

УДК 502.7: 556.18

Чебан Егор Юрьевич, к.т.н., доцент кафедры гидродинамики, теории корабля и экологической безопасности судов, ФГБОУ ВО «ВГУВТ»
e-mail: egor.cheban.2@gmail.com

Мартемьянова Ольга Вадимовна, аспирант кафедры гидродинамики, теории корабля и экологической безопасности судов, ФГБОУ ВО «ВГУВТ»
e-mail: dovnn@yandex.ru

Гачев Сергей Владимирович, магистрант кафедры гидродинамики, теории корабля и экологической безопасности судов, ФГБОУ ВО «ВГУВТ»
e-mail: ser_gach@mail.ru

Мухина Алина Андреевна, магистрант кафедры гидродинамики, теории корабля и экологической безопасности судов, ФГБОУ ВО «ВГУВТ»
e-mail: alinatmuhina@yandex.ru

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волжский государственный университет водного транспорта»
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ КАТЕРА ТИПА «RIB» НА ЕГО ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧИСЛЕННЫМИ МЕТОДАМИ

Ключевые слова: вычислительная гидродинамика, CFD, RIB, глиссирование, скоростное судно, дельфинирование, буксировочные испытания, NUMECA FINE/MarineTM

Аннотация. Катера типа «RIB» в силу многих преимуществ, являются достаточно популярным видом маломерных судов у потребителей. Проектирование таких катеров требует учета совокупности сложных гидродинамических процессов, возникающих из-за особенностей обтекания корпуса, которые имеют сложную форму. Однако существующие методы проектирования глиссирующих судов не позволяют в полной мере учесть одновременное влияние продольных, поперечных реданов и цилиндрических поплавков на их гидродинамические характеристики. В представленной работе выполнена оценка гидродинамических характеристик катера типа «RIB» с помощью методов вычислительной гидродинамики программного комплекса NUMECA/FineMarineTM. По результатам анализа полученных в ходе численного моделирования полей скоростей и давлений, как на поверхности корпуса катера, так и в потоке жидкости, были предложены изменения в конструкцию катера, позволяющие снизить его сопротивление и уменьшить «дельфинирование».

Введение

Одним из популярных типов маломерных судов является «RIB» – Rigid Inflatable Boat, или «жесткая надувная лодка», которые отличаются от обычных надувных лодок из ПВХ наличием жесткого алюминиевого или пластикового дна. К преимуществам такого типа маломерных судов следует отнести большие, чем у лодок из ПВХ грузоподъемность, надежность и износостойкость, обеспеченные конструкцией корпуса и прочностью материалов, из которых изготовлены борта и днище. Надувные борта повышают непотопляемость и остойчивость лодки, а также позволяют смягчить удары волн. По сравнению с лодками из ПВХ, суда данного типа из-за жесткого килевого днища, позволяют достигать больших скоростей в режиме глиссирования.

Движение глиссирующего судна по поверхности воды представляет собой совокупность множества гидродинамических явлений: перераспределение давлений по поверхности корпуса, брызгообразование и т.д., которые с учетом разнообразия форм

корпусов таких судов (продольные и поперечные реданы, килеватость и т.д.), делают разработку точной теории глиссирования сложной задачей.

Изначально исследования гидродинамики глиссирующих поверхностей были направлены на разработку гидросамолетов и, в меньшей степени, на улучшение характеристик глиссирующих маломерных судов. Развитие скоростного гражданского флота позволило направить исследования на оптимизацию форм корпусов глиссирующих катеров и судов на подводных крыльях.

Исследованию призматических глиссирующих поверхностей были посвящены работы Baker [1] в 1910, первые комплексные экспериментальные исследования были выполнены Зотторфом [2]. В последующих работах Shoemaker [3], Sambraus [4], Седова [5] и Locke [6] приведен большой объем экспериментальных данных, описывающих гидродинамические характеристики (ГДХ) призматической глиссирующей пластины с постоянной килеватостью при фиксированных дифференте, смоченной длине и скорости [22]. Позднее были выполнены теоретические исследования и анализ экспериментальных данных явления глиссирования, в результате которых были получены закономерности, которые описывали всплытие глиссирующей поверхности, сопротивление, смоченную поверхность, распределение давления, воздействующие силы, форму кильватерного следа, формирование брызг, динамическую остойчивость, в том числе и для параллельно глиссирующих пластин [22].

В 1949 Корвин-Кроковский и Савитский [7] опубликовали исследование глиссирования, посвященное определению сопротивления и подъемной силы глиссирующей поверхности. На основе этих результатов Мюррэй [8] разработал расчетную процедуру, позволяющую оценить эффективность глиссирования. Савитски и Нейдингером [9] в 1954 году был разработан набор эмпирических уравнений для расчета параметров глиссирования. Исследованию обтекания реданных корпусов посвящены работы Е. Клемента [10]. Вопросами гидродинамики глиссирующих судов занимались такие ученые как С.А. Чаплыгин, Г.Е. Павленко, Н.А. Соколов, Н.С. Володин, А.М. Ваганов, К.П. Харитонов, Я.И. Войткунский, в работах которых разработаны основы современной теории глиссирования, методы расчета сопротивления и ГДХ глиссирующих судов [22].

Анализ литературы показывает, что такие особенности конструкции корпуса катера типа «RIB» как цилиндрические надувные борта, совмещенные с жестким днищем, оснащенным продольными реданами, могут оказывать существенное влияние на ГДХ катера. Учет подобных особенностей при проектировании судов такого типа возможен лишь на основании модельных или натурных испытаний, а также численного моделирования.

Целью настоящей работы являлось исследование влияния формы корпуса катера типа «RIB» на его ГДХ численными методами и разработка на их основе основных проектно-технических решений по созданию скоростного глиссирующего катера.

1. Исследование гидродинамических характеристики катера с помощью программного комплекса NUMECA/FineMarine™

Использование коммерческих расчетных комплексов вычислительной гидродинамики (CFD) для определения ГДХ судов в ходе их проектирования является в настоящее время общеупотребительным, что обусловлено достаточно высоким качеством определения ГДХ. Для исследования ГДХ корпуса катера типа «RIB» использовался программный комплекс NUMECA/FineMarine™, основанный на подходе RANS, и предназначенный для решения специализированных задач корабельной гидродинамики, включая определение сопротивления движению судна, расчет маневренных качеств, моделирование кавитации и работы движителей [11–18, 22].

Выполненные ранее в программном комплексе NUMECA/FineMarine™ исследования буксировочного сопротивления судов в условиях ходовых испытаний, а также сравнение с результатами натурных испытаний моделей глиссирующих судов, показали хорошее соответствие численных и экспериментальных результатов [13–18, 21].

Численное моделирование ГДХ судов с использованием программного комплекса NUMECA/FineMarine™ включает следующие этапы:

1. Разработка и импорт твердотельной геометрии, построение расчетного домена;
2. Построение расчетной сетки;
2. Задание начальных и граничных условий, динамических параметров судна;
3. Визуализация и анализ результатов.

Для определения ГДХ и возможности возникновения «дельфинирования» на высоких скоростях корпуса катера типа «RIB» на первом этапе было выполнено численное моделирование исходной геометрии корпуса катера. Для упрощения расчета гибкое надувное ограждение было представлено жесткой конструкцией. Геометрия корпуса показана на рис. 1.

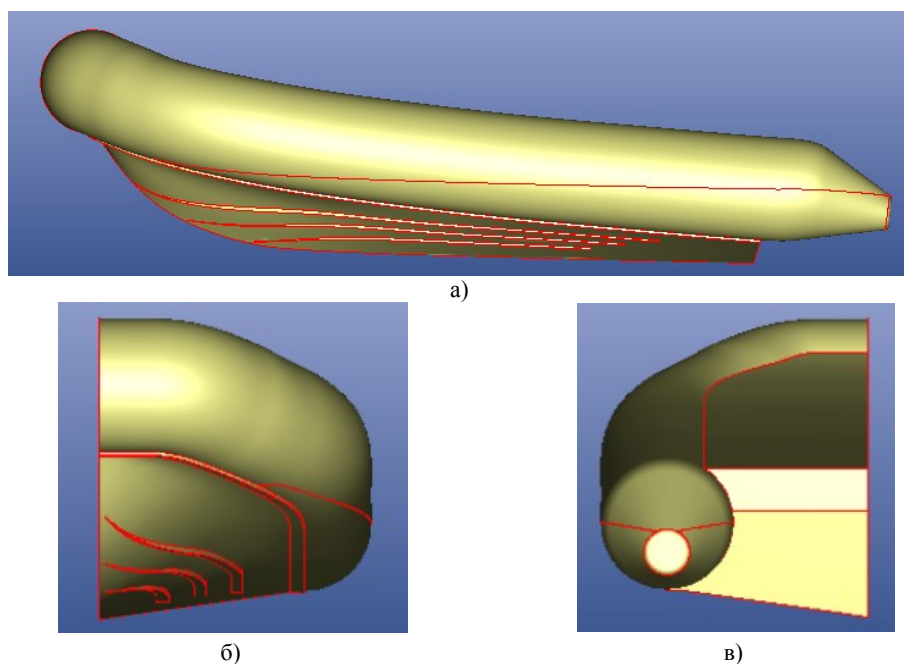


Рис. 1. Исходная геометрия «катер 1». а) вид сбоку, б) вид с носа, в) вид с кормы

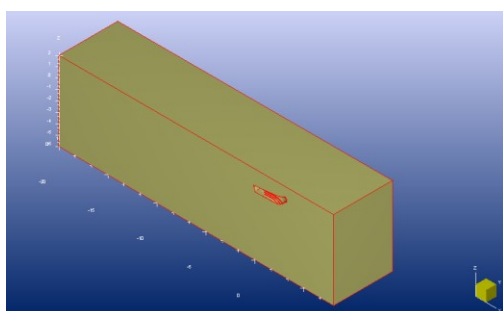


Рис. 2. Расчетный домен

Исходная геометрия импортировалась в модуль HEXPRESS™ для создания расчетной области (домена) и построения сетки. Размеры домена выбирались на основании рекомендаций [10,11] исходя из размеров катера ($L=3,9$ м, $B=1,9$, угол килеватости $13,4^\circ$) для случая глиссирования, т.е. размер расчетной области был увеличен в кормовую часть на три длины корпуса катера. Это позволяет более детально рассчи-

тать волновую систему и поле скоростей в кильватерной струе при движении катера [11,12]. Общий вид расчетной области показан на рис. 2.

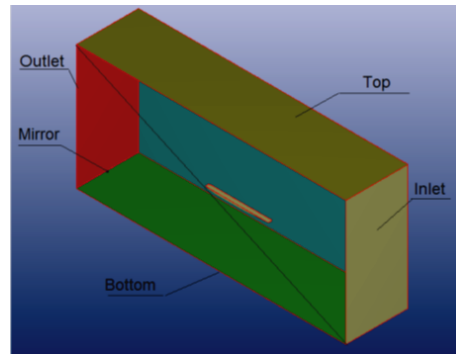


Рис. 3. Схема расчетного домена и расположение граничных условий

Использовалась неструктурированная расчетная сетка с начальным размером ($x=14$, $y=4$, $z=6$ ячеек), плотность которой была повышена на транцах, продольных реданах, глиссирующих поверхностях (днище, продольные реданы, нижняя часть поплавков), на свободной поверхности и в зоне кильватерного следа (рис. 4).

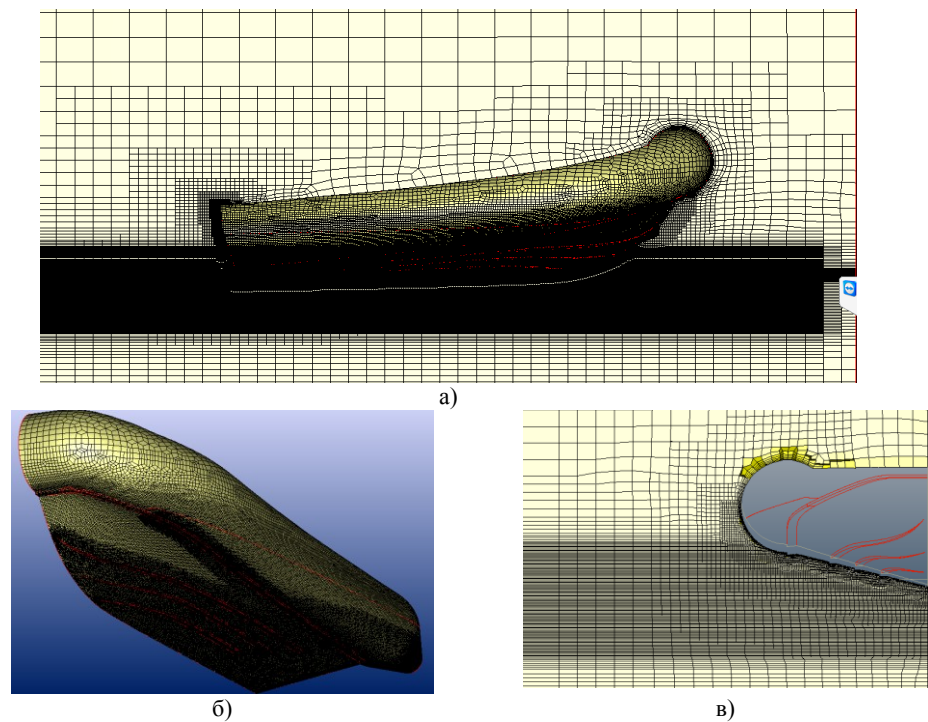


Рис. 4. Вид расчетной сетки на поверхностях катера и свободной поверхности жидкости

Повышение плотности сетки на глиссирующих поверхностях позволяет более точно рассчитать брызговой поток и соответственно брызговое сопротивление. Вследствие минимального влияния силы трения в общем сопротивлении, адаптация пограничного слоя устанавливалась при $y^+=30$. Общее количество ячеек сетки средней плотности [21] составило 2 201 557 ячеек.

Для численного моделирования были использованы следующие параметры расчета:

- нестационарный режим расчета по времени (обеспечивается решения уравнений для расчета динамики судна, в том числе выход на глиссирование). При моделировании обеспечивалось три степени свободы катера: движение вперед, всплытие и изменение дифферента.

- температура воды и воздуха – 15 градусов Цельсия;

- модель турбулентности «К- ω SST»;

- определяющий размер – длина катера.

- стандартная комбинация граничных условий (рис. 3). Ввиду симметричности задачи, использовалась только половина модели катера по плоскости симметрии.

- задача решалась в прямой постановке, т.е. катер движется в неподвижной жидкости. Задавалось физическое время разгона катера до скоростей движения 5,7,9,11 и 14 м/с с законом изменения скорости по времени $\frac{1}{4}$ синусоиды.

- использовался увеличенный шаг по времени, а также дополнительные математические модели, компенсирующие численные ошибки при моделировании гидродинамики глиссирующих судов.

По результатам моделирования варианта корпуса «катер 1» и исследования потока жидкости при его движении (рис. 6 и 7), в исходный корпус были внесены существенные изменения. Во-первых, из результатов моделирования видно, что носовая часть продольных реданов при движении катера погружена в воду, что создает дополнительное сопротивление. Во-вторых, поток с бортового продольного редана вызывает дополнительное брызгообразование в корме, которое наряду с затупленной частью надувного баллона, приводит к повышению уровня волновой поверхности в корме, что может привести к заливанию корпуса. Было предложено направить продольные реданы в соответствии с теоретическими соображениями вдоль потока [19-20], а их носовую часть сделать приближенной к «санному» типу корпуса. Для обеспечения более плавного схода потока, была изменена форма законцовок надувных баллонов. Кроме того, удлинение баллонов должно снижать вероятность дельфинирования за счет смещения центра давлений. Геометрия корпуса «катер 2» показана на рис 5.

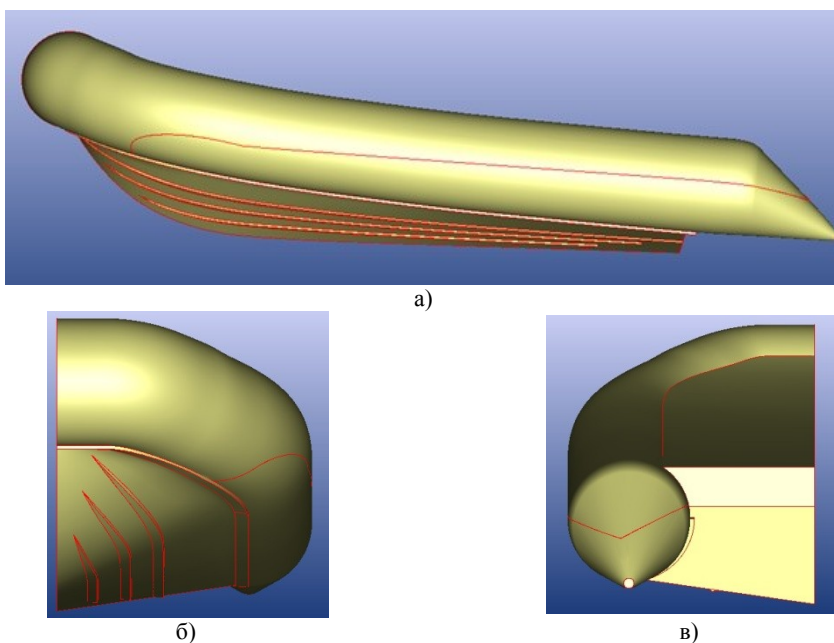


Рис. 5. Исправленная геометрия «катер 2».

а) вид сбоку, б) вид с носа, в) вид с кормы

Моделирование корпуса «катер 2» выполнялось аналогично описанному выше с неизменными параметрами сетки, начальными и граничными условиями.

2. Обсуждение результатов

Результаты численного моделирования приведены в табл. 1 и на рис. 6 и 7.

Сравнивая высоты волн, образующихся при движении катера (рис. 6а и 7а), можно увидеть, что у корпуса «катер 2» высота волны в кормовой части ниже, чем у «катер 1». В то же время и площадь смоченной поверхности, как видно из таблицы 1, для «катера 2» уменьшается, что согласуется с данными по сопротивлению. По результатам численного моделирования, сопротивление «катера 2» составило величину 788Н вместо 908Н у «катер 1», что в первую очередь связано с изменением формы корпуса, а именно формы носовых частей продольных реданов, которые в «катер 1» увеличивали сопротивление, т.к. находились ниже уровня ватерлинии в носовой части при движении судна.

Таблица 1

Результаты численного моделирования

Наименование корпуса катера	Катер 1	Катер 2	Катер 1	Катер 2	Катер 1	Катер 2	Катер 1	Катер 2	Катер 1	Катер 2
Скорость, км/ч	18		25,2		32,4		39,6		50,4	
Скорость, м/с	5		7		9		11		14	
Число Фруда	0,612	0,795	0,857	1,11	1,1	1,43	1,346	1,75	1,71	2,226
Осадка, м	0,118	0,09	0,094	0,082	0,098	0,08	0,092	0,078	0,091	0,072
Угол дифферента, град	3,55	5,14	1,3	2,04	0,235	0,65	0,82	0,004	1,3	0,19
Сопротивление, R_x , Н	534,6	527,4	532/600	475	652	521,4	740	629,6	908	788
Площадь смоченной поверхности, m^2	1,852	1,427	1,425	1,32	1,320	1,234	1,287	1,14	1,18	0,937
Наличие дельфинирования	нет	Слабое, амплитуда колебаний около 1 см	Слабое, амплитуда колебаний около 2 см.	Слабое, колебания затухают	Амплитуда колебаний около 3 см	Слабое, колебания затухают	нет	Нет, колебания затухают	нет	Нет, колебания затухают

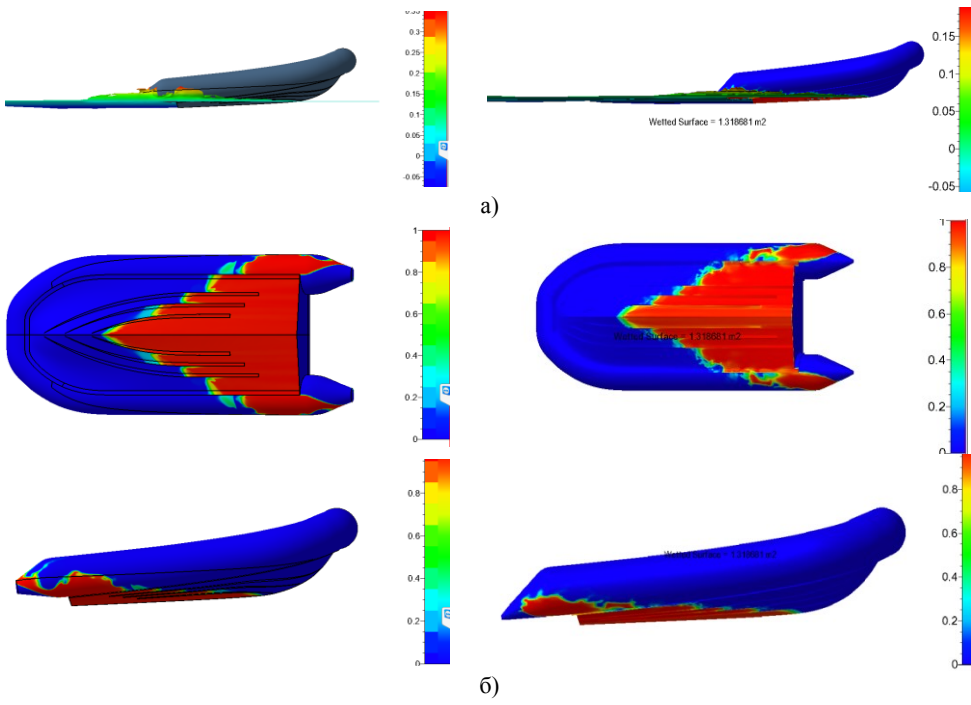


Рис. 6. Волновая (а) и смоченная (б) поверхности для двух вариантов корпуса катера при скорости 7 м/с

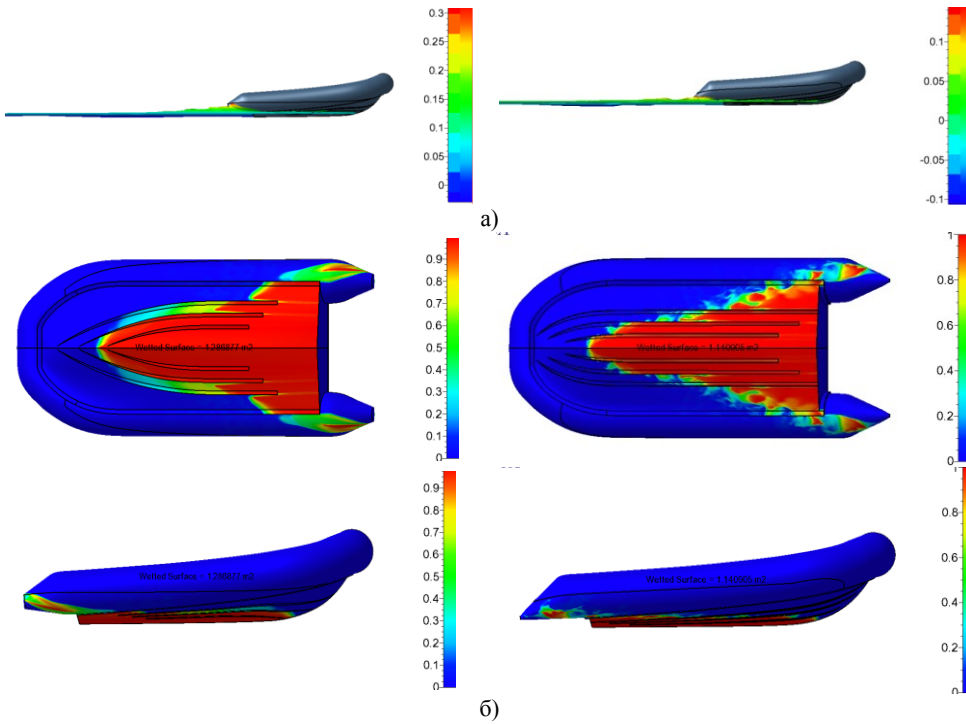


Рис. 7. Волновая (а) и смоченная (б) поверхности для двух вариантов корпуса катера при скорости 11 м/с

Необходимо отметить, что движение обоих вариантов корпуса катера происходит в переходном режиме, т.к. значение числа Фруда, которое для режима глиссирования должно находиться в диапазоне от 3 до 5, не достигается (рис. 8). При удлинении катера, удастся увеличить число Фруда для варианта «катер 2» для зоны более уверенного глиссирования.

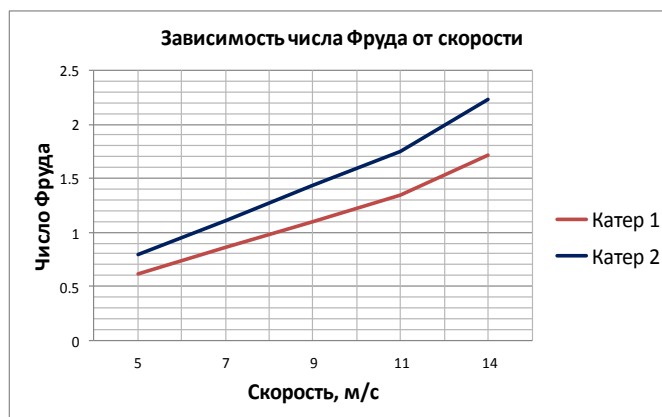


Рис. 8. График изменения числа Фруда

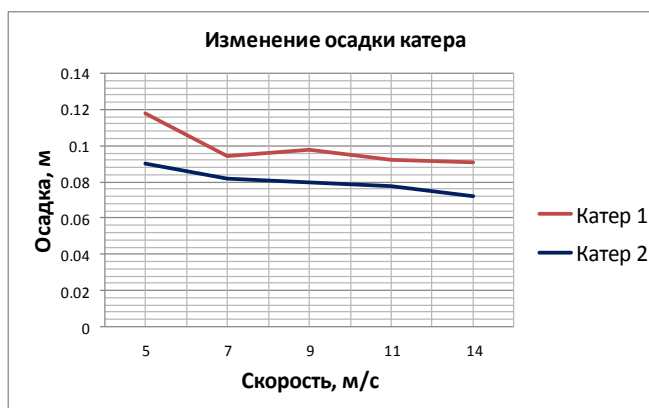


Рис. 9. График изменения осадки двух вариантов корпуса катера

Анализ графиков изменения осадки и дифферента показывает, что судно выходит на переходный и близкий к глиссированию режим (при скорости 14 м/с) с характерной для судов такого типа посадкой. При этом следует заметить, что осадка «катера 2» меньше, чем по варианту 1. Излом графика на рис. 9 соответствует случаю, когда однозначно определить угол дифферента не представлялось возможным из-за дельфинирования.

В то же время движение «катера 2» при скоростях от 5 до 9 м/с происходит с большим углом дифферента, чем «катер 1», что обусловлено, в том числе увеличением длины продольных реданов (рис. 10).

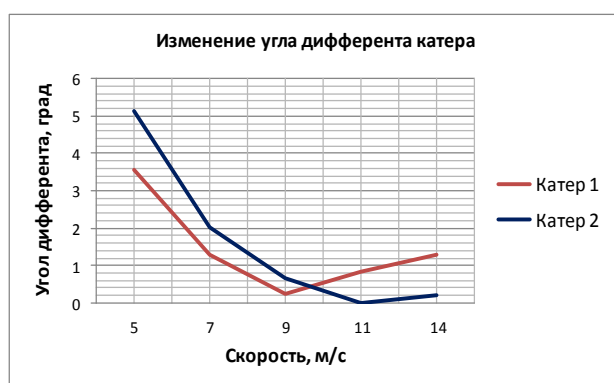


Рис. 10. Изменение угла дифферента двух вариантов корпуса катера

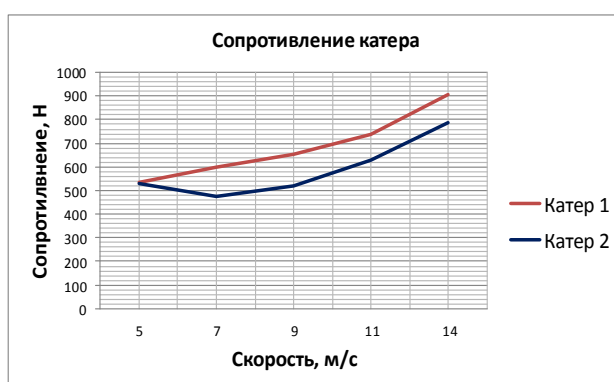


Рис. 11. График изменения сопротивления двух вариантов корпуса катера

Необходимо отметить, что при заданных значениях положения ЦТ и скоростях 7–11 м/с наблюдаются колебания обоих вариантов корпуса катера. Как показали пробные расчеты, причиной появления таких колебаний является положение ЦТ по длине корпуса катера, т.к. при его смещении в нос колебания пропадают. Кроме того, катеру целесообразно обеспечить ходовой дифферент в корму, который для варианта «катер 2» является недостаточным, что также зависит от совместного расположения ЦД и ЦТ. В то же время исследованию влияния положения ЦТ на ходкость катера типа «RIB» должно быть посвящено отдельное исследование.

3. Заключение

Выполнено численное исследование влияния формы катера типа «RIB» на его гидродинамические характеристики с помощью программного комплекса NUMECA/FineMarine™. В результате выполненного численного моделирования определены основные ГДХ катера и выявлены конструктивные особенности, приводящие к ухудшению ГДХ. Предложены мероприятия по изменению формы корпуса катера, обеспечивающие снижение сопротивления и повышение ГДХ катера типа «RIB». Полученные результаты нашли практическое применение, в том числе на этапе эскизного проекта катера.

Благодарности

Авторы статьи благодарят д.т.н., проректора по научной работе ФГБОУ ВО «СПБГМТУ» Д.В. Никущенко за возможность выполнения исследований.

Список литературы:

- [1] Baker G.S. Some Experiments in Connection with the Design of Floats for Hydro-Aeroplanes, ARC (British) R & M, № 70, 1912.
- [2] Sottorf W. Experiments With Planing Surfaces, NACA TM 661, 1932 and NACA TM 739, 1934.
- [3] Shoemaker J.M. Tank Tests of Flat and Vee-Bottom Planing Surfaces, NACA TN 509, November 1934.
- [4] Sambraus A. Planing Surface Tests at Large Froude Numbers-Airfoil Comparison, NACA TM № 848, February 1938.
- [5] 38. L.I. Sedov, «Scale Effect and Optimum Relation for Sea Surface Planing», NACA TM № 1097, February 1947.
- [6] Locke Jr., F.W.S. Tests of a Flat Bottom Planing Surface to Determine the Inception of Planing, Navy Department, BuAer, [Research Division Report No. 1096], December 1948.
- [7] Korvin-Kroukovsky B.V., Savitsky D., Lehman W. Wetted Area and Center of Pressure of Planing Surfaces, Stevens Institute of Technology, Davidson Laboratory Report №. 360, August 1949.
- [8] Murray A.B. The Hydrodynamics of Planing Hulls, [Meeting of the New England Section of SNAME, February 1950], 1950.
- [9] Savitsky D., Neiclinger J.W. Wetted Area and Center of Pressure of Planing Surfaces at Very Low Speed Coefficients, Stevens Institute of Technology, [Davidson Laboratory Report №. 498], July 1954.
- [10] Clement E.P. A configuration for a stepped planning boat having minimum drag (dynaplane boat). Monograph. Second edition. 2005 (published by author), 76p.
- [11] Theoretical Manual ISIS-CFD v3.1 Equipe Modélisation Numérique, Laboratoire de Mécanique des Fluides, CNRS-UMR 6598, Ecole Centrale de Nantes, B.P. 92101, 44321 Nantes Cedex 3, France.
- [12] User Manual FINE™/Marine v7.1, Documentation v7.1a NUMECA International, 187-189, Chaussee de la Hulpe 1170 Brussels, Belgium.
- [13] Visonneau M., Queutey P., Deng Gan Bo, Wackers J., Guilmineau E., Leroyer A., Mallol B. Computation of Free-Surface Viscous Flows around Self-Propelled Ships with the Help of Sliding Grids, [COMPIT-2012], 2012.
- [14] Visonneau M., Queutey P., Deng Gan Bo, Wackers J., Mallol B. Anisotropic Grid Adaptation for Rans Simulation of a Fast Manoeuvring Catamaran, [4th High Performance Yacht Design Conference], 2012.
- [15] Garo R., Imas L. Hydrodynamic Performance of a Submerged Lifting Surface Operating at High Speed, [4th High Performance Yacht Design Conference], 2012.
- [16] Wackers J., Ait Said K., Deng Gan Bo, Queutey P., Visonneau M., Mizine I. Adaptive Grid Refinement Applied to RANS Ship Flow Computation, [28th Symposium on Naval Hydrodynamics], 2010.
- [17] Wackers J, Ait Said K, Deng GB, Queutey P, Visonneau M, Mizine I. Adaptive grid refinement applied to RANS ship flow computation. In: [28th Symposium on naval hydrodynamics] Pasadena, California; 2010.
- [18] Mizine I., Karafiath G., Queutey P., Visonneau M. Interference Phenomenon in Design of Trimaran Ship, [FAST 2009], 2009
- [19] Ваганов А.М. Проектирование скоростных судов. – Л.: Изд-во «Судостроение», 1978 – 280с.
- [20] Мартынов А.И. Глиссеры. – М.: Речиздат, 1940. – 382с.
- [21] Даняев А. Гидродинамика и «рюшечки» // «Катера и яхты», 2 (224), 2010, С. 44–49.
- [22] Чебан Е.Ю., Никущенко Д.В. Исследование влияния некоторых особенностей формы корпусов глиссирующих судов на их сопротивление численными методами // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. – 2017. – №48/49. – С. 59–69.

**A STUDY OF THE «RIB» BOAT'S HULL FORM EFFECT
ON THE HYDRODYNAMIC CHARACTERISTICS
BY NUMERICAL METHODS**

*Cheban Yegor Y., Candidate of engineering Sciences , associate professor Hydrodynamics,
ship theory and ship's ecological safety department,
Volga State University of Water Transport
Martemianova Olga V., post graduate student Hydrodynamics,*

ship theory and ship's ecological safety department,
Volga State University of Water Transport

Gachev Sergey V., master student Hydrodynamics,
ship theory and ship's ecological safety department,
Volga State University of Water Transport

Mukhina Alina A., master student Hydrodynamics,
ship theory and ship's ecological safety department,
Volga State University of Water Transport
5, Nesterov st, Nizhniy Novgorod, 603951

Key words: computer fluid dynamics (CFD), RIB, planing, high-speed boat, porpoising stability, towing test, NUMECA FINE /MarineTM

Abstract. Boats of the «RIB» type due to many advantages are a quite popular type of small vessels among consumers. The design of such boats requires taking into account a set of complex hydrodynamic processes arising from the hull flow features having a complex shape. However, existing methods of planing vessels design do not allow to fully take into account the simultaneous effect of the longitudinal, transverse steps and cylindrical floats on their hydrodynamic characteristics. In the presented study the hydrodynamic characteristics estimation for the RIB boat by means of CFD methods of the software complex NUMECA/FineMarineTM was completed. Based on the results of the analysis of the velocity and pressure fields obtained in the course of numerical modeling, both on the surface of the boat hull and in the fluid flow, changes in the boat design were proposed to reduce its resistance and reduce porpoising stability.

References:

- [1] Baker G.S. Some Experiments in Connection with the Design of Floats for Hydro-Aeroplanes, ARC (British) R & M, № 70, 1912.
- [2] Sottorf W. Experiments With Planing Surfaces, NACA TM 661, 1932 and NACA TM 739, 1934.
- [3] Shoemaker J.M. Tank Tests of Flat and Vee-Bottom Planing Surfaces, NACA TN 509, November 1934.
- [4] Sambraus A. Planing Surface Tests at Large Froude Numbers-Airfoil Comparison, NACA TM №. 848, February 1938.
- [5] 38. L.I. Sedov, «Scale Effect and Optimum Relation for Sea Surface Planing», NACA TM № 1097, February 1947.
- [6] Locke Jr., F.W.S. Tests of a Flat Bottom Planing Surface to Determine the Inception of Planing, Navy Department, BuAer, [Research Division Report No. 1096], December 1948.
- [7] Korvin-Kroukovsky B.V., Savitsky D., Lehman W. Wetted Area and Center of Pressure of Planing Surfaces, Stevens Institute of Technology, Davidson Laboratory Report №. 360, August 1949.
- [8] Murray A.B. The Hydrodynamics of Planing Hulls, [Meeting of the New England Section of SNAME, February 1950], 1950.
- [9] Savitsky D., Neiclinger J.W. Wetted Area and Center of Pressure of Planing Surfaces at Very Low Speed Coefficients, Stevens Institute of Technology, [Davidson Laboratory Report №. 498], July 1954.
- [10] Clement E.P. A configuration for a stepped planning boat having minimum drag (dynaplane boat). Monograph. Second edition. 2005 (published by author), 76p.
- [11] Theoretical Manual ISIS-CFD v3.1 Equipe Modélisation Numérique, Laboratoire de Méca-nique des Fluides, CNRS-UMR 6598, Ecole Centrale de Nantes, B.P. 92101, 44321 Nantes Cedex 3, France.
- [12] User Manual FINETM/Marine v7.1, Documentation v7.1a NUMECA International, 187-189, Chaussée de la Hulpe 1170 Brussels, Belgium.
- [13] Visonneau M., Queutey P., Deng Gan Bo, Wackers J., Guilmineau E., Leroyer A., Mallol B. Computation of Free-Surface Viscous Flows around Self-Propelled Ships with the Help of Sliding Grids, [COMPIT-2012], 2012.
- [14] Visonneau M., Queutey P., Deng Gan Bo, Wackers J., Mallol B. Anisotropic Grid Adaptation for Rans Simulation of a Fast Manoeuvring Catamaran, [4th High Performance Yacht Design Conference], 2012.

- [15] Garo R., Imas L. Hydrodynamic Performance of a Submerged Lifting Surface Operating at High Speed, [4th High Performance Yacht Design Conference], 2012.
- [16] Wackers J., Ait Said K., Deng Gan Bo, Queutey P., Visonneau M., Mizine I. Adaptive Grid Refinement Applied to RANS Ship Flow Computation, [28th Symposium on Naval Hydrodynamics], 2010.
- [17] Wackers J, Ait Said K, Deng GB, Queutey P, Visonneau M, Mizine I. Adaptive grid refinement applied to RANS ship flow computation. In: [28th Symposium on naval hydrodynamics] Pasadena, California; 2010.
- [18] Mizine I., Karafiath G., Queutey P., Visonneau M. Interference Phenomenon in Design of Trimaran Ship, [FAST 2009], 2009
- [19] Vaganov A.M. Proektirovanie skorostnyh sudov. – L.: Izd-vo «Sudostroenie», 1978 – 280s.
- [20] Martynov A.I. Glissery. – M.: Rechizdat, 1940. – 382s.
- [21] Danjaev A. Gidrodinamika i «rjushechki» // «Katera i jahty», 2 (224), 2010, S. 44-49.
- [22] Cheban Ye.Yu., Nikushhenko D.V. Study the effects of the planning boat's form hull on the water resistance by numerical methods // Research bulletin by Russian maritime register of shipping. – 2017. – №48/49. – p. 59-69.

Статья поступила в редакцию 26.03.2019 г.