

DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-2-295-303

EXPERIMENTAL STUDY OF THE INFLUENCE OF CATAMARAN PARAMETERS ON WATER RESISTANCE

K. M. Ushakov^{1,2}, Yu. V. Yatsuk¹

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

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

The advantages of multihulls over monohulls are better running characteristics at high speeds and a larger deck area, which is critical for passenger ships. When designing, it is necessary to choose geometric parameters, which include the distance between the hulls. A brief description of the existing methods for calculating the towing resistance of multihull vessels is provided in the paper. New results of an experimental study of the effect of transverse clearance and the ratio of the one hull width to draft on the resistance of a displacement catamaran are also provided. The studies are carried out by testing a small non-self-propelled model of a multihull vessel in the towing tank. The model length is 1.84 m; the width of one hull is 0.15 m; the draft varies from 0.07 m to 0.11 m. The experiment is carried out in the towing tank of the Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping. The results are processed according to the Froude method without taking into account dynamic heel and they are presented as a dependence of the residual resistance coefficients on the Froude number. By approximating the experimental data, an expression allowing evaluating the influence of these parameters on the value of the residual resistance in the range of Froude numbers 0.30–0.70 is obtained. One hull is also tested at two draft values in the same speed range. These data are not approximated, but they are presented in the paper in the form of experimentally obtained points. The results of the work can be used at the initial stages of designing catamarans and at studying the influence of these factors on the residual resistance.

Keywords: Ship, catamaran, multihull, water resistance, model, towing test, high speed vessel, rest resistance.

For citation:

Ushakov, Konstantin M., and Yury V. Yatsuk. "Experimental study of the influence of catamaran parameters on water resistance." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 15.2 (2023): 295–303. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-2-295-303.

УДК 629.12:532.583.4

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ КАТАМАРАНА НА ОСТАТОЧНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

К. М. Ушаков^{1,2}, Ю. В. Яцук¹

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

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

Предметом исследования является изучение преимуществ многокорпусных судов перед однокорпусными, заключающихся в лучших ходовых характеристиках на больших скоростях и большей площади палубы, что является критичным для пассажирских судов. Отмечается, что при проектировании необходимо выбирать геометрические параметры, в том числе расстояние между корпусами. В работе дано краткое описание существующих методов расчета буксировочного сопротивления многокорпусных судов, а также приведены новые результаты экспериментального исследования влияния поперечного клиренса и отношения ширины одного корпуса к осадке на ходкость водоизмещающего катамарана. Отмечается, что исследования проводились путем испытания в опытовом бассейне малой несамоходной модели многокорпусного судна. Длина модели составляла 1,84 м, ширина одного корпуса — 0,15 м, осадка варьировалась от 0,07 м до 0,11 м. Отличительными особенностями модели является большая полнота обводов и волнорассекающий нос. Эксперимент выполнялся в опытовом бассейне ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова». Результаты были обработаны по методу Фруда без учета динамической посадки и представлены в виде зависимости коэффициентов остаточного сопротивления от числа Фруда. Путем аппроксимации

экспериментальных данных было получено выражение, позволяющее оценить влияние указанных параметров на величину остаточного сопротивления в диапазоне чисел Фруда $0,30-0,70$. Также при двух значениях осадки в том же диапазоне скоростей был испытан один корпус катамарана. Эти данные не аппроксимированы, но приведены в статье в виде экспериментально полученных точек. Результаты работы могут быть использованы на начальных стадиях проектирования катамаранов и при исследовании влияния указанных факторов на остаточное сопротивление.

Ключевые слова: судно, катамаран, ходкость, многокорпусное судно, сопротивление, модельные испытания, высокоскоростные суда, остаточное сопротивление

Для цитирования:

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

Введение (Introduction)

Многокорпусные суда обладают некоторыми преимуществами перед однокорпусными — в частности, меньшее буксировочное сопротивление на больших скоростях, большую площадь палуб, более высокую начальную остойчивость, меньшие уровни ходового дифферента. Все это обуславливает высокую популярность данного типа судов для обеспечения высокоскоростных перевозок. В процессе проектирования часто возникает необходимость выбора поперечного клиренса. При этом увеличение клиренса влечет за собой увеличение ширины моста, а также площади поперечного сечения его балок вследствие увеличения поперечного изгибающего момента. Указанные факторы способствуют увеличению массы корпуса. Для учета данных факторов было выполнено исследование влияния поперечного клиренса и отношения ширины одного корпуса катамарана к осадке.

Целью данной работы является получение данных о сопротивлении воды движению катамаранов с относительно полными обводами.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Достоверное прогнозирование ходкости возможно с помощью проведения модельных испытаний или выполнения верифицированного CFD-анализа. Оба этих подхода требуют наличия данных об обводах и посадке судна. На ранних стадиях проектирования эти данные могут быть неизвестны и неоднократно меняться в процессе проектирования. Для предварительной оценки ходкости разрабатываются способы расчета, основанные на серийных физических или численных экспериментах, пригодных для решения задачи оптимизации. Влияние приведенных факторов можно установить, используя серийные испытания катамаранов. В частности, в работе [1] приведен один из таких методов. Все модели серии имеют килеватость и круглую скулу, относительную длину L/B_1-6-12 , относительную ширину $B_1/T-1-3$, безразмерный горизонтальный клиренс $c/L-0,2-0,5$ и коэффициенты общей полноты от $C_B-0,33-0,44$. Здесь и далее L — длина катамарана по ватерлинии; B_1 — ширина одного корпуса; T — осадка; c — горизонтальный клиренс. Затем в [2] данная серия была дополнена, диапазон L/B увеличен до 15,1.

Результаты численного эксперимента для определения коэффициента волнового сопротивления катамаранов приведены в [3]. Необходимо отметить, что численное моделирование гидродинамики многокорпусных судов имеет особенности [4], математические модели следует верифицировать надежными данными. Регрессионная формула применима для L/B_1 от 10,4 до 20,8, B_1/T от 1,5 до 2,5, C_B от 0,5 до 0,6. В статье [5] приведены данные о сопротивлении моделей катамаранов со значительными вариациями форм обводов. Варьировалась форма носовых обводов, килеватость, острота скулы, наличие продольных реданов, развал бортов. В приведенных исследованиях авторы разделяли сопротивление на волновую и вязкостную составляющие. Автор [6] разделяет полное сопротивление на сопротивление трения и на остаточное сопротивление, что значительно упрощает выполнение практических расчетов, делая этот способ более применимым при проектировании. Исследования гидродинамического взаимодействия корпусов также выполняются довольно часто

[7]. Как правило, варьируется поперечный клиренс, измеряются величины сопротивления, ходовые просадка и дифферент, а также волновой профиль. Такие исследования позволяют определить оптимальный с точки зрения гидродинамики клиренс, но не вполне применимы к задачам проектирования, поскольку требуется учет сразу нескольких факторов. Буксировочное сопротивление, как и гидродинамическое взаимодействие корпусов, зависит от обводов.

Исследования выполнялись путем буксировки модели в опытовом бассейне ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова». Длина бассейна 120 м, ширина — 6,0 м, глубина — около 3,0 м. Скорость буксировки во время испытаний достигала 3 м/с, максимально возможная скорость — 6 м/с. Длина модели $L = 1,84$ м, ширина одного корпуса $B_1 = 0,15$ м. Общая ширина катамарана B варьировалась в диапазоне 0,564–0,900 м, осадка — в диапазоне 0,07–0,11 м. Отношение длины к ширине одного корпуса при этом составило 12,26, коэффициент полноты водоизмещения изменялся в пределах 0,750–0,788. С такой геометрией корпуса испытания проводились впервые. Форма обводов одного корпуса показана на рис. 1, подготовленная к испытаниям модель на воде в бассейне — на рис. 2.

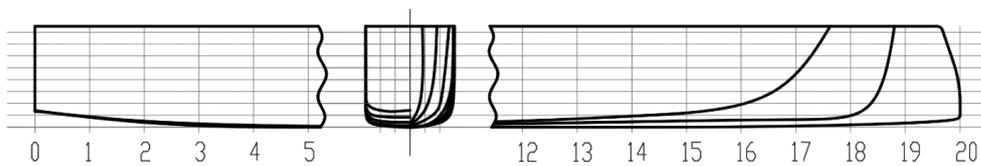


Рис. 1. Форма обводов модели

Модель имеет достаточно большую полноту по сравнению с большинством существующих скоростных катамаранов, обратный наклон форштевня и транцевую корму. Форма носовых обводов является достаточно распространенной и приспособлена для движения судна в условиях волнения (волнорассекающий нос) [8].



Рис. 2. Подготовленная к испытаниям модель

Модель была изготовлена из пенополистирола, поверхность упрочнена эпоксидной смолой, окрашена и отполирована. Для обеспечения турбулентности обтекания в районе первого теоретического шпангоута, в соответствии с [9], был закреплен проволочный турбулизатор, во время испытаний проводился контроль отсутствия аэрации корпусов модели в этом районе.

Результаты (Results)

Испытания проводились в диапазоне чисел Фруда 0,30–0,70. Полученные во время испытаний данные были обработаны по методу Фруда [10]. В процессе буксировочных испытаний измерялись скорость V и буксировочное сопротивление R_m модели.

На основе проведенных испытаний были определены следующие параметры:

- коэффициент остаточного сопротивления корпуса C_R ,

$$C_R = C_M - C_{F_{0,M}} \quad (1)$$

- коэффициент полного сопротивления модели

$$C_M = \frac{2R_M}{\rho V^2 S_M}, \quad (2)$$

где R_M — измеренная сила сопротивления корпуса модели, Н;

S_M — площадь смоченной поверхности модели, m^2 ;

V — скорость буксировки модели, м/с;

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

- коэффициент сопротивления эквивалентной гладкой пластины, рассчитанный для модели:

$$C_{F_{0,M}} = \frac{0,075}{(\lg Re_M - 2)^2}; \quad (3)$$

- число Рейнольдса:

$$Re_M = VL / \nu_M, \quad (4)$$

где $\nu_M = 1,092 \cdot 10^{-6}$ — кинематическая вязкость воды в опытовом бассейне, m^2/c (температура воды в процессе испытаний составляла $16,5 \text{ }^\circ\text{C}$);

- число Фруда:

$$Fn = V / \sqrt{gL}, \quad (5)$$

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

В результате испытаний были получены зависимости коэффициентов остаточного сопротивления C_R от числа Фруда Fn , относительного клиренса c/L , а также отношения B_1/T , где c — горизонтальный клиренс, м; B_1 — ширина одного корпуса, м; T — осадка катамарана (рис. 3).

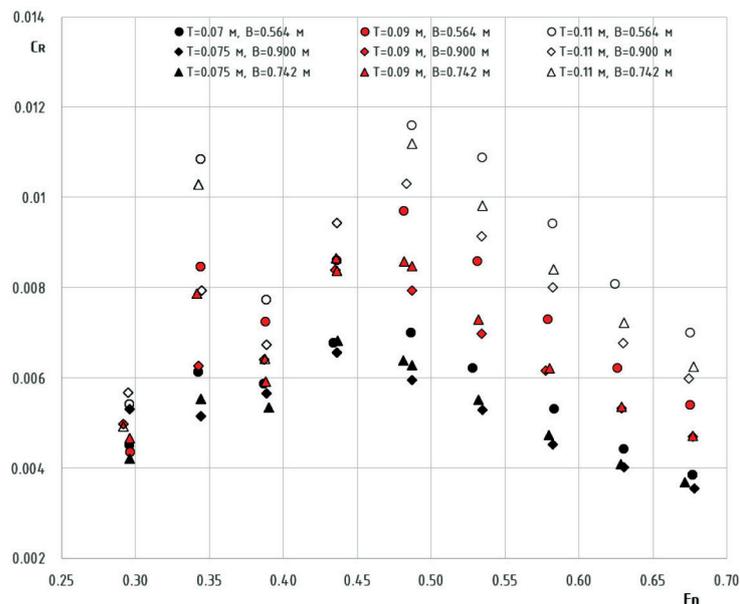


Рис. 3. Экспериментальные значения коэффициентов остаточного сопротивления катамарана в зависимости от числа Фруда, относительного клиренса и осадки

Полученные значения коэффициентов остаточного сопротивления были аппроксимированы следующей формулой для ряда чисел Фруда:

$$C_R = \left(\frac{B_1}{T}\right)^2 \left[a_2 \left(\frac{c}{L}\right)^2 + a_1 \frac{c}{L} + a_0 \right] + \frac{B_1}{T} \left[b_2 \left(\frac{c}{L}\right)^2 + b_1 \frac{c}{L} + b_0 \right] + \left[d_2 \left(\frac{c}{L}\right)^2 + d_1 \frac{c}{L} + d_0 \right]. \quad (6)$$

Коэффициенты полинома приведены в следующей таблице.

Коэффициенты аппроксимации

Fn	0,30	0,34	0,39	0,44	0,49	0,53	0,58	0,63	0,70
a_2	0,11082	0,20807	-0,21251	0,2152	-0,18363	-0,17895	-0,14737	-0,18304	-0,13216
a_1	-0,05361	-0,09927	0,09936	-0,09378	0,09578	0,082	0,064	0,07656	0,05422
a_0	0,00776	0,013269	-0,01154	0,00431	-0,00901	-0,00467	-0,00247	-0,00413	-0,0023
b_2	-0,39497	-0,47322	0,69123	-0,75029	0,74678	0,65497	0,52222	0,63684	0,43333
b_1	0,19569	0,238622	-0,32067	0,31211	-0,38678	-0,29889	-0,22544	-0,263	-0,17367
b_0	-0,02966	-0,04225	0,03525	-0,01499	0,03071	0,01151	0,00343	0,00904	0,00242
d_2	0,40532	0,150877	-0,4555	0,66433	-0,71404	-0,54854	-0,40234	-0,50468	-0,31754
d_1	-0,19992	-0,10533	0,20411	-0,26644	0,36033	0,24044	0,16489	0,19878	0,11767
d_0	0,0346	0,040899	-0,01385	0,02238	-0,01445	0,00569	0,0119	0,00536	0,01005

Пределы применимости формулы (6): B_1/T — 1,30–2,14, c/L — 0,13–0,35. Отдельно проводились испытания одиночного корпуса катамарана. Экспериментально полученные точки приведены на рис. 4.

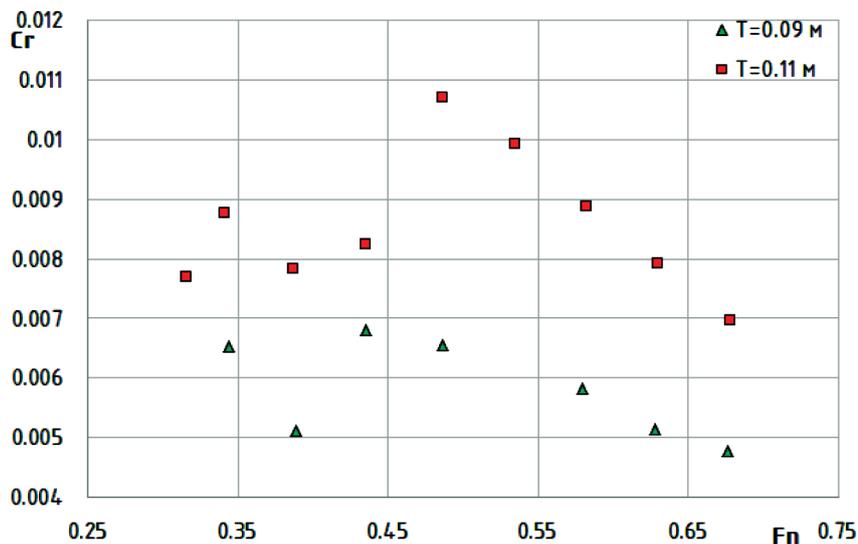


Рис. 4. Экспериментальные значения коэффициентов остаточного сопротивления в зависимости от числа Фруда относительного клиренса и осадки

Эти данные не учитываются в формуле (6), но могут быть использованы при проектировании катамаранов и судов с соответствующей формой обводов. Поскольку подобные размерения для однокорпусных судов нехарактерны, испытания выполнялись в ограниченном объеме, при двух осадках: 0,09 м и 0,11 м.

Обсуждение (Discussion)

Приведенный полином (6) предлагается использовать для оценки влияния на коэффициент остаточного сопротивления изменения клиренса и осадки катамарана. Однако он может быть

использован и для непосредственного расчета коэффициента остаточного сопротивления катамарана с близкими значениями C_n и L/B_1 .

Расчет буксировочного сопротивления натурального судна может быть выполнен по формуле

$$R_n = C_n \frac{\rho_n \cdot V_n^2}{2} S_n, \quad (7)$$

где ρ_n — плотность забортной воды в районе эксплуатации судна, т/м³.

Коэффициент полного сопротивления судна:

$$C_n = C_R + C_{Fo,n} + \Delta C, \quad (8)$$

где ΔC — надбавка, учитывающая шероховатость корпуса и сопротивление выступающих частей.

Коэффициент сопротивления эквивалентной гладкой пластины, рассчитанный для натурального судна:

$$C_{Fo,n} = 0,075 / (\lg R_{en} - 2)^2. \quad (9)$$

Число Рейнольдса для натурального судна:

$$Re_n = V_n L_{вЛН} / \nu_n, \quad (10)$$

где ν_n — кинематическая вязкость воды для натурального судна, м²/с;

Полученные кривые по характеру близки к зависимостям, приводимым в публикациях различных авторов — характерные «горбы» в районе $Fn = 0,35$ и $Fn = 0,50$ и близкая к линейной зависимость в диапазоне $Fn = 0,55-0,70$. Такой же характер кривых приводится, например, в [11]. В [12] общий характер кривых сохраняется, однако отсутствует локальный максимум в районе $Fn = 0,35$. Такие различия могут объясняться влиянием погруженной площади транца, поскольку величина «горба» увеличивается с увеличением B/T и соответствующим увеличением погруженной площади. Существенная разница в указанных площадях обнаруживается и у моделей в приведенных ранее работах. Как показано в [13] и [14], от структуры обтекания транца зависят как волновое сопротивление, так и сопротивление формы. Режим обтекания зависит от формы транца и числа Фруда по осадке транцем:

$$Fn_t = V / \sqrt{9,81T_t}, \quad (11)$$

где T_t — осадка транцем.

Режим обтекания может быть условно разделен на четыре фазы [15]: *фаза 1* — обтекание со стационарным вихрем в районе транца; *фаза 2* — нестационарное обтекание с образованием «кармановской дорожки вихрей»; *фаза 3* — «осушение» транца с образованием вихрей; *фаза 4* — «сухой транец».

В работе [16] показано, что кривая коэффициентов остаточного сопротивления имеет максимум на скоростях, соответствующих фазам 2 и 3. Этим фазам применительно к моделям, испытанным в данной работе, соответствовали числа Фруда $Fn \approx 0,35$. Таким образом, при использовании формулы (6) следует особенно внимательно относиться к соответствию погруженных площадей транца, по крайней мере, при $Fn < 0,4$. Аналогичные процессы происходят также при движении одиночных корпусов — обтекание транца можно разделить на четыре стадии, а кривые остаточного сопротивления имеют локальный максимум в районе $Fn \approx 0,35$.

На рис. 5 приведены результаты расчетов коэффициентов остаточного сопротивления по формуле (6) и в соответствии с рекомендациями публикации [6]. Расчеты выполнялись для нескольких вариантов. На графике приведены кривые для $c/L = 0,15$, $B_1/T = 1,35$, $B_1/T = 1,7$ и $B_1/T = 2,00$. Как видно, характер кривых довольно близок. Присутствуют различия по величине коэффициентов остаточного сопротивления и по положению экстремумов их кривой. Кроме того, метод [6] не показывает локальных максимумов кривых остаточного сопротивления в районе чисел Фруда 0,35.

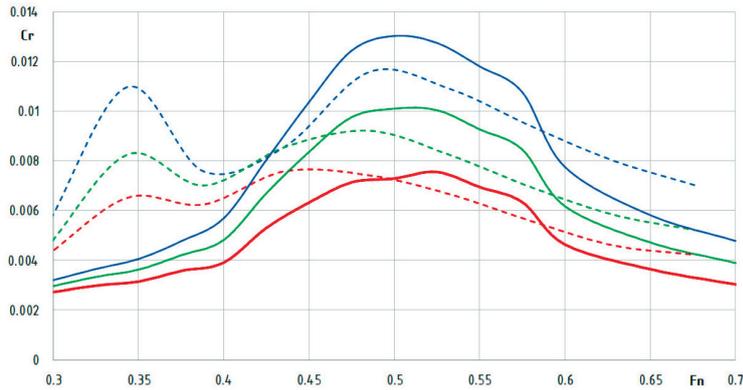


Рис. 5. Сравнение расчетов коэффициентов остаточного сопротивления

Следует также отметить, что ИТТС [9] для высокоскоростных судов рекомендует во время испытаний измерять ходовой дифферент, определять площадь смоченной поверхности во время движения и разделять остаточное сопротивление и сопротивление трения не по формуле (1), а с учетом того факта, что трение будет возникать только на той части корпуса, которая находится в воде, по формуле (11):

$$C_{RM} = C_m - (S_1/S_M)C_{F_{0,M}}. \quad (12)$$

Здесь S_1 — площадь смоченной поверхности в ходовом режиме.

По сравнению с классическим способом, использованным в работе [6] и в данной статье, такой метод пересчета увеличивает долю сопротивления, моделируемую по числу Фруда, и уменьшает долю, пересчитываемую по числу Рейнольдса, что физически более достоверно. Однако в этом случае при испытаниях необходимо также измерять ходовой дифферент и площадь смоченной поверхности, а также пересчитывать их значения в реальных размерах, что существенно усложняет расчет.

Заключение (Conclusion)

В работе приведены результаты модельных испытаний водоизмещающего катамарана при различных клиренсах и осадках, а также аппроксимация этих результатов. Полученные данные могут быть использованы на ранних стадиях проектирования многокорпусных судов при выборе расстояния между корпусами. Выполненное сравнение характера полученных кривых с данными, приведенными в других работах, показывает хорошую достоверность эксперимента и аппроксимации, а выявленные различия вызваны иными геометрическими параметрами судов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Insel M.* An Investigation into Resistance Components of High-Speed Displacement Catamarans. Doctoral Thesis / M. Insel. — United Kingdom: University of Southampton, 1990. — 378 p.
2. *Molland A. F.* Resistance Experiments on a Systematic Series of High Speed Displacement Catamaran Forms: Variation of Length-Displacement Ratio and Breadth-Draft Ratio (Ship Science Report, 71) / A. F. Molland, J. F. Wellicome, P. R. Couser. — Southampton, UK: University of Southampton, 1994. — 82 p.
3. *Pham X. P.* Wave Resistance Prediction of Hard-Chine Catamarans through Regression Analysis / X. P. Pham, K. Kantimahanthi, P. K. Sahoo // 2nd International Euro Conference on High Performance Marine Vehicles, Hamburgo, Alemania. — 2001. — Pp. 382–394.
4. *Sugalski K.* Influence of the Symmetry Plane Boundary Condition on the Planing Multihull Calm Water Resistance Test. CFD to Towing Tank Comparison / K. Sugalski // New Trends in Production Engineering. — 2018 — Vol. 1. — Is. 1. — Pp. 385–391. DOI: 10.2478/ntpe-2018-0048.
5. *Schwetz A.* Wave Resistance of Semi-Displacement High Speed Catamarans Through CFD and Regression Analysis / A. Schwetz, P. K. Sahoo // Proc. 3rd International Euro Conference on High Performance Marine Vehicles (HIPER'02). — 2002. — Pp. 355–368.

6. Grubišić I. Multi-attribute design optimization of Adriatic catamaran ferry / I. Grubišić, I. Munić // *Maritime Transportation and Exploitation of Ocean and Coastal Resources*. — London, Leiden, New York, Philadelphia Singapore: Taylor & Francis group plc., 2005. — Pp. 851–858.
7. Broglia R. Experimental investigation of interference effects for high-speed catamarans / R. Broglia, B. Jacob, S. Zaghi, F. Stern, A. Olivieri // *Ocean Engineering*. — 2014. — Vol. 76. — Pp. 75–85 DOI: 10.1016/j.oceaneng.2013.12.003.
8. Крыжевич Г. Б. Способы и средства улучшения мореходности, комфортабельности и снижения материалоемкости пассажирского катамарана / Г. Б. Крыжевич, А. Ю. Правдин // *Труды Крыловского государственного научного центра*. — 2021. — № 1 (395). — С. 99–108. DOI: 10.24937/2542-2324-2021-1-395-99-108.
9. ITTC Recommended procedures and guidelines [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://itc.info/media/9876/0_0.pdf (дата обращения: 20.09.2021).
10. Бавин В. Ф. Ходкость и управляемость судов: учеб. / В. Ф. Бавин, В. И. Зайков, Л. Б. Сандлер, В. Г. Павленко; под ред. В. Г. Павленко. — М.: Транспорт, 1991. — 396 с.
11. Ramsani Z. B. Effect of Hull Form and its Associated Parameters on the Resistance of a Catamaran / Z. B. Ramsani, I.C.K. Tam, A. Dev // *Proc. of the 6th Intl. Conf. on Technology and Operation of Offshore Support Vessels (OSV Singapore 2016)*. — OSV Singapore, 2016. — Pp. 56–66.
12. Mandru A. Experimental study on catamaran hydrodynamics / A. Mandru, F. Pacuraru // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. — IOP Publishing, 2020. — Vol. 916. — Is. 1. — Pp. 012060. DOI: 10.1088/1757-899X/916/1/012060.
13. Korkmaz K. B. Scaling of wetted-transom resistance for improved full-scale ship performance predictions / K. B. Korkmaz, S. Werner, R. Bensow // *Ocean Engineering*. — 2022. — Vol. 266. — Pp. 112590. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2022.112590.
14. Kamal I. M. Influence of the transom immersion to ship resistance components at low and medium speeds / I. M. Kamal, A. I. Ismail, M. N. Abdullah, Y. A. Ahmed // *Journal of Naval Architecture and Marine Engineering*. — 2020. — Vol. 17. — No. 2. — Pp. 165–182. DOI: 10.3329/jname.v17i2.48494.
15. Haase M. Wave-piercing Catamaran Transom Stern Ventilation Process / M. Haase, J. Binns, G. Thomas N. Bose // *Ship Technology Research*. — 2016. — Vol.63. — Is. 2. — Pp. 71–80. DOI: 10.1080/09377255.2015.1119922.
16. Hadler J. B. On the Effect of Transom Area on the Resistance of Hi-Speed Monohulls / J. B. Hadler, J. L. Kleist, M. L. Unger. — *Proceedings of 9th International Conference on Fast Sea Transportation*. — 2007. — Pp. 176–183.

REFERENCES

1. Insel, Mustafa. An Investigation into Resistance Components of High-Speed Displacement Catamarans. Doctoral Thesis. United Kingdom: University of Southampton, 1990.
2. Molland, A.F., J. F. Wellicome, and P. R. Couser. *Resistance experiments on a systematic series of high speed displacement catamaran forms: variation of length-displacement ratio and breadth-draught ratio* (Ship Science Report, 71). Southampton, UK: University of Southampton, 1994.
3. Pham, Xuan P., Kishore Kantimahanthi, and Prasanta K. Sahoo. “Wave resistance prediction of hard-chine catamarans through regression analysis.” *2nd International Euro Conference on High Performance Marine Vehicles, Hamburg, Alemania*. 2001.
4. Sugalski, Karol. “Influence of the Symmetry Plane Boundary Condition on the Planing Multihull Calm Water Resistance Test. CFD to Towing Tank Comparison.” *New Trends in Production Engineering* 1.1 (2018): 385–391. DOI: 10.2478/ntp-2018-0048.
5. Schwetz, Adam, and P. K. Sahoo. “Wave resistance of semi-displacement high speed catamarans through CFD and regression analysis.” *Proc. 3rd International Euro Conference on High Performance Marine Vehicles (HIPER’02)*. 2002.
6. Grubišić Izvor, and Ivan Munić. “Multi-attribute design optimization of Adriatic catamaran ferry.” *Maritime Transportation and Exploitation of Ocean and Coastal Resources*. London, Leiden, New York, Philadelphia Singapore: Taylor & Francis group plc., 2005. 851–858.
7. Broglia, Riccardo, Boris Jacob, Stefano Zaghi, Frederick Stern, and Angelo Olivieri. “Experimental investigation of interference effects for high-speed catamarans.” *Ocean Engineering* 76 (2014): 75–85. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2013.12.003.

8. Kryzhevich, Gennady B., and Andrian Yu Pravdin. "Methods and means to improve seakeeping performance and comfort and to reduce material consumption of passenger catamaran." *Transactions of the Krylov State Research Centre* 1(395) (2021): 99–108. DOI: 10.24937/2542-2324-2021-1-395-99-108.
9. ITTC Recommended procedures and guidelines. Web. 20 Sept. 2021 <https://itc.info/media/9876/0_0.pdf>.
10. Bavin, V.F., V. I. Zaikov, L. B. Sandler, and V. G. Pavlenko. *Khodkost' i upravlyaemost' sudov: ucheb.* Edited by V. G. Pavlenko. M.: Transport, 1991.
11. Ramsani, Zulkarnain Bin, Ivan CK Tam, and Arun Dev. "Effect of Hull Form and its Associated Parameters on the Resistance of a Catamaran." *Proc. of the 6th Intl. Conf. on Technology and Operation of Offshore Support Vessels (OSV Singapore 2016)*. OSV Singapore, 2016. 56–66.
12. Mândru, Anca Maria, and Florin Pacuraru. "Experimental study on catamaran hydrodynamics." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 916. No. 1. IOP Publishing, 2020. DOI: 10.1088/1757-899X/916/1/012060.
13. Korkmaz, Kadir Burak, Sofia Werner, and Rickard Bensow. "Scaling of wetted-transom resistance for improved full-scale ship performance predictions." *Ocean Engineering* 266 (2022): 112590. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2022.112590.
14. Kamal, I. Z. Mustafa, A. Imran Ismail, M. Naim Abdullah, and Y. Adnan Ahmed. "Influence of the transom immersion to ship resistance components at low and medium speeds." *Journal of Naval Architecture and Marine Engineering* 17.2 (2020): 165–182. DOI: 10.3329/jname.v17i2.48494.
15. Haase, Max, J. Binns, G. Thomas, and N. Bose. "Wave-piercing catamaran transom stern ventilation process." *Ship Technology Research* 63.2 (2016): 71–80. DOI: 10.1080/09377255.2015.1119922.
16. Hadler, J.B., J. L. Kleist, and M. L. Unger. "On the Effect of Transom Area on the Resistance of Hi-Speed Monohulls." *Proceedings of 9th International Conference on Fast Sea Transportation*. 2007. 176–183.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ушаков Константин Михайлович —
 старший преподаватель,
 ведущий инженер-конструктор
 ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
 С. О. Макарова»
 198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
 Двинская, 5/7
 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, доцент
 ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
 С. О. Макарова»
 198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
 Двинская, 5/7
 e-mail: YatsukUV@gumrf.ru

Ushakov, Konstantin M. —
 Senior lecturer,
 lead design engineer
 Admiral Makarov State University of Maritime
 and Inland Shipping
 5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
 Russian Federation
 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, associate professor
 Admiral Makarov State University of Maritime
 and Inland Shipping
 5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
 Russian Federation
 e-mail: YatsukUV@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию 27 января 2023 г.
 Received: January 27, 2023.