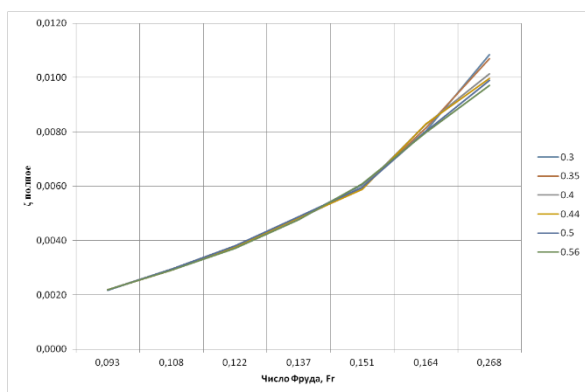


Рисунок 5 – Зависимость коэффициентов полного сопротивления от числа Фруда

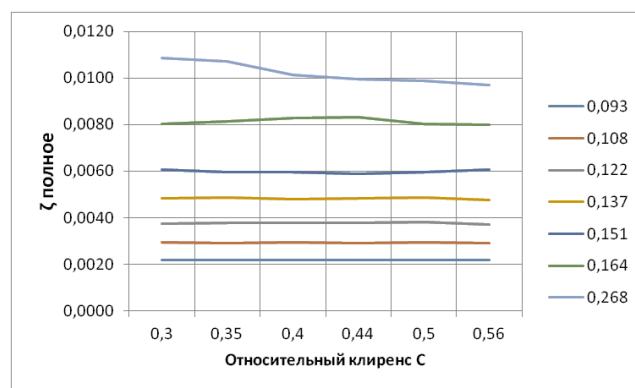


Рисунок 6 – Зависимость коэффициентов полного сопротивления от относительного клиренса

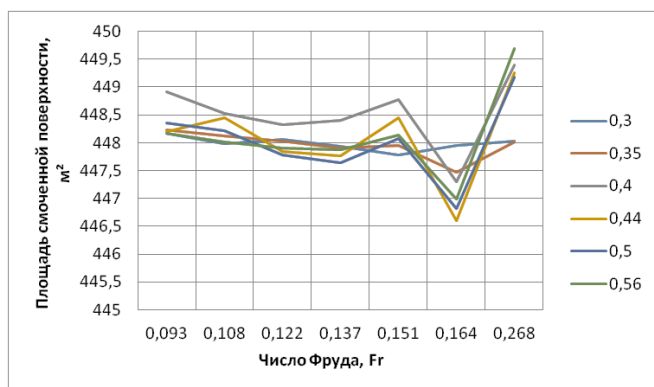


Рисунок 7 – Площадь смоченной поверхности катамарана (один корпус)

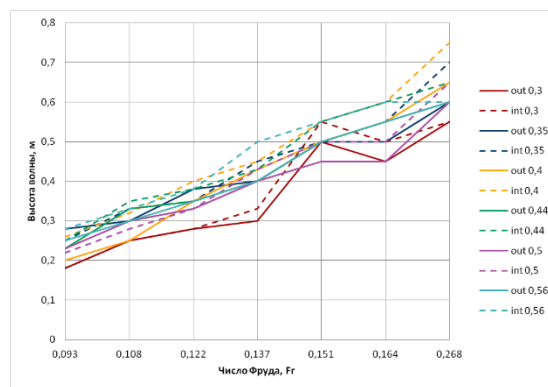


Рисунок 8 – Высоты волн в носу корпусов катамарана

При относительных клиренсах $\bar{C}=0,3$ и $\bar{C}=0,35$ влияние числа Фруда на площадь смоченной поверхности невелико. При других значениях относительного клиренса площадь смоченной поверхности катамарана достигает минимального значения при числе Фруда 0,164. Затем при $Fr > 0,164$ площадь смоченной поверхности стремительно увеличивается, что исходя из влияния относительного клиренса на коэффициент полного сопротивления может свидетельствовать о начале процессов трансформации волн в междукорпусном пространстве, в частности отражении их от внутренних бортов и интерференции. Однако, стоит отметить, что в целом относительный клиренс не оказывает на площадь смоченной поверхности значительного влияния.

На рис. 8 приведены высоты волн в носовой части корпусов катамарана (int – внутренний борт, out – наружный борт). Высоты волн в носовой части катамарана по внутреннему борту оказались больше, чем по наружному. При $Fr=0,164$ наблюдается снижение высоты носовой волны и, по всей видимости, уменьшение площади смоченной поверхности. Минимальная высота волны при $Fr=0,164$ соответствует относительному клиренсу 0,3.

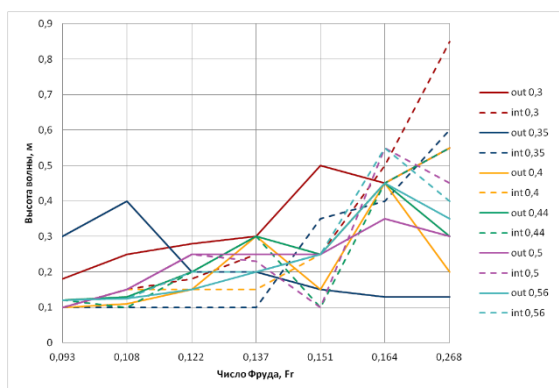


Рисунок 9 – Высоты волн за кормой корпусов катамарана

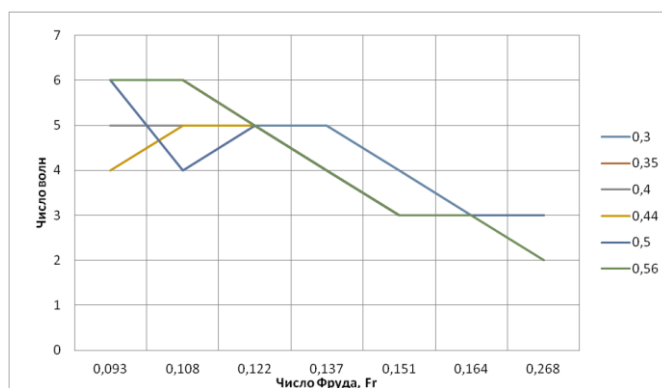


Рисунок 10 – Число волн в междукорпусном пространстве катамарана

Волновая поверхность в кормовой части катамарана (кормовой бурун) формируется в том числе в результате процессов трансформации волн в междукорпусном пространстве. При снижении скорости для постоянной длины корпусов катамарана увеличивается число волн между корпусами, растёт, но высота этих волн уменьшается. Если посмотреть на форму волновой поверхности (рис. 11), то можно видеть, что характер волнообразования и трансформации волн в междукорпусном пространстве существенно отличается. По всей

видимости при различных горизонтальных клиренсах и скоростях движения может происходить изменение параметров волн из-за их отражения от бортов катамарана.

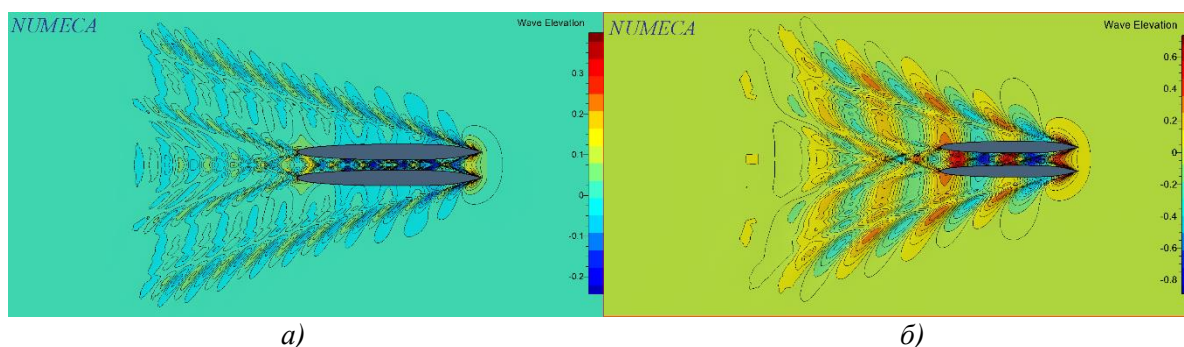


Рисунок 11 – Волновая поверхность при движении катамарана: а) $C=0,35$, $4,17$ м/с ($Fr=0,108$); б) $C=0,56$, 7 м/с ($Fr=0,268$)

Заключение

В статье приведены результаты исследования гидродинамики речного катамарана длиной $L=76,2$ численными методами. Показано, что относительный клиренс оказывает влияние на полное сопротивление катамарана при $Fr > 0,164$. Также при числе Фруда $0,164$ площадь смоченной поверхности катамарана достигает минимальных значений. Также при $Fr=0,164$ наблюдается снижение высоты носовой волны в сравнении с $Fr=0,151$ и $Fr=0,268$ для одинаковых значений относительного клиренса. Высоты волн зависят от относительного клиренса. Также стоит отметить, что в носовой части катамарана волна по внутреннему борту больше, чем по наружному.

Список литературы:

1. 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.
2. Алферьев М.Я. Транспортные катамараны внутреннего плавания / М.Я. Алферьев, Г.С. Мадорский. - М.: Транспорт, 1976. - 336с.
3. Многокорпусные суда. Под ред. Дубровского В.А. Л., изд. «Судостроение», 1978, 304 с.
4. Hochkirch K., Mallol B. On the Importance of Full-Scale CFD Simulations for Ships, 12th International Conference on Computer Applications and Information Technology in the Maritime Industries (COMPIT 2013) - Cortona (Italy) on April 15th -17th.
5. 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.
6. Численные методы в механике жидкости: учебное пособие / Д.В. Никущенко. – Санкт-Петербург: Изд-во СПбГМТУ, 2025. – 144 с. ISBN 978-5-88303-720-6
7. 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.