

УДК 532.5

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

Кожевников Артур Игоревич¹, аспирант кафедры гидродинамики, теории корабля и экологической безопасности судов, e-mail: nkolonget@ro.ru

Бушков Степан Викторович¹, магистрант кафедры гидродинамики, теории корабля и экологической безопасности судов, e-mail: Bushkov-SV@yandex.ru

¹ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта», 603905, Нижний Новгород, Нестерова 5

ОСОБЕННОСТИ ВОЛНООБРАЗОВАНИЯ НЕКОТОРЫХ ТЕЛ ПРОСТОЙ ФОРМЫ ПРИ БОЛЬШИХ ЧИСЛАХ ФРУДА

Аннотация. Одним из способов снижения волнового сопротивления и уменьшения высот волн между корпусами катамаранов является использованием бульбов, расположенных в диаметральной плоскости между корпусами. На основании численного моделирования и буксировочных испытаний в ряде исследований показана возможность снижения остаточного сопротивления за счет использования бульба в форме эллипсоида при $Fr > 0,5$. В тоже время, предполагаемый диапазон движения речных большегрузных катамаранов находится в диапазоне 0,18-0,31, который, как показал анализ работ в этой области, исследован недостаточно. Характеристики волнообразования зависят от формы бульба, поэтому целесообразно исследовать параметры образующихся волн сначала на бульбе в свободном потоке, а после совместно с катамараном. Первый этап исследования проводился для трех эллипсоидов длиной: 29,2м (Fr от 0,414 до 0,691), 14,6м (Fr от 0,585 до 0,978) и 7,3м (Fr от 0,827 до 1,383), а также шара диаметром 1,76м (Fr от 1,685 до 2,816). Особенностью обтекания бульба в свободном потоке являются большие числа Фруда ввиду его меньшей по сравнению с катамараном длины и высоких скоростях движения. Описаны результаты численного моделирования эллипсоида различной длины, определены характеристики генерируемых корабельных волн и сделаны выводы о целесообразности модификации формы бульба для большегрузных катамаранов.

Ключевые слова: вычислительная гидродинамика, CFD, корабельные волны, интерференция волн, NUMECA FINE/MarineTM, выступающие части, катамараны, большие числа Фруда, бульб.

Одним из вопросов, возникающих при эксплуатации катамаранов является волнообразование между его корпусами, когда высоты волн существенно превосходят волны, генерируемые по наружному борту и оказывают существенное влияние на волновое сопротивление, прочность и конструкцию моста катамарана. Для уменьшения высот волн между корпусами используются различные конструкции, влияющие, как правило, только на волны наибольшей высоты. Однако изменение параметров волн может быть достигнуто за счет генерации волн бульбами различной формы, расположенными междукорпусном пространстве катамарана.

В 2020 г. А Mandru and F Pasaru из Университета Галаца, Румыния [1] провели исследование, посвященные улучшению гидродинамических характеристик катамарана, путем установки бульба между корпусами. Авторами проведены буксировочные испытания на 7 скоростях, соответствующих числам Фруда в диапазоне от 0,2 до 0,8, при различных конфигурациях бульба с учетом 3-х различных глубин и 2-х положений вдоль корпуса (нос и корма). Эксперименты проводились в опытовом бассейне Университета Галаца с моделью катамарана и бульба в масштабе 1:32. Длина натурного судна 37,498 м, ширина 12 м. В качестве бульба предложен эллипсоид длиной 7,2 м, диаметром 1,44 м. Варианты его размещения приведены на рис.1. Цифры 1 и 3 соответствуют переднему и кормовому положению, а А, В, С соответствуют нижнему, среднему, высшему вертикальному положению. Катамаран без бульба – «cat».

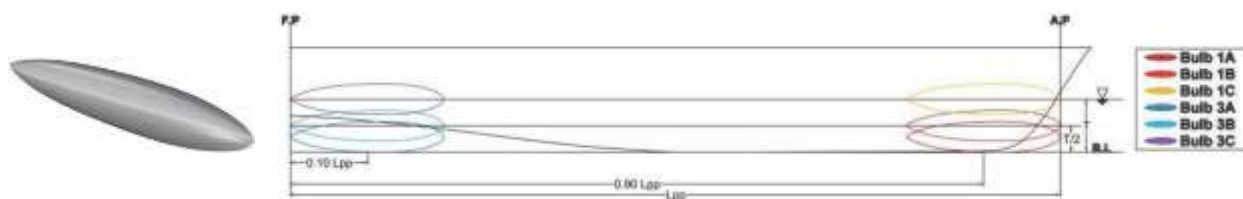


Рисунок 1 - Форма бульба и его варианты размещения

Анализируя изменение коэффициента остаточного сопротивления на рис. 2, можно заметить, что все кривые имеют максимум при скорости, соответствующей числу Фруда 0,5. В диапазоне чисел Фруда 0,4-0,6 полученные значения коэффициентов сопротивления для всех вариантов размещения бульба меньше, чем в случае без его использования. Наиболее существенное снижение на 7,53% наблюдается при положении бульба 3 С. Самое низкое значение коэффициента сопротивления зафиксировано при числе Фруда 0,3, но рассматриваемое судно не рассчитано для плавания со скоростями, соответствующим малым числам Фруда. Размещение бульба в положениях Bulb 3С и Bulb 1С привело к снижению сопротивления в широком диапазоне скоростей, соответствующих числам Фруда от 0,4 до 0,7.

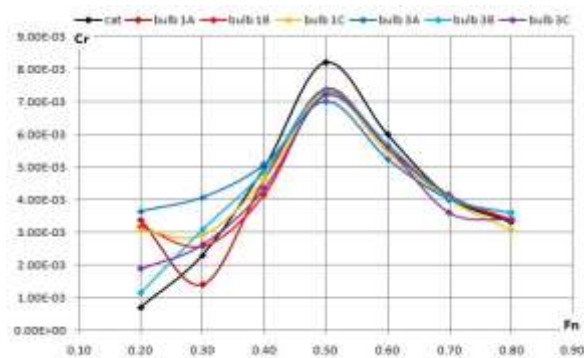


Рисунок 2 - Кривые изменения коэффициента остаточного сопротивления

Похожие исследования выполнены Goutam Kumar Saha, Kazuo Suzuki, and Hisashi Kai [2], с помощью численных методов для оптимизации корпуса высокоскоростного катамарана с носовыми и кормовыми бульбами в диаметральной плоскости. Использовался численный метод решения трехмерного потенциального обтекания судна, движущегося с постоянной скоростью в спокойной глубокой воде. Оптимизация выполнялась для двух чисел Фруда 0,45 и 0,5. В статье отмечено, что при $Fr=0,45$ сопротивление волнообразованию корпусов катамарана при использовании носовых и кормовых бульбов было снижено примерно на 28%, а при $Fr=0,5$ на 40% от

первоначального значения для катамарана без бульбов. Оптимизированный корпус катамарана с бульбами при $Fr=0,45$ позволил снизить волновое сопротивление более чем на 65%, а при $Fr=0,5$ на 50%, по отношению к первоначальному его значению для корпуса катамарана без бульбов.

В работе D.B. Danisman [3] исследуется возможность снижения волнового сопротивления катамарана с бульбами с применением искусственной нейронной сети. Кривые коэффициента сопротивления с бульбом и без него приведены на рис. 3. Для числа Фруда 0,6 отмечено снижение волнового сопротивления на 15%. Выполненное в работе численное моделирование подтверждено экспериментом. Результаты исследований показывают, что при использовании бульба можно значительно снизить высоты волн, генерируемых корпусом катамарана.

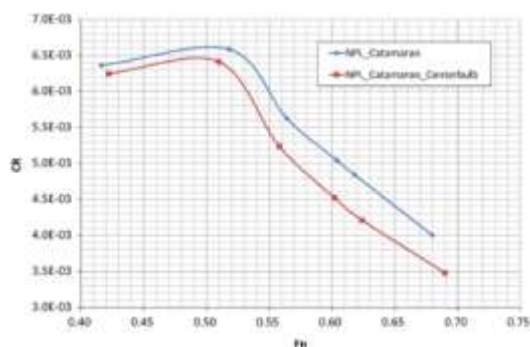


Рисунок 3 – Сравнение кривых C_g с бульбом (красная) и без него (синяя)

Все работы выполнены для $Fr > 0,3$ или для очень большого диапазона изменения числа Фруда. В то же время для большегрузных речных катамаранов диапазон чисел Фруда ограничен 0,2-0,3 и коэффициент остаточного сопротивления в этом диапазоне характеризуется большими амплитудами изменения. Поэтому интерес представляет попытка уменьшения волнового сопротивления и высот волн именно в этом диапазоне.

На первом этапе было решено проверить и оценить волновые поля при обтекании эллипсоида, аналогичного исследованиям [1]. Исследования проводились для четырех тел: трех эллипсоидов с одинаковой шириной 1,76м и различными длинами 29,2м (Fr от 0,414 до 0,691), 14,6м (Fr от 0,585 до 0,978) и 7,3м (Fr от 0,827 до 1,383), а также шара диаметром 1,76м (Fr от 1,685 до 2,816).

Исследования проводились с помощью численного моделирования в программном комплексе NUMECA/FineMarine™. Предназначенном для решения задач корабельной гидродинамики. Размеры расчетного домена выбирались на основании [6]. Использовалась стандартная комбинация граничных условий, приведенная в работах [7-9].

Для численного моделирования применялась неструктурированная расчетная сетка, построенная в подпрограмме HEXPRESS™. Учет трения в водоизмещающем режиме движения обеспечивался разрешением пограничного слоя – 20-22 при $y^+=1$. Скорость движения тела изменялась в пределах 7 – 11,7 м/с (25-42 км/ч) и обусловлена скоростью движения судна. Общее количество расчетных вариантов составило 28 штук. Пример построенной расчетной сетки приведен на рис. 4.

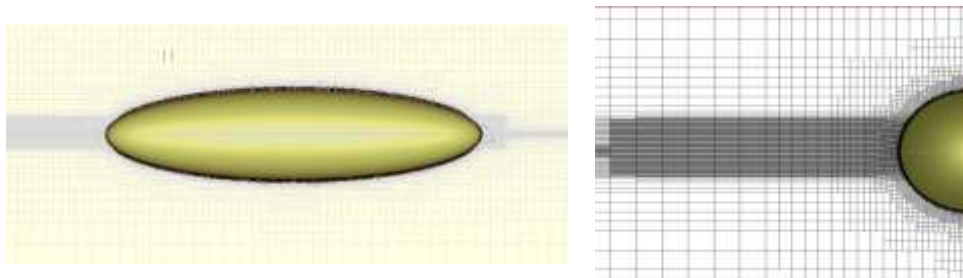


Рисунок 4 – Примеры построенной расчетной сетки для эллипсоида $L=7,3$ м

В результате моделирования были получены картины смоченной и волновой поверхностей для всех расчетных вариантов, численные значения которых в виде ординат волнового профиля показаны на графиках (рис. 5-7).

Анализируя графики на рис. 5, можно отметить, что наибольшим значением коэффициента сопротивления обладает тело формы шара, а наименьшим эллипсоид с длиной $L=29,2$ м, что связано с гидродинамикой данных тел. Разница в значениях коэффициентов сопротивлений у остальных трех эллипсоидов наиболее заметна при скоростях до 8,10 м/с, далее, с увеличением скорости, значения приобретают мало отличимый друг от друга характер.

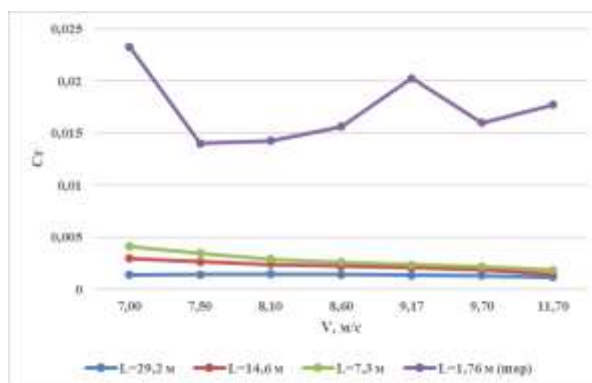


Рисунок 5 – Зависимости коэффициента сопротивления о скорости движения тел

На рис. 6 видно, что высоты волн в носу, образуемые при движении тел, для шара имеют наименьшие значения во всем исследуемом диапазоне скоростей, а в ряду трех оставшихся эллипсоидов наименьшие высоты наблюдаются у эллипсоида длиной 29,2 метра.

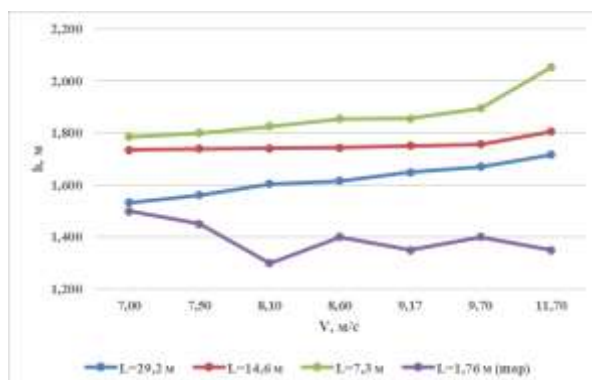


Рисунок 6 – Зависимости высоты волны в носу от скорости движения тел

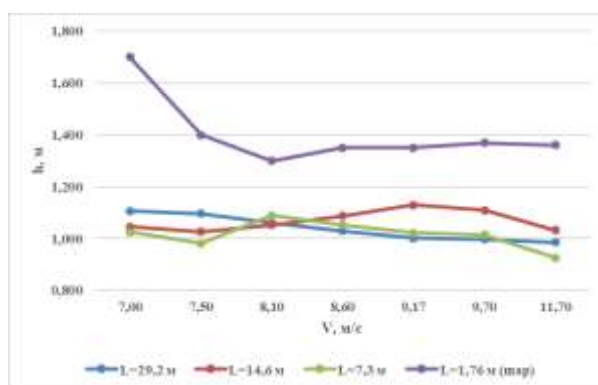


Рисунок 7 – Зависимости высоты волны в корме от скорости движения тел

Графики, показанные на рис.7, свидетельствует об обратной картине высот волн в корме тел, максимальные значения которых наблюдаются во всем диапазоне скоростей у шара, причем при начальной скорости 7 м/с величина наибольшая. Наименьшим средним значением обладает эллипсоид длиной 7,3 метра. Также стоит отметить, что при скорости 8,10 м/с значения высот волн для всех трех эллипсоидов практически одинаковые.

Примеры картин волновых поверхностей приведены на Рисунках 8а и 8б.

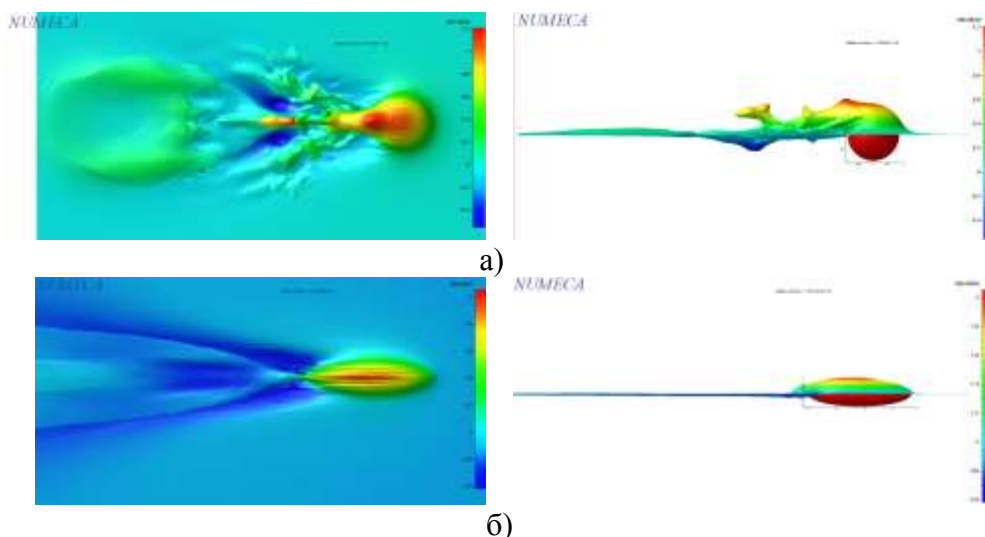


Рисунок 8 – Волновые поверхности виды сверху и сбоку: а) для шара при $V=7,00$ м/с; б) для эллипсоида длиной 7,3 м при $V= 11,7$ м/с

Анализируя полученные картины волновых поверхностей, стоит отметить сложную картину волнообразования в кормовой части у шара при $V=7$ м/с, изображенную на рис. 8а.

В результате проведенных исследований особенностей волнообразования некоторых тел простой формы при больших числа Фруда с помощью численного моделирования в программном пакете NUMECA/FineMarine™, получены характеристики корабельных волн для эллипсоидов трех различных длин и шара. В диапазоне скоростей от 7 м/с до 11,7 м/с: наибольшим коэффициентом сопротивления обладает шар (максимальное значение 0,023 при $V=7$ м/с), наименьшим – эллипсоид длиной 29,2 м (минимальное значение 0,001 при $V=11,7$ м/с); значения высот волн в носу минимальные у шара (среднее значение 1,39 м), а максимальные у эллипсоида длиной 7,3м (среднее значение 1,86м); среднее значения высот волн в корме максимальные у шара 1,40 м, а минимальное у эллипсоида длиной 7,3 м и составляет для него 1,01м. Исследования наглядно показывают перемены картин волнообразования при изменении формы тел, правильно подобранные

параметры которых будут создавать волны конкретных высот при оптимальном сопротивлении формы самих бульбов. Таким образом, модификация эллипсоидной формы бульба целесообразна для снижения сопротивления между корпусами речных большегрузных катамаранов, а полученные результаты в настоящей работе могут помочь в решении этой задачи.

Список литературы:

1. Mandru A., Pacuraru F. Experimental study on catamaran hydrodynamics // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2020. - Vol. 916. - P. 012060. (DOI: 10.1088/1757-899X/916/1/012060).
2. Saha G.K., Suzuki K., Kai H. Hydrodynamic optimization of a catamaran hull with large bow and stern bulbs installed on the center plane of the catamaran // Marine Science and Technology. - 2005. - Vol. 10. - No. 1. - P. 32-40. (DOI: 10.1007/s00773-004-0186-6).
3. Danisman D.B. Numerical and experimental investigation of the effect of bow flare angle on the resistance and seakeeping performance of catamarans // Ocean Engineering. - 2014. - Vol. 91. - P. 227-234.
4. Mizine I., Karafiath G., Queutey P., Visonneau M. Interference Phenomenon in Design of Trimaran Ship, FAST 2009, 2009
5. A. Mandru, F. Pacuraru The effect of appendages on ship resistance 2021 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1182 012041
6. Hochkirch, Karsten and Benoit Mallol. "On the Importance of Full-Scale CFD Simulations for Ships." (2013). 12th International Conference on Computer and IT Applications in the Maritime Industries, Cortona, 15-17 April 2013, Hamburg, Technische Universität Hamburg-Harburg, 2013, ISBN 978-3-89220-663-7 p. 85-96.
7. Mizine I., Karafiath G., Queutey P., Visonneau M. Interference Phenomenon in Design of Trimaran Ship, FAST 2009, 2009
8. Lukina Evgeniya A., Cheban Egor YU., Nikushchenko Dmitry V., Samosyuk Alina I., Glukhova Veronika S. Investigation of the hydrodynamic impact of a planing small vessel on a water body. MARINE INTELLIGENT TECHNOLOGIES.– 2021. – № 4-2(54). – С. 129-134. – DOI 10.37220/MIT.2021.54.4.078. – EDN KJRDLV.
9. Cheban Egor Yu., Martemianova Olga V., Mitroshin Sergey G., Zotova Natalia E., Logvinov Alexei V. Estimation of the wave formation for extra-capacity catamaran with various forms of inner sides. RUSSIAN JOURNAL OF WATER TRANSPORT . – 2020. – № 63. – С. 109-120. – DOI 10.37890/jwt.vi63.82. – EDN AXBAQK.

PECULIARITIES OF WAVE FORMATION OF SOME BODIES OF SIMPLE SHAPE AT LARGE FROUDE NUMBERS

Egor Yu. Cheban, Artur I. Kozhevnikov, Stepan V. Bushkov

Abstract. One way to reduce wave resistance and wave heights between catamaran hulls may be using bulb, which located in the center plane of catamaran. Some scientific articles shows the possibility of reducing the residual resistance due to the use of an ellipsoid-shaped bulb at Froude numbers greater than 0.5. At the same time, the estimated range of velocity for river large cargo catamarans is in the range of 0.18-0.31. The characteristics of wave formation depend on the shape of the bulb, so it is advisable to study the parameters of the waves formed first on the bulb in free flow, and then together with the catamaran. The first stage of study was carried out for the three ellipsoid's length: 29,2m (Fr=0,414-0,691), 14,6m (Fr=0,585-0,978) and 7,3m (Fr=0,827-1,383), ball d=1,76m (Fr=1,685-2,816). A feature of the flow around the bulb in free flow is the large Froude numbers due to its shorter length compared to the catamaran and high speeds. This paper describes the results of numerical modeling of a hydrodynamics for ellipsoid



of various lengths. The characteristics of the generated ship waves is determined. Conclusions about the feasibility of modifying the bulb shape for heavy catamarans is given.

Keywords: computational fluid dynamics, CFD, ship waves, wave interference, NUMECA FINE/MarineTM, protrusions, catamarans, high Froude numbers, bulb.

