

Научная статья
УДК 629.5.015.2
DOI 10.46845/1997-3071-2026-81-101-113

Исследование интерференции корабельных волн асимметричного катамарана

Алексей Сергеевич Ариенчук^{1✉}, Евгений Андреевич Чуреев²

^{1, 2}Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

¹ aleksej.arienchuk@klgtu.ru[✉], <https://orcid.org/0009-0009-9413-6227>

² e.chureev@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3504-4957>

Аннотация. Работа посвящена решению задачи гидродинамической оптимизации пассажирского катамарана, проектируемого для организации паромной переправы в акватории Куршского залива с целью развития внутреннего туризма. Основное внимание уделено сравнительному анализу асимметричных конфигураций корпусов, известных как «IF» (с плоской внутренней стенкой) и «OF» (с плоской наружной стенкой), которые потенциально обеспечивают выигрыш в сопротивлении по сравнению с традиционными симметричными обводами. Теоретической основой проекта послужил анализ литературных источников, который выявил противоречивые данные о превосходстве той или иной асимметричной схемы, что обусловило необходимость экспериментального исследования. В качестве базовой была выбрана проверенная серия обводов Schwetz (M5-CH), обеспечивающая хорошие мореходные качества, на следующем этапе проведены модельные испытания в опытовом бассейне. Испытуемая масштабная модель (1:16) позволяла варьировать относительный поперечный клиренс ($s/L = 0,20; 0,30; 0,35$). Испытания двух конфигураций («IF» и «OF») выполнялись в диапазоне чисел Фруда, соответствующих скоростям 12–20 узлов для натурного судна. Ключевыми измеряемыми параметрами были буксировочное сопротивление и картина волнообразования, а основным критерием оценки – интерференционный коэффициент остаточного сопротивления. Результаты испытаний показали, что конфигурация «OF» с максимальным относительным поперечным клиренсом ($s/L = 0,35$) является оптимальной для целевого высокоскоростного режима (17–20 узлов). Данная схема продемонстрировала наименьшее остаточное сопротивление и наиболее благоприятную интерференцию волновых систем, что выразилось в практическом отсутствии заметного волнообразования во внутреннем пространстве между корпусами. Это свидетельствует о минимальном взаимном негативном влиянии корпусов. Таким образом, асимметричный катамаран с корпусами типа «OF» и максимальным поперечным клиренсом рекомендован для дальнейшего проектирования пассажирского парома для Куршского залива.

Ключевые слова: асимметричный катамаран, интерференция корабельных волн, модельные испытания.

Для цитирования: Ариенчук А. С., Чуреєв Е. А. Исследование интерференции корабельных волн асимметричного катамарана // Известия КГТУ. 2026. № 81. С. 101–113. DOI 10.46845/1997-3071-2026-81-101-113.

Original article

Study of the interference of ship waves of an asymmetric catamaran

Aleksey S. Arienchuk^{1✉}, Evgeniy A. Chureev²

^{1,2}Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

¹aleksej.arienchuk@klgtu.ru[✉], <https://orcid.org/0009-0009-9413-6227>

²e.chureev@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3504-4957>

Abstract. The paper is devoted to solving the problem of hydrodynamic optimization of a passenger catamaran designed to organize a ferry crossing in the Curonian Lagoon in order to develop domestic tourism. The main attention is paid to the comparative analysis of asymmetric body configurations known as "IF" (with a flat inner wall) and "OF" (with a flat outer wall), which potentially provide a gain in resistance compared to traditional symmetrical contours. The theoretical basis of the project was the analysis of literature sources, which revealed contradictory data on the superiority of one or another asymmetric scheme, which necessitated an experimental study. The proven Schwetz series (M5-CH) was chosen as the base, providing good seaworthiness. At the next stage, model tests were conducted in an experimental pool. The scale model under test (1:16) made it possible to vary the relative transverse clearance ($s/L = 0.20; 0.30; 0.35$). The tests of two configurations ("IF" and "OF") were performed in the range of Froude numbers corresponding to speeds of 12–20 knots for a full-scale vessel. The key measured parameters were the towing resistance and wave pattern, and the main evaluation criterion was the interference coefficient of residual resistance. The test results showed that the "OF" configuration with the maximum relative lateral clearance ($s/L = 0.35$) is optimal for the target high-speed mode (17–20 knots). This scheme demonstrated the lowest residual resistance and the most favorable interference of wave systems, which resulted in the practical absence of noticeable wave formation in the internal space between the housings. This indicates a minimal mutual negative impact of the buildings. Thus, an asymmetric catamaran with "OF" type hulls and maximum transverse clearance is recommended for further design of a passenger ferry for the Curonian Lagoon.

Keywords: asymmetric catamaran, interference of ship waves, model tests.

For citation: Arienchuk A. S., Chureev E. A. Study of the interference of ship waves of an asymmetric catamaran. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2026;(81):101–113. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2026-81-101-113.

ВВЕДЕНИЕ

Правительство Калининградской области заинтересовано в развитии внутреннего туризма, а также в том, чтобы сделать отдых на берегу Куршской косы как достопримечательности области доступным для жителей восточной части региона. Один из путей решения данной проблемы – создание пассажирской паромной переправы. Оценка целесообразности организации переправы была выполнена в [1].

Для пассажирских паромных переправ нередко используют суда типа катамаран. Катамараны чаще всего имеют симметричные (относительно диаметральной плоскости – ДП) ватерлинии, как и однокорпусные суда, однако в последнее время появились катамараны с асимметричными корпусами. Данное решение принимается в основном из соображений топливной экономичности.

АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

В источнике [2] представлен анализ испытаний в опытовом бассейне моделей катамаранов с формой корпуса типов «плоский внутри» («IF») и «плоский снаружи» («OF»). В ходе испытаний регистрировались буксировочное сопротивление и высота волн, создаваемых при движении модели. Испытуемая модель катамарана представлена на рис. 1. Согласно приведенной информации, корпуса типа «IF» испытывались при трех различных поперечных клиренсах, а корпус типа «OF» – при одном значении поперечного клиренса.



Рис. 1. Модель катамарана
Fig. 1. Catamaran model

Из приведенных результатов испытаний следует, что лучшие (минимальные) значения буксировочного сопротивления выявлены у корпусов типа «IF» с наименьшим поперечным клиренсом.

В источнике [3] описывается проведение испытаний в опытовом бассейне катамарана с корпусами типов «OF», «IF» и симметричным корпусом, в качестве исходной использовалась модель Wigley. Проекция «корпус» данного судна представлена на рис. 2.

Катамаран с корпусом типа «OF» – это двухкорпусное судно, у которого внешние (бортовые) поверхности корпусов представляют собой практически вертикальные плоскости. Катамаран с корпусом типа «IF» – двухкорпусное судно, у которого внутренние (бортовые) поверхности корпусов также представляют собой практически вертикальные плоскости.

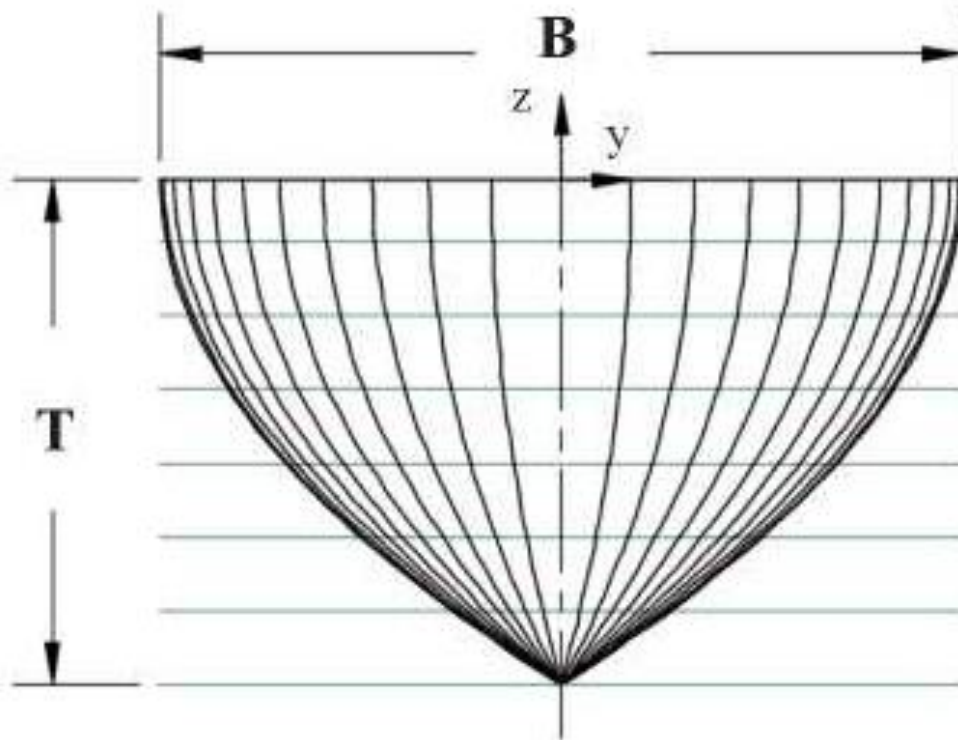


Рис. 2. Проекция «корпус» модели Wigley
Fig. 2. «Bodyplan» projection of Wigley model

Результаты исследований показывают, что корпус типа «IF» демонстрирует более низкое сопротивление как при низких, так и при высоких числах Фруда по сравнению с корпусом типа «OF», однако, различия в сопротивлении уменьшаются при увеличении расстояния между корпусами. Кроме того, обнаружено, что у корпуса типа «IF» при максимальном поперечном клиренсе почти отсутствуют корабельные волны, формирующиеся между корпусами судна, что свидетельствует о минимальном взаимном влиянии корпусов катамарана при данной конфигурации.

В источнике [4] представлены результаты исследований, проведенных путем расчетов численными методами гидродинамики (CFD) для корпусов с обводами типа «OF», «IF» и симметричных. Исходная форма корпуса судна основана на серии S-NPL с закругленной скулой, проекция «корпус» представлена на рис. 3. Форма корпуса типа «OF» показана на рис. 4, а корпус типа «IF» – на рис. 5. В табл. 1 приведены значения общего коэффициента сопротивления для трех типов корпусов при различных значениях относительного поперечного клиренса, отношение расстояния между корпусами (s) к длине судна по ватерлинии (L). В табл. 2 показаны значения относительной разницы между коэффициентами общего сопротивления судов типа «OF» и «IF» и соответствующим коэффициентом общего сопротивления симметричного судна.

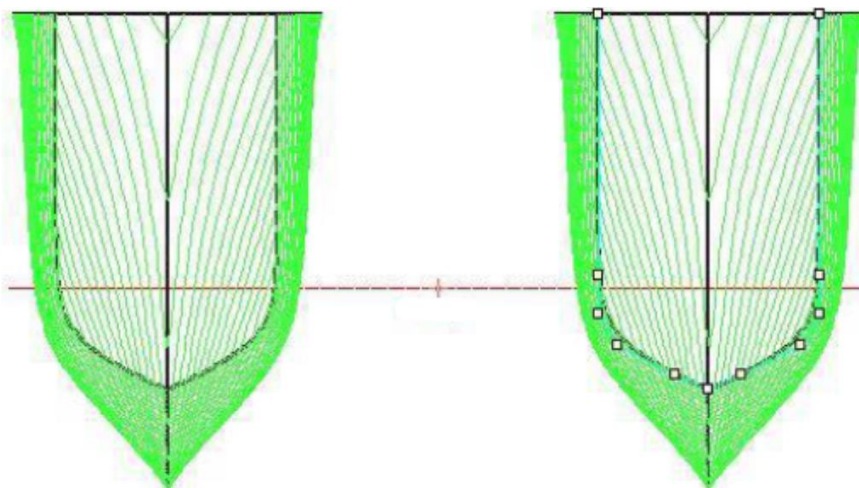


Рис. 3. Проекция «корпус» симметричного катамарана серии S-NPL
Fig. 3. «Bodyplan» projection of a symmetric catamaran

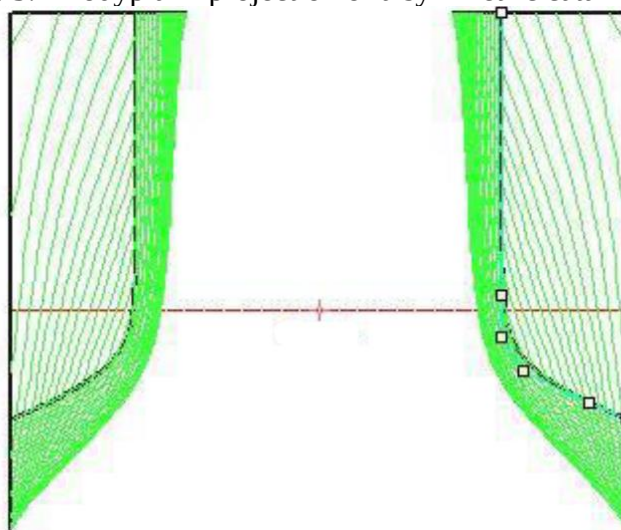


Рис. 4. Проекция «корпус» «OF»
Fig. 4. «Bodyplan» «OF» projection

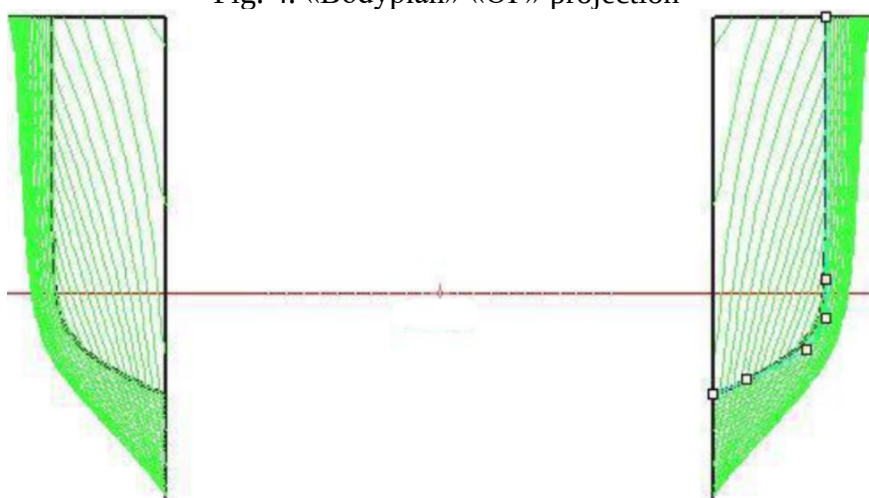


Рис. 5. Проекция «корпус» «IF»
Fig. 5. «Bodyplan» «IF» projection

Таблица 1. Значение коэффициента общего сопротивления катамаранов
Table 1. The value of the coefficient of total drag of catamarans

Fr	Коэффициент общего сопротивления судна в зависимости от числа Фруда при различных типах корпуса катамарана					
	s/L=0,3			s/L=0,4		
	Симметричный	«OF»	«IF»	Симметричный	«OF»	«IF»
0,25	8,190	7,511	7,272	8,403	7,900	7,655
0,30	8,508	8,17	7,89	8,800	8,357	8,068
0,60	9,636	10,211	9,489	9,83	10,313	9,603
0,80	7,476	7,988	7,766	7,570	8,022	7,559
1,00	6,109	6,876	6,769	6,455	7,042	6,831

Примечание: Fr – число Фруда; C_T – коэффициент общего сопротивления судна.

Таблица 2. Относительная разница коэффициентов общего сопротивления судна относительно коэффициента общего сопротивления симметричного судна
Table 2. The relative difference in the coefficients of the total resistance of a vessel relative to the coefficient of the total resistance of a symmetrical vessel

Fr	Относительная разница коэффициента общего сопротивления судна в зависимости от относительного поперечного клиренса			
	s/L=0,3		s/L=0,4	
	ΔC_T^{OF}	ΔC_T^{IF}	ΔC_T^{OF}	ΔC_T^{IF}
0,25	–8,29 %	–11,21 %	–5,99 %	–8,90 %
0,30	–3,97 %	–7,26 %	–5,03 %	–8,32 %
0,60	5,97 %	–1,53 %	4,91 %	–2,31 %
0,80	6,85 %	3,88 %	5,97 %	–0,15 %
1,00	12,56 %	10,80 %	9,09 %	5,82 %

Примечание: ΔC_T^{OF} – относительная разница между коэффициентом общего сопротивления для судна типа «OF», вычисляемая по формуле (1); ΔC_T^{IF} – относительная разница между коэффициентом общего сопротивления для судна типа «IF», вычисляемая по формуле (2).

$$\Delta C_T^{IF} = \frac{C_T^{OF} - C_T^{sym}}{C_T^{sym}} \cdot 100\% \quad (1)$$

$$\Delta C_T^{IF} = \frac{C_T^{IF} - C_T^{sym}}{C_T^{sym}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где C_T^{sym} – коэффициент общего сопротивления симметричного судна.

Анализ вышеприведенных источников показывает, что за счет использования асимметричной формы корпуса судна-катамарана можно получить выигрыш по коэффициенту общего сопротивления порядка 10 %, однако однозначно определить оптимальную конфигурацию корпусов судна (типа «OF» или «IF») на данном этапе не представляется возможным. На основании вышеизложенного было принято решение о подготовке и проведении модельных испытаний асимметричного проектируемого катамарана с целью определения лучшей конфигурации корпусов с точки зрения гидродинамики.

ВЫБОР ФОРМЫ КОРПУСА И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МОДЕЛИ

В источнике [5] были проанализированы четыре наиболее распространенные формы корпуса, характерные для судов катамаранного типа и хорошо изученные в судостроительной практике. Результаты анализа показывают, что обводы типа Schwetz (плоско-килеватые) демонстрируют лучшие характеристики для пассажирских катамаранов по следующим причинам:

1. Обводы Schwetz обеспечивают баланс между сопротивлением воды и устойчивостью на волнении. Обводы снижают волновое сопротивление и улучшают ходовые качества судна, что подтверждается расчетами коэффициента волнового сопротивления C_W (формулы 2.50–2.53 [5]);

2. Результаты оптимизации, выполненные автором в исследовании, показали, что катамараны с данными обводами требуют меньшей мощности энергетической установки при заданной скорости, это снижает затраты на топливо и эксплуатацию (формулы 2.112, 2.119 [5]).

Таким образом, было принято решение об использовании обвода Schwetz в качестве исходного при проектировании пассажирского судна-катамарана и выбран корпус М5-СН из серии обводов Schwetz (рис. 6).

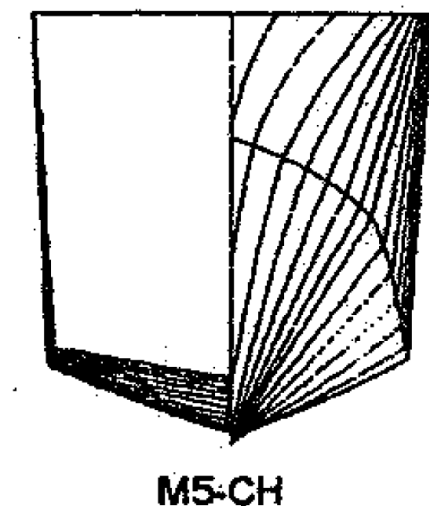


Рис. 6. Проекция «корпус» модели М5-СН
Fig. 6. «Bodyplan» projection of model М5-СН

На основании представленных обводов был разработан теоретический чертеж судна с асимметричными, разделенными по ДП корпуса, обводами. Проекция «корпус» испытуемой модели судна представлена на рис. 7, а геометрические характеристики модели приведены в табл. 2.

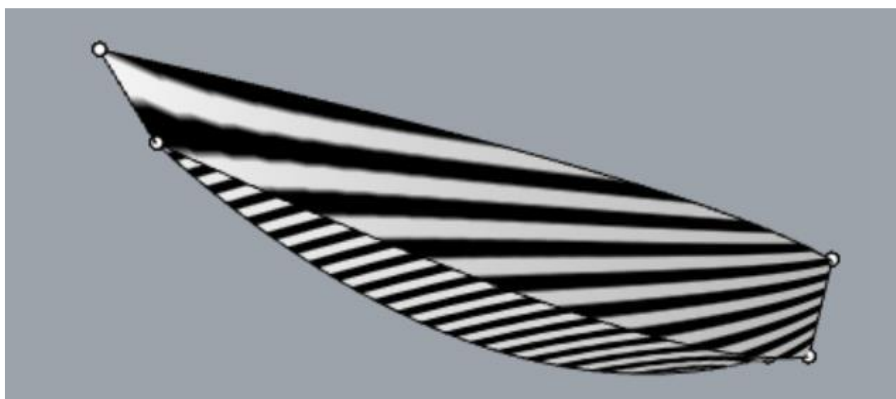


Рис. 7. 3D-модель судна
Fig. 7. 3D-model of a ship

Таблица 3. Геометрические характеристики испытываемой модели
Table 3. Geometric characteristics of the test model

Геометрические характеристики	Значение
Линейный масштаб модели	1/16
Длина по конструктивную ватерлинию, м	1,54
Длина между перпендикулярами, м	1,54
Ширина наибольшая по главной палубе одного корпуса, м	0,114
Ширина по конструктивной ватерлинии на миделе одного корпуса, м	0,093
Осадка по конструктивную ватерлинию на миделе, м	0,090
Высота борта на миделе, м	0,169
Теоретическая шпация, м	0,154
Коэффициент полноты площади мидель-шпангоута	0,753
Коэффициент полноты площади ватерлинии	0,772
Коэффициент общей полноты	0,478

Модель изготовлена с учетом возможности изменения горизонтального клиренса в диапазоне от 308 до 539 мм, что составляет s/L от 0,20 до 0,35. Данный диапазон выбран исходя из условий того, что натурное судно будет проходить под Орлиным мостом в г. Полесске, ширина которого между опорами 13,2 м; в случае, если судно будет иметь $s/L=0,35$, то его ширина составит 11,6 м. Значение $s/L=0,20$ является стандартным при проведении испытаний судов такого типа.

ПРОВЕДЕНИЕ МОДЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Испытания проводились в лаборатории мореходных качеств судов Научно-образовательного центра судостроения, морской инфраструктуры и техники (НОЦ СМИТ) ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» по соответствующим утвержденным методикам проведения буксировочных испытаний.

Размеры опытового бассейна 50 м × 7 м × 4 м (длина, ширина и глубина), скорость движения модели во время испытаний может достигать 2,7 м/с.

Диапазон скоростей для проектируемого судна определен до 20 узлов, что составляет $Fr=0,661$. Поскольку модель судна небольшая, в водоизмещающем режиме абсолютные значения сопротивления будут в районе погрешности измерительного оборудования. Следовательно, было принято решение ограничить проведение модельных испытаний в диапазоне от 12 до 20 узлов натурного судна. С учетом обеспечения равенства чисел Фруда скорости испытаний модели были от 1,542 до 2,57 м/с с шагом 0,129 м/с, каждая из двух конфигураций корпусов испытана при трех различных относительных поперечных клиренсах (0,20; 0,30 и 0,35).

Испытания проводились в одном случае нагрузки судна – посадка на ровный киль по конструктивной ватерлинии, определенной на первом этапе проектирования судна. В процессе испытаний регистрировалось буксировочное сопротивление, а также фото и видеосъемка системы корабельных волн, образующихся в процессе движения модели судна.

Оценка эффективности использования той или иной конфигурации корпусов катамарана производится по интерференционному коэффициенту (3). Если значение данного коэффициента меньше нуля, то это свидетельствует о том, что на рассматриваемой скорости интерференция корабельных волн положительно сказывается на сопротивлении судна.

$$I_F = \frac{C_R^{cat} - C_R^{mon}}{C_R^{mon}}, \quad (3)$$

где C_R^{cat} – коэффициент остаточного сопротивления катамарана; C_R^{mon} – коэффициент остаточного сопротивления одного корпуса.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты обработки данных модельных испытаний представлены на рис. 8, 9. В легенде рисунков «IF» обозначает корпус асимметричного катамарана с плоскими стенками внутри, «OF» – корпус асимметричного катамарана с плоскими стенками наружу, «S/L» – поперечный клиренс катамарана. Коэффициенты сопротивления модели катамаранов представлены в табл. 3. В табл. 4 приведены значения интерференционного коэффициента, в таблице 5 – относительная разница между интерференционным коэффициентом «OF» и «IF». Относительная разница вычисляется по формуле (4). Рассматривается диапазон чисел Фруда от 0,562 до 0,661, что соответствует скоростям от 17 до 20 узлов натурного судна. Выбор данного диапазона скоростей обоснован в источнике [1].

$$\Delta I_F = \frac{I_F^{OF} - I_F^{IF}}{I_F^{IF}} \cdot 100 \%, \quad (4)$$

где I_F^{OF} – интерференционный коэффициент для корпуса типа «OF», I_F^{IF} – интерференционный коэффициент для корпуса типа «IF».

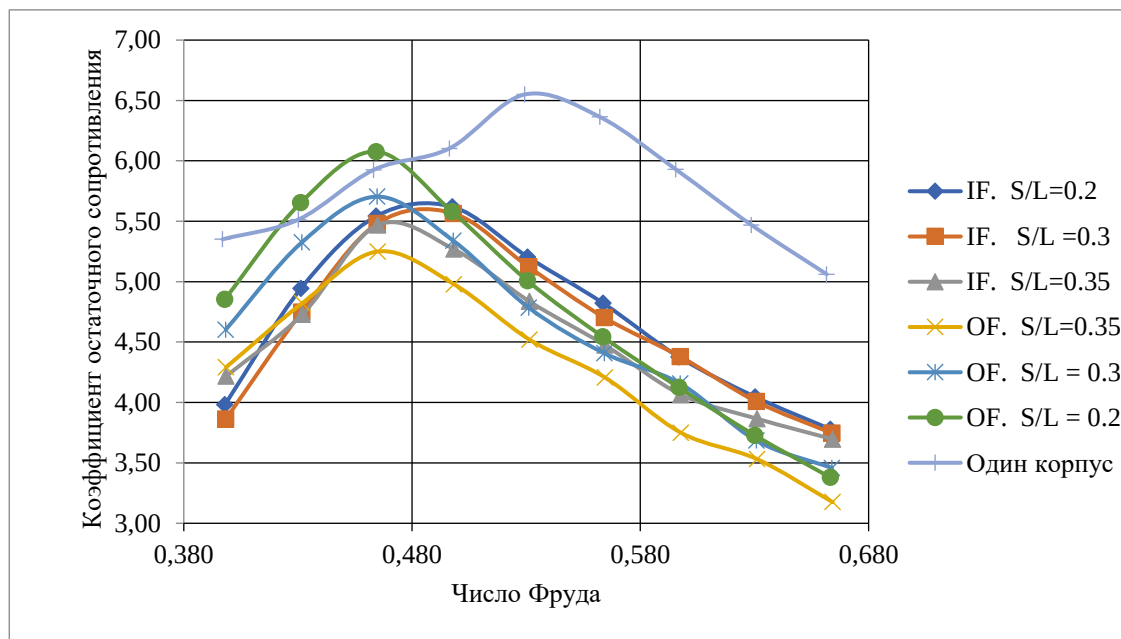


Рис. 8. Кривые изменения коэффициента остаточного сопротивления от числа Фруда

Fig. 8. Curves of the change in the coefficient of residual resistance from the Froude number

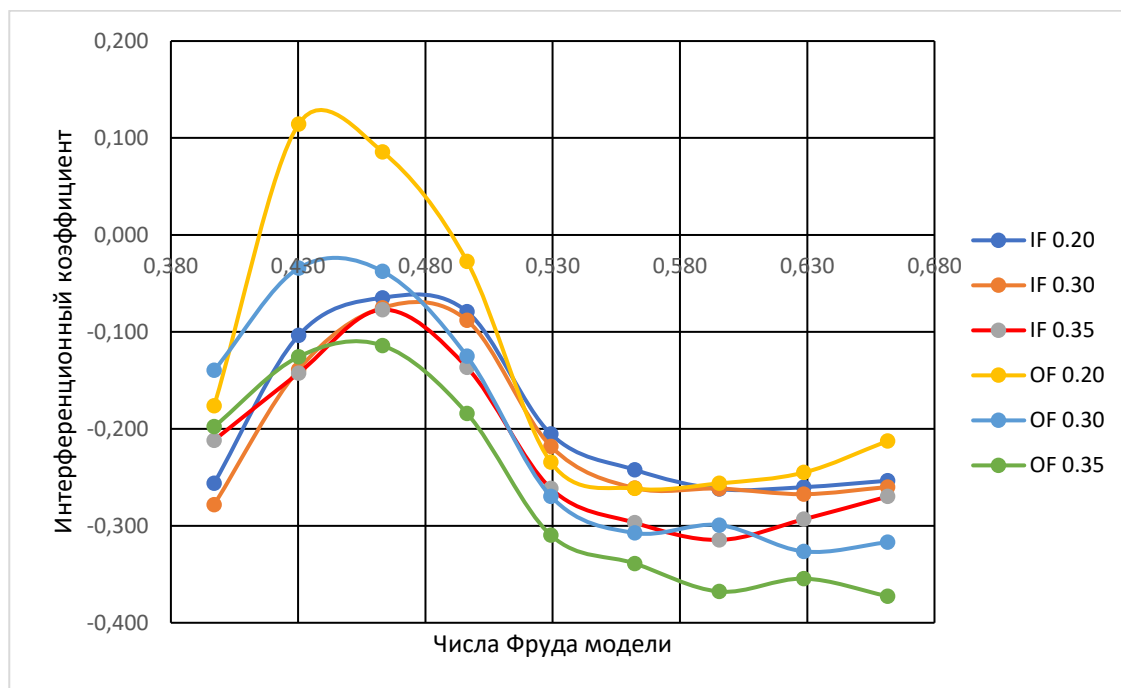


Рис. 9. Кривые изменения интерференционного коэффициента от числа Фруда модели

Fig. 9. Curves of the change in the interference coefficient from the Froude number of the model

Таблица 4. Значения остаточного коэффициента сопротивления катамаранов
Table 4. The values of the residual drag coefficient of catamarans

Варьируемая характеристика	Величина					
Число Фруда/скорость натурального судна, узел	Остаточный коэффициент для различных типов корпусов в зависимости от относительного поперечного клиренса					
	OF			IF		
	s/L=0,2	s/L=0,3	s/L=0,35	s/L=0,2	s/L=0,3	s/L=0,35
0,397 (12)	4,855	4,603	4,292	3,981	3,862	4,218
0,430 (13)	5,653	5,325	4,822	4,943	4,749	4,728
0,463 (14)	6,077	5,704	5,250	5,542	5,481	5,469
0,496 (15)	5,579	5,339	4,980	5,620	5,565	5,269
0,529 (16)	5,008	4,784	4,521	5,205	5,121	4,837
0,562 (17)	4,543	4,408	4,207	4,822	4,703	4,475
0,595 (18)	4,124	4,156	3,749	4,376	4,379	4,065
0,628 (19)	3,728	3,684	3,531	4,047	4,007	3,866
0,661 (20)	3,380	3,457	3,716	3,779	3,746	3,696

Таблица 5. Значения интерференционного коэффициента
Table 5. The values of the interference coefficient

Варьируемая характеристика	Величина					
Число Фруда/скорость натурального судна, уз.	Интерференционный коэффициент для различных типов корпусов в зависимости от относительного поперечного клиренса					
	OF			IF		
	s/L=0,2	s/L=0,3	s/L=0,35	s/L=0,2	s/L=0,3	s/L=0,35
0,397 (12)	-0,176	-0,140	-0,198	-0,256	-0,278	-0,212
0,430 (13)	0,114	-0,034	-0,126	-0,104	-0,139	-0,142
0,463 (14)	0,086	-0,037	-0,114	-0,065	-0,075	-0,077
0,496 (15)	-0,027	-0,125	-0,184	-0,079	-0,088	-0,137
0,529 (16)	-0,234	-0,270	-0,310	-0,205	-0,218	-0,262
0,562 (17)	-0,262	-0,307	-0,339	-0,242	-0,261	-0,297
0,595 (18)	-0,256	-0,299	-0,368	-0,262	-0,262	-0,315
0,628 (19)	-0,245	-0,326	-0,354	-0,260	-0,267	-0,293
0,661 (20)	-0,212	-0,317	-0,373	-0,253	-0,260	-0,270

Таблица 6. Относительная разница между интерференционными коэффициентами корпусов «OF» и «IF»

Table 6. The relative difference between the interference coefficients of the "OF" and "IF" hull

Варьируемая характеристика	Величина		
Число Фруда/скорость натурного судна, уз.	Относительное изменение интерференционного коэффициента от относительного поперечного клиренса		
	s/L=0,2	s/L=0,3	s/L=0,35
0,562 (17)	8,26 %	17,62 %	14,14 %
0,595 (18)	–2,29 %	14,12 %	16,83 %
0,628 (19)	–5,77 %	22,10 %	20,82 %
0,661 (20)	–16,21 %	21,92 %	38,15 %

Обработка данных модельных испытаний показывает, что наименьшее сопротивление обеспечивает конфигурация с максимальным расстоянием между корпусами. Корпус с плоскими стенками наружу, с наибольшим поперечным клиренсом дает наименьшее сопротивление. Для данной конфигурации наблюдается и наиболее благоприятная с гидродинамической точки зрения интерференция волн по сравнению с другими рассмотренными корпусами. Этот корпус был принят в качестве исходных данных для дальнейшей разработки проекта судна.

Список источников

1. Ариенчук, А. С. Оценка целесообразности проектирования пассажирского катамарана для района Куршского залива / А. С. Ариенчук, Е. А. Чуреев // Кораблестроение: материалы Национал. науч.-техн. конф. студентов и курсантов «Дни науки» (Калининград, 14–25 апреля 2025 г.) / Калининградский государственный технический университет. – С. 254–259.
2. Ikezoe, S. Experimental study on seakeeping performance of a catamaran with asymmetric demi-hulls / S. Ikezoe, N. Hirata, H. Yasukawa. – DOI: 10.11113/jt.v66.2494// Jurnal Teknologi. – 2014. – Vol. 66, № 2. – P. 107–111.
3. Zaraphonitis, G. Numerical and experimental study on the wave resistance of fast displacement asymmetric catamarans / G. Zaraphonitis, D. Spanos, A. Papanikolaou // High-Speed Craft: International Conference on High-Performance Marine Vehicles (Hamburg, 2–5 may 2001 г.) / National Technical University of Athens. – Hamburg: Publishing house HIPER, 2001. – P. 250–263.
4. Asapana, S. Resistance Prediction for Asymmetrical Configurations of High-Speed Catamaran Hull Forms: Master of Science thesis / S. Asapana. – Florida: Institute of Technology, 2015. – 82 p.
5. Ха Ван Зуи. Методика проектирования пассажирских катамаранов для Социалистической Республики Вьетнам: дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук: 05.08.03 / Ха Ван Зуи: Дальневост. фед. ун-т. – Владивосток, 2021. – 180 с.

References

1. Arienchuk, A. S. Assessment of the feasibility of designing a passenger catamaran for the Curonian Lagoon area / A. S. Arienchuk, E. A. Chureev // Shipbuilding: proceedings of the National Scientific and Technical Conference of Students and cadets "Days of Science" (Kaliningrad, April 14–25, 2025) / Kaliningrad State Technical University. – P. 254–259.
2. Ikezoe, S. Experimental study on seakeeping performance of a catamaran with asymmetric demi-hulls / S. Ikezoe, N. Hirata, H. Yasukawa // Jurnal Teknologi (Sciences and Engineering). – 2014. – Vol. 66, № 2. – P. 107–111.
3. Zaraphonitis, G. Numerical and experimental study on the wave resistance of fast displacement asymmetric catamarans / G. Zaraphonitis, D. Spanos, A. Papanikolaou // High-Speed Craft: International Conference on High-Performance Marine Vehicles (Hamburg, 2–5 may 2001 г.) / National Technical University of Athens. – Hamburg: Publishing house HIPER, 2001. – P. 250–263.
4. Asapana, S. Resistance Prediction for Asymmetrical Configurations of High-Speed Catamaran Hull Forms: Master of Science thesis / S. Asapana. – Florida: Institute of Technology, 2015. – 82 p.
5. Kha Van Zui. Methodology for designing passenger catamarans for the Socialist Republic of Vietnam: Cand. of tech. sci. diss.: 05.08.03 / Kha Van Zui: Far Eastern Federal University. – Vladivostok, 2021. – 180 p.

Информация об авторах

А. С. Ариенчук – магистрант 2-года обучения

Е. А. Чуреев – кандидат технических наук, директор Научно-образовательного центра судостроения, морской инфраструктуры и техники

Information about the authors

A. S. Arienchuk – 2nd year Master degree student

E. A. Chureev – Candidate of Technical sciences, Director of the Scientific and Educational Center for Shipbuilding, Marine Infrastructure and Technology

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article

The authors declare no conflicts of interests

Статья поступила в редакцию 26.12.2025; одобрена после рецензирования 13.01.2026; принята к публикации 18.02.2026.

The article was submitted 26.12.2025; approved after reviewing 13.01.2026; accepted for publication 18.02.2026.