

УДК 531.391.1:532.5.011

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ПОСАДКИ БОЛЬШЕГРУЗНОГО КАТАМАРАНА ЧИСЛЕННЫМИ МЕТОДАМИ

Корякова Маргарита Николаевна¹, магистрант

e-mail: koryakova.margarita@yandex.ru

Бушков Степан Викторович¹, магистрант

e-mail: Bushkov-SV@yandex.ru

Чебан Егор Юрьевич¹, доцент, доктор технических наук, профессор кафедры гидродинамики, теории корабля и экологической безопасности судов

e-mail: Egor.cheban.2@gmail.com

¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. Повышение скорости движения катамаранных судов происходит изменение их посадки, что важно учитывать при движении на внутренних водных путях. В работе представлены результаты численного моделирования поведения большегрузных катамаранов при движении с докритическими и закритическими скоростями для судов различной длины (112, 132 и 152 м), и с разными относительными клиренсами. Получены зависимости изменения осадок и дифферента от главных размерений большегрузных катамаранов, а также коэффициентов полного сопротивления.

Ключевые слова: большегрузный катамаран, вычислительная гидродинамика, относительный клиренс, корабельные волны, сопротивление, дифферент, посадка судна, внутренние водные пути

ESTIMATION THE CHANGE OF THE LARGE CARGO CATAMARAN'S DRAFT AND TRIM BY NUMERICAL METHODS

Koryakova Margarita Nikolaevna¹, Master's Degree Student

e-mail: koryakova.margarita@yandex.ru

Bushkov Stepan Viktorovich¹, Master's Degree Student

e-mail: Bushkov-SV@yandex.ru

Cheban Egor Yurievich¹, Associate Professor, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Hydrodynamics, Ship Theory and Environment Safety

e-mail: Egor.cheban.2@gmail.com

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

Abstract. An increase in the speed of catamaran vessels leads to change it trim and draft. Which may be important on inland waterways with limited dimensions navigation. This paper presents the results of numerical modeling for large cargo catamarans when moving at subcritical and supercritical speeds (Froude numbers 0,18-0,35). The study was conducted for catamarans of various lengths (112, 132 and 152 m), and with different relative clearances (0,3-0,56).

Dependences of draft, trim and total drag coefficients from the main dimensions of large cargo catamarans, were obtained.

Keywords: large cargo catamaran, inland waterways, CFD, ship's trim, ship's draft, ships waves, relative clearance of the catamaran hulls

Большегрузные катамараны для внутренних водных путей являются перспективным видом транспорта, способным повысить конкурентоспособность речных перевозок за счет повышения их скорости. Особенностью подобных судов является их эксплуатация в области докритических чисел Фруда (менее 0,3), когда сопротивление существенно меняется даже при незначительном изменении скорости [1]. Данный диапазон чисел Фруда для речных катамаранов длиной до 80 метров был изучен М.Я. Алферьевым, однако, как показали дальнейшие работы [1, 3, 4], проблемы гидродинамики большегрузных катамаранов требуют дальнейшего исследования. Одним из актуальных вопросов является изменение посадки катамарана при увеличении скорости его движения, в первую очередь изменение осадки и дифферента, которые влияют на ходкость и управляемость судна, а также на характер возникающих корабельных волн. Изменение посадки катамарана при его движении отмечено, например, в отчете о натурных испытаниях катамарана КТ-619 [5].



Рисунок 1 – Перспективный катамаранный паром «Транзит»



Рисунок 2 – Катамаран КТ-619 в ходу

Изменение посадки катамарана исследовалось с помощью численных методов в ПО NUMECA/FineMarine™, основанном на методе RANS решения уравнений движения вязкой жидкости применительно к задачам корабельной гидродинамики. Результаты численного моделирования катамаранов, полученные с помощью NUMECA/FineMarine™ показали хорошее совпадение с модельными испытаниями в опытовом бассейне [1]. Для моделирования использовались модифицированные типовые корпуса М.Я. Алферьева. Размерения вариантов катамаранов приведены в табл. 1.



Рисунок 2 – Твердотельная геометрия корпуса большегрузного катамарана

Характеристики вариантов большегрузных катамаранов

Параметр	Значение				
Длина по КВЛ, м	112				
	132				
	152				
Ширина одного корпуса, м	10	9	10	9	28
Осадка по КВЛ, м	2,8				
Высота борта, м	6				
Относительный клиренс	0,3; 0,35; 0,4; 0,44; 0,5; 0,56-				
Скорость, м/с	7; 7,5; 8,1; 8,6; 9,17; 11,7				

Необходимо отметить, что в соответствии с требованиями эксплуатации существует ограничение по ширине каждого корпуса, ввиду размещения в них жилых помещений. Это не позволяет сделать корпуса более узкими и с меньшей полнотой, т.е. более гидродинамически совершенными.

Одним из важных моментов при моделировании изменения посадки судна является задание его инерционных характеристик, которые вычислялись с помощью встроенного модуля NUMECA/FineMarine™ Domhydro по известной твердотельной геометрии корпуса. Для этого производился импорт геометрии по плоскости симметрии катамарана, задавалась его первоначальная осадка ($T = 2,8\text{м}$) и положение ЦТ по высоте (z_g). После этого в автоматическом режиме вычислялось значение x_g , соответствующее положению судна «на ровный киль», водоизмещение судна для осадки $T = 2,8\text{м}$, а также составляющие матрицы инерции для трех степеней свободы судна: движение вперед, движение вдоль вертикальной оси и вращение относительно поперечной оси.

Параметры расчетной области выбирались в соответствии с рекомендациями NUMECA и также на основании ранее выполненных работ [3, 4]. Для экономии расчетного времени моделировался только один корпус катамарана по диаметральной плоскости (рис. 3) с установкой соответствующего граничного условия «symmetry» – равенство нулю нормальных и касательных составляющих скорости (табл. 2). Для более точного расчета процессов трансформации волн как между корпусами катамарана, так снаружи корпусов было выполнено локальное измельчение сетки в виде сектора (рис. 3). Параметры расчетной сетки выбирались на основании обеспечения сеточной сходимости и приведены в табл. 3.

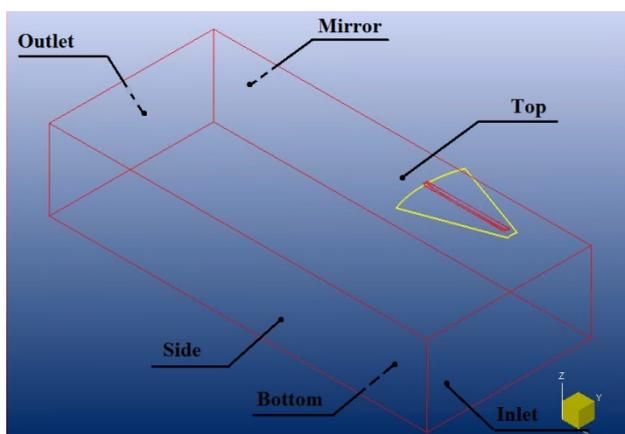


Рисунок 3 – Размещение граничных условий и локального измельчения расчетной сетки в расчетной области

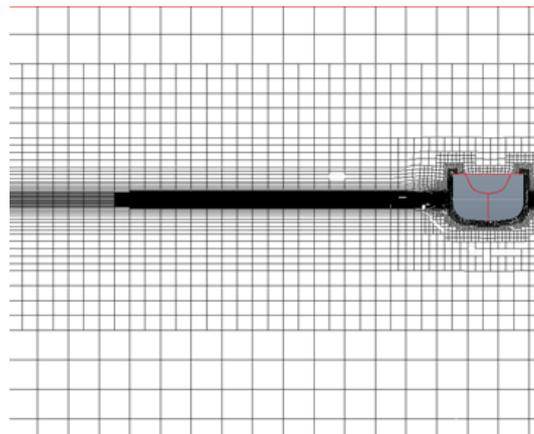


Рисунок 4 – Пример расчетной сетки

Граничные условия на границах расчетной области

Грани	Тип граничного условия
Верх и дно (Top and bottom)	“Prescribed pressure” > “Updated hydrostatic pressure”
Выход-вход-боковая грань (Outlet, Side, Inlet)	“Far field” (velocity components equal to zero)
Плоскость симметрии (Mirror)	“mirror” (symmetry – равенство нулю нормальных и касательных составляющих скорости)
Корпус катера	all solids – “Wall function” – пристеночные функции
Палуба	“Slip” (zero shear stress)

Параметры расчетной сетки

	Параметры сетки
Начальная сетка	(25x20x10)
Адаптация геометрии:	
днище	6
борт	7
транец	8
днище (плоская часть)	5
киль	8
свободная поверхность	4
Разрешение пограничного слоя $y^+=50$	18 $y_{wall} = 2,9045 \cdot 10^{-4}$
Измельчение в области волновой поверхности за кормой:	
- бокс	8
- сектор	8

Для моделирования использовалась $K-\omega$ SST модель турбулентности с пристеночными функциями. Величина $y^+ = 50$, высота пристеночных ячеек сетки вблизи поверхности корпуса составила $y_{wall} = 2,9045 \cdot 10^{-4}$. Большого измельчения не потребовалось.

В результате численного моделирования были получены зависимости коэффициентов полного сопротивления от числа Фруда (рис. 5), кривые изменения средней осадки (рис. 6) и угла дифферента (рис. 7) от скорости.

Результаты численного моделирования позволяют утверждать, что посадка большегрузного катамарана существенно зависит от его длины и относительного клиренса. Это может быть обусловлено в том числе и процессами образования и трансформации волн между корпусами катамарана.

Анализируя графики изменения коэффициентов полного сопротивления можно отметить существенную разницу в зависимостях для различных длин катамаранов. Для $L = 112$ м и $L = 132$ м (рис. 5) кривые для относительных клиренсов находятся достаточно близко друг к другу, в отличие от $L = 152$ м, при котором наибольшие коэффициенты сопротивления наблюдаются при $\bar{C} = 0,3$ и $\bar{C} = 0,4$. К отдельным особенностям можно отнести поведение кривых при $Fr = 0,237$ ($L = 152$ м), когда наблюдаются локальные минимумы коэффициентов сопротивления, которые с уменьшением длины переходят в область более высоких чисел Фруда.

Зависимость изменения средней осадки от скорости возрастает с длиной катамарана (рис. 6), причем при $L = 152$ м кривые разделяются на две группы при скоростях до 9,6 м/с. С увеличением скорости проявляется зависимость осадок от относительного клиренса, что

возможно связано с трансформацией волн в междукорпусном пространстве и перераспределением силы поддержания.

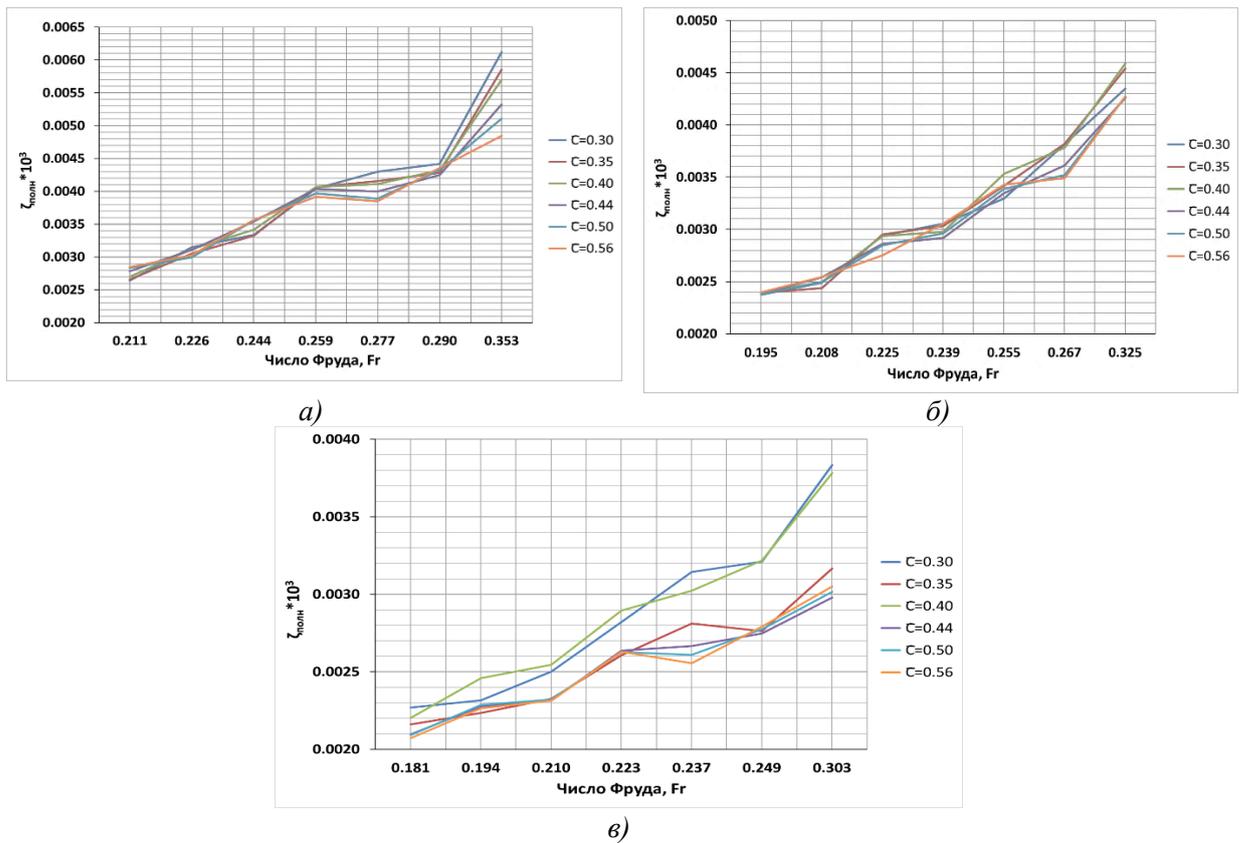


Рисунок 5 – Коэффициенты полного сопротивления для катамаранов различной длины: а) 112 м; б) 132 м; в) 152 м

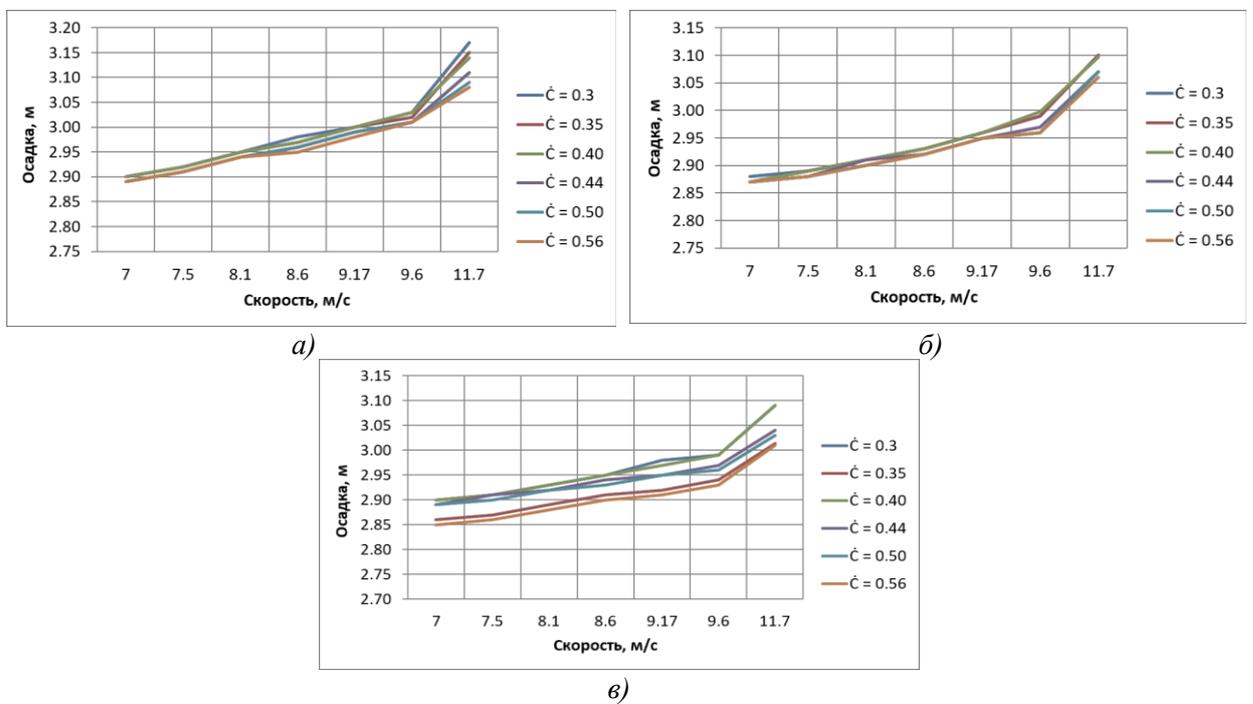


Рисунок 6 – Изменение средней осадки для катамаранов различной длины: а) 112 м; б) 132 м; в) 152 м

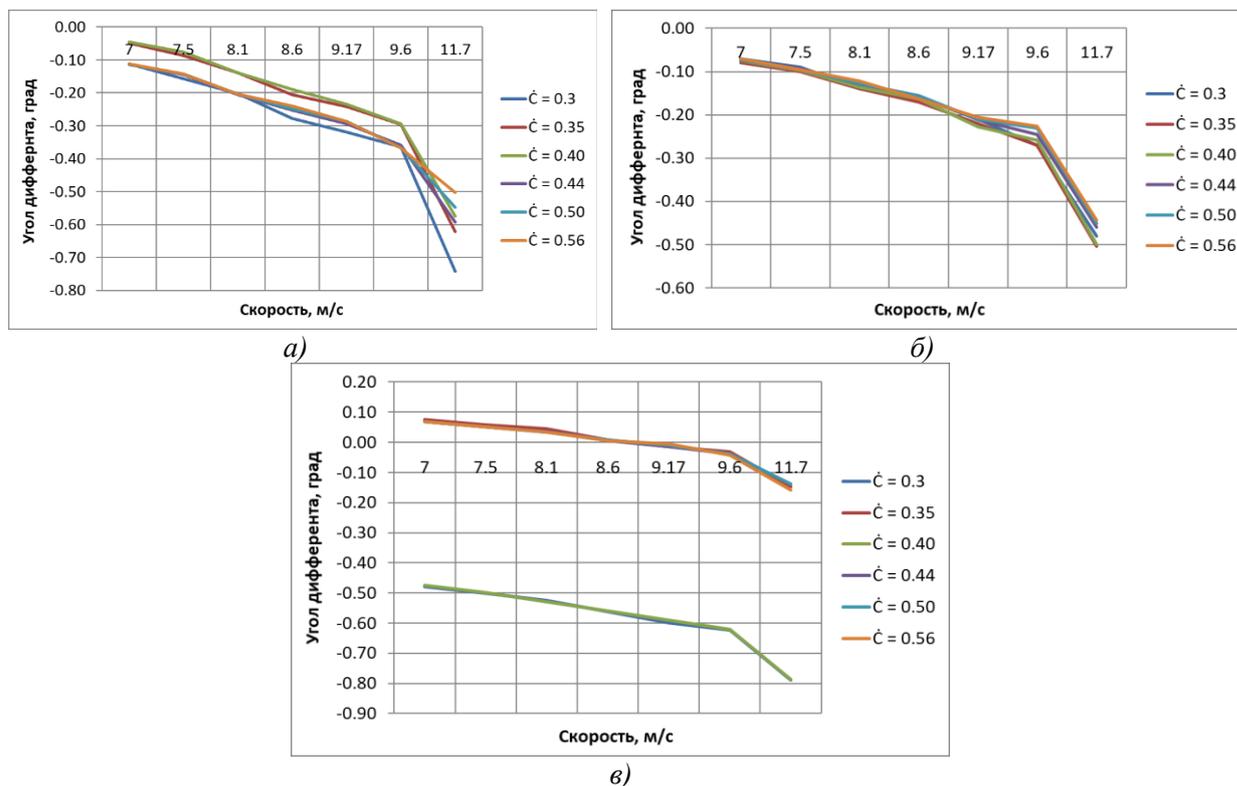


Рисунок 7 – Изменение угла дифферента для катамаранов различной длины: а) 112 м; б) 132 м; в) 152 м

Также в следствие перераспределения силы поддержания меняется и угол дифферента, достигая наибольших изменений для меньших длин. При $L = 152$ м кривые разделяются на две группы, как и для коэффициентов сопротивления для $\bar{C} = 0,3$ м $\bar{C} = 0,4$ (рис. 7).

Список литературы:

1. Чебан, Е.Ю. 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.
2. Зотова, Н. Е. Оценка волнообразования катамаранных и однокорпусных судов / Н.Е. Зотова, О.В. Мартемьянова, Е.Ю. Чебан // Проблемы экологии Волжского бассейна : Труды 5-й всероссийской научной конференции, Нижний Новгород, 24 – 25 ноября 2020 года. Том Выпуск 3. – Нижний Новгород: Волжский государственный университет водного транспорта, 2020. – С. 11. – EDN FTFOOV.
3. Чебан, Е.Ю. 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.
4. Чебан, Е.Ю. Оценка сопротивления большегрузного катамарана численными методами / Е.Ю. Чебан, Е.А. Лукина, О.В. Мартемьянова, М.Н. Кшталтная // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2019. – № 60. – С. 122 – 132. – EDN CWUIJH.
5. Горьковский институт инженеров водного транспорта, Кафедра теории корабля №ТБ-76. Отчет о научно-исследовательской работе по теме №21/2315, 1963г.