

УДК 532.5

DOI: 10.37890/jwt.vi72.272

Исследование гидродинамики выступающих частей маломерного судна численными методами

Е.Ю. Чебан¹

<https://orcid.org/0000-0002-0983-9879>

О.В. Мартемьянова¹

<https://orcid.org/0000-0001-9013-8510>

А.И. Кожевников¹

<https://orcid.org/0000-0002-9803-9936>

А.А. Мольков²

<https://orcid.org/0000-0002-8550-2418>

¹*Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия*

²*Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород, Россия*

Аннотация. В работе выполнено исследование гидродинамики маломерного тримарана с выступающими частями в виде профилографа течений ADCP численными методами. Численное моделирование выполнялось в пакете FineMarine™ для тримарана без установленного профилографа, а также для двух вариантов крепления в различных точках расположения по длине судна и по глубине в диапазоне чисел Фруда для судна 0,19 - 0,316. Получено, что крепление прибора в шахте в форме параллелепипеда оказывает большее влияние на сопротивление и момент M_y . При повышении скорости площадь смоченной поверхности для «свободного» крепления изменяется не сильно, но для крепления «в шахте» характер волновой поверхности изменяется весьма существенно, что приводит к перераспределению силы поддержания по длине судна.

Ключевые слова: вычислительная гидродинамика, CFD, тримаран, ADCP, корабельные волны, интерференция волн, NUMECA FINE/Marine™, выступающие части

Study of boat's appendages hydrodynamics by numerical methods

Egor Yu. Cheban¹

<https://orcid.org/0000-0002-0983-9879>

Olga V. Martemianova¹

<https://orcid.org/0000-0001-9013-8510>

Artur I. Kozhevnikov¹

<https://orcid.org/0000-0002-9803-9936>

Alexandr A. Mol'kov²

<https://orcid.org/0000-0002-8550-2418>

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

²*Institute of applied physics of the Russian academy of sciences, Nizhny Novgorod, Russia*

Abstract. The research was carried out by numerical methods of small scientific trimaran boat with ADCP-profiler as ship's appendages in the range of Froude numbers from 0,19 - 0,316. For numerical simulation was used the FineMarine™ software. Numerical modeling was performed for a trimaran without an installed ADCP-profiler and for two mounting

options at different locations along the length of the trimaran and in depth. Two types of ADCP-profiler fastening were studied. Mounting the device in a parallelepiped ship trunk has a greater influence on the resistance and moment M_y . With increasing speed, the area of the wetted surface for "free" mounting does not change much. For mounting "in the trunk" between trimaran's hulls the shape of the wave surface changes quite significantly, which leads to a redistribution of the buoyancy forces along the length of the boat.

Keywords: Computer fluid dynamics, trimaran, ADCP profiler, NUMECA FINE/Marine, ship resistance, wave surface, wave height, interference phenomenon, ship's appendages

Введение

Выступающие части судна, к которым относятся кронштейны, рули, скуловые кили, сонары и т.п., в ряде случаев могут оказывать существенное влияние не только на сопротивление судна, но и на его ходкость и управляемость. Дополнительное сопротивление R_{AP} , создаваемое выступающими частями, в основном состоит из вязкостного сопротивления выступающих частей в неоднородном потоке пограничного слоя с учетом их взаимного влияния и дополнительного сопротивления корпуса, вызванного изменением его обтекания в районе расположения выступающих частей. Волнообразование при движении судна также оказывает влияние на дополнительное сопротивление, вызываемое выступающими частями. Собственное сопротивление выступающих частей в основном состоит из сопротивления трения, однако при неудачном расположении или их форме, основную роль может играть сопротивление формы.

Сопротивление, создаваемое выступающими частями, обычно определяют на основании буксировочных испытаний моделей судов. В отдельных случаях форму выступающих частей отрабатывают в аэродинамических трубах, возможность возникновения кавитации исследуют в кавитационных трубах и бассейнах. Применяется также расчетный метод определения величины сопротивления выступающих частей, который сводится к вычислению сопротивления каждой из таких частей в отдельности на основании экспериментальных данных для геометрических тел соответствующей формы с последующим суммированием результатов.

Для маломерных судов в ряде случаев сопротивление выступающих частей может влиять на гидродинамику более существенно, нежели для крупнотоннажных, особенно когда размер выступающих частей сравним с поперечными размерами корпуса, а само судно движется с небольшой скоростью. Например, такая ситуация может быть характерна для маломерных исследовательских судов, оснащенных акустическими доплеровскими измерителями скорости (ADCP) и вынужденных двигаться с относительно небольшой скоростью для измерения гидрологических характеристик водоемов. В этом случае оборудование, находящееся в области потока, индуцируемого судном, может приводить к необходимости повышения мощности двигателя, а также ухудшению маневренности из-за появления дополнительного момента вследствие несимметричного расположения приборов.

Классические подходы к оценке влияния выступающих частей на сопротивление судов приведены во многих учебниках и монографиях по гидродинамике корабля, в том числе [1]. Salas, Marcos & Tampier B., Gonzalo. (2013) [2] с помощью программного комплекса ANSYS, а также в опытовом бассейне, были выполнены исследования гидродинамики кормовых интерцепторов и килей для водоизмещающих и глиссирующих судов в переходном режиме. Сравнение результатов экспериментов и численного моделирования показало сходимость в пределах 5-10%. В 2016 году Haг Soo Jang, Hwa Joon Lee, Young Ryeol Joo, Jung Joong Kim, Ho Hwan Chun [3]

рассмотрели гидродинамическое воздействие бортовых подруливающих устройств, валов и формы подводной части кормовой оконечности, на основе опыта проектирования, накопленного в компании Samsung, моделирования с помощью CFD и результатов модельных испытаний высокоскоростных пассажирских судов. Некоторые особенности влияния гидролокаторов, эхолотов, скуловых килей и тоннелей подруливающих устройств на гидродинамические характеристики рыболовных судов на основании систематических испытаний моделей рассмотрены в работе Arijji, M., Suzuki, S.; Yamakoshi, Y. [4]. Также влияние выступающих частей численными и экспериментальными методами описано в работе Thu Han Tun and Ye Thet Htun (2017 [5]. Shiju John и др. (2012) [6], которые выполнили исследование влияния выступающих частей подводной лодки, танкера, земснаряда и одновинтового корабля при высоких скоростях ($F_r=0,42$). Аналогичное исследование для других типов судов выполнено в работе [7]. Подробно влияние выступающих частей на сопротивление маломерных быстроходных судов рассмотрено в статье В.В. Вайнбарга, З.Ф. Черняка [8], в том числе приведены методы расчета и рекомендации по учету сопротивления подвесных моторов при скоростях движения 20-25 м/с. В работе [9] выполнено численное моделирование гидродинамики сонара, рулей и гребных валов для верифицированного корпуса судна типа ONRT модели 5613 с помощью программного комплекса CFD NUMECA/FineMfrineTM при совпадении с экспериментальными данными в пределах 2%.

Необходимо отметить, что практически все работы в области исследования влияния выступающих частей посвящены, как правило, крупнотоннажным судам или высокоскоростным, что оправдано их назначением и требованиями проработки проектов. Отдельные исследования в области гидродинамики маломерных судов связаны с достаточно высокими диапазонами скоростей – более 10 – 15 м/с и выше. В то же время влияние выступающих частей на гидродинамику относительно тихоходных маломерных судов, например, предназначенных для отдыха на воде (плавдачи и т.п.) изучено недостаточно.

Использование профилографов ADCP, установленных на судах описано во многих работах, в том числе выполненных при участии авторов [10]. Также известны статьи [11, 12], в которых описано использование установленных на судах ADCP для выполнения гидрологических исследований. Однако оценок влияния профилографов на гидродинамику судов в этих работах не приводится.

Таким образом целью данной статьи является оценка влияния выступающих частей (профилографа ADCP) научно-исследовательского судна на его гидродинамику.

1. Численное моделирование гидродинамики тримарана с выступающими частями

Исследование влияния профилографа течений ADCP на гидродинамику судна выполнялось на примере маломерной научно-исследовательской плавучей лаборатории Института прикладной физики РАН (ИПФ РАН) «Геофизик». Судно предназначено для выполнения гидрофизических исследований участков внутренних водных путей, в том числе мелководных с помощью специализированных радиолокационного и гидроакустического комплексов оборудования.

Судно представляет собой тримаран с надувными корпусами из ПВХ, к которым прикреплены палуба с надстройкой. Общий вид судна показан на рис. 1, характеристики судна приведены в табл. 1.



Рис. 1. Научно-исследовательское судно ИПФ РАН «Геофизик»

Таблица. 1

Технические характеристики маломерного судна «Геофизик»

Длина, м	7,875
Ширина, м	3,1
Диаметр поплавка, м	0,6
Поплавки	надувные, цилиндрической формы
Количество поплавков	3
Клиренс (расстояние между корпусами), м	0,65
Осадка, м	0,150
Высота надводного борта, м	0,630
Водоизмещение, кг	1600
Максимальная скорость, км/ч	11

Исследовалось влияние расположения ADCP в следующих случаях:

1. без ADCP (контрольный);
2. ADCP расположен между корпусами в следующих точках, м:

$$x_1=1,69 \text{ и } z_1=0;$$

$$x_1=1,69 \text{ и } z_2=-0,15;$$

$$x_2=3,3 \text{ и } z_1=0;$$

$$x_2=3,3 \text{ и } z_2=-0,15.$$

Координаты x отсчитывались от транца корпуса, координата z соответствует положению нижней точки прибора относительно основной плоскости судна. Устойчивые показания профилографа наблюдаются с глубины 0,5 м, однако нижняя

часть прибора должна находиться в воде по условиям измерений и не должна ограничиваться днищем судна для обеспечения прохождения акустического сигнала.

Основные принятые геометрические характеристики ADCP (выступающей части) приведены на рис. 2.

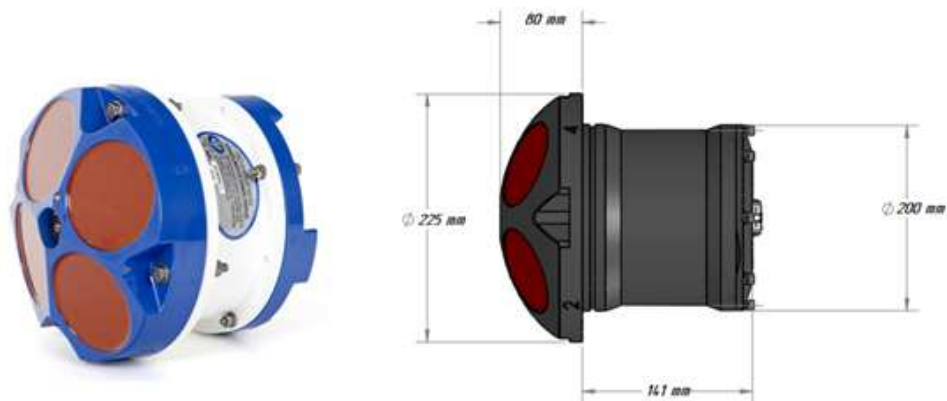


Рис. 2. Общий вид и размеры профилографа течений ADCP

Рассматривались две возможности основного крепления профилографа: «свободное» и «шахтное». В первом случае крепление осуществляется с помощью относительно тонкой штанги, прикрепленной к верхней части прибора и далее к конструкциям судна, во втором – прибор находится в «шахте», выполненной из металлических уголков или иным аналогичным способом и также крепится к палубе. Технические подробности креплений, равно как и прочность, не рассматривались, однако результаты исследований позволяют получить нагрузку на конструкции прибора. Для сравнения результатов сначала было выполнено изучение гидродинамических характеристик судна без ADCP.

Воздействие на надводную часть судна, а также аэродинамические характеристики не рассматривались. Геометрия поплавков во всех случаях была идентичной.

Для исследования гидродинамических характеристик маломерного судна с выступающими частями в виде профилографа ADCP использовалось численное моделирование с помощью программного комплекса NUMECA/FineMarineTM. Основное назначение NUMECA/FineMarineTM – решение научных и инженерных задач гидродинамики судна, в том числе многокорпусных судов. Возможность использования данного пакета для моделирования гидродинамики тримаранов была описана в работе [13], адекватность применения для гидродинамического анализа судна с выступающими частями показана в работе A Mandru и F Pasuogaru [9] для скуловых килей, кронштейнов и рулей.

Преимуществом использования численного моделирования является возможность исследования гидродинамических явлений в реальном масштабе, что особенно важно для выступающих частей, которые на малых моделях в опытовом бассейне смоделировать или сложно, или невозможно, как показано, например, в работе [16].

Как было показано ранее [13-15], при моделировании многокорпусных судов достаточно использовать только один корпус с соответствующими граничными условиями на гранях расчетного домена (рис.5), при которых обеспечивается равенство нулю нормальных и касательных скоростей на виртуальной стенке. Размеры расчетного домена выбирались на основании [16,17] в зависимости от натуральных размеров судов и были постоянными для всех расчетных случаев.

Использовалась стандартная комбинация граничных условий, приведенная в работах [13-15]. Твердотельная геометрия поплавков судна и профилографа показана на рис. 3 и 4.

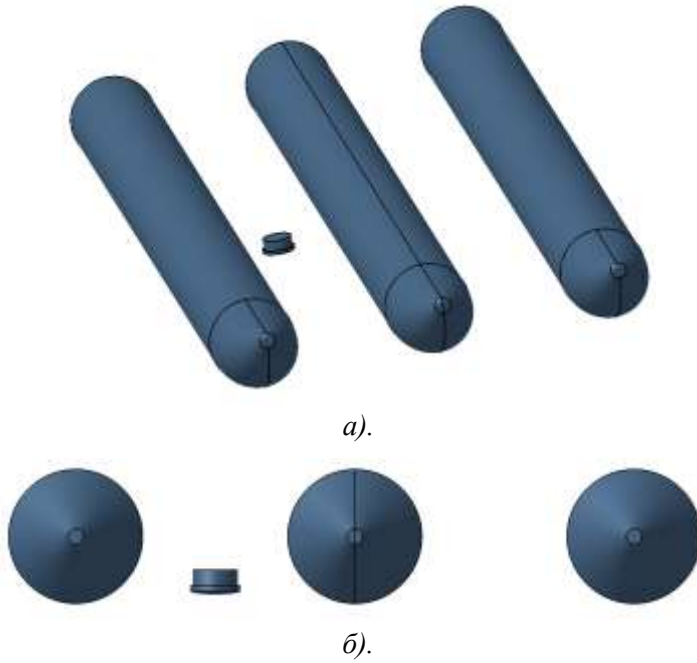


Рис. 3. Твердотельная геометрия тримарана с «свободным» креплением ADCP (вид в корму)

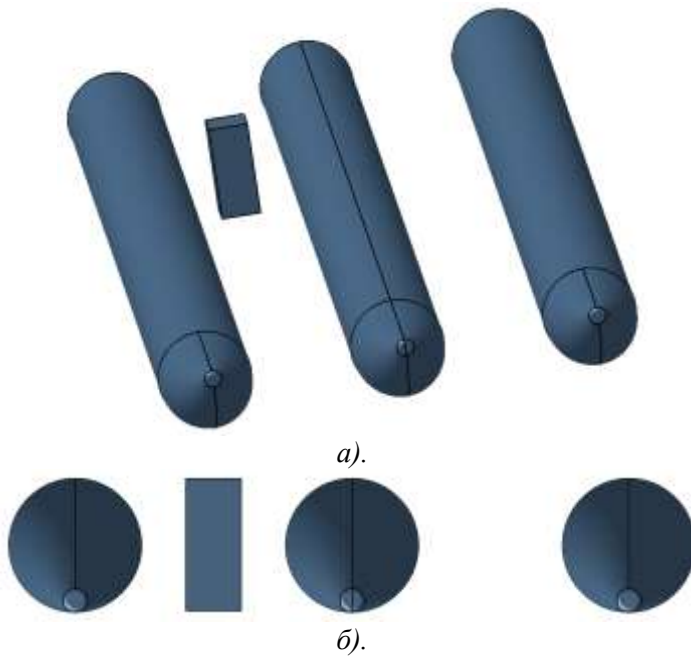
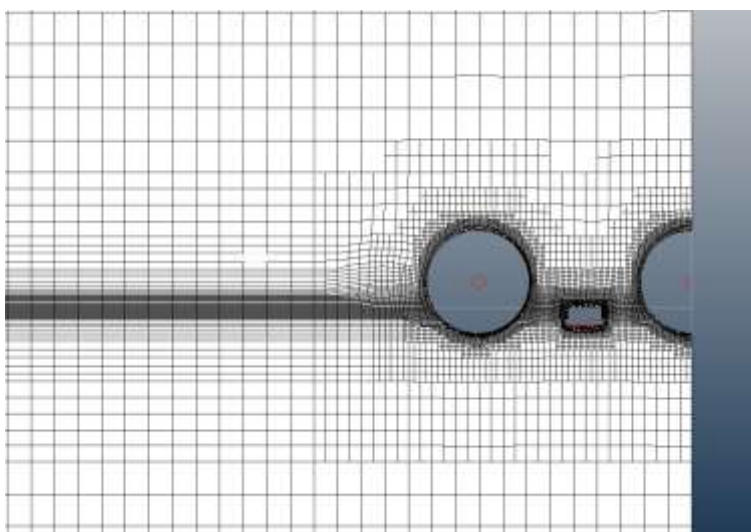
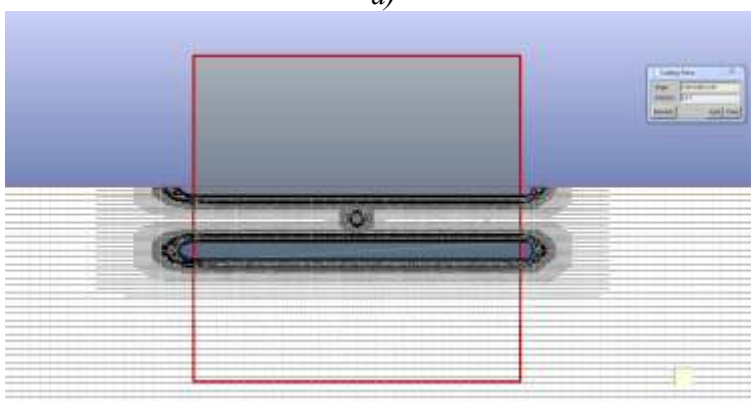


Рис. 4. Твердотельная геометрия тримарана с «шахтным» креплением ADCP (вид в нос)

Для численного моделирования применялась неструктурированная расчетная сетка, построенная в подпрограмме HEXPRESS™. Учет трения в водоизмещающем режиме движения обеспечивался разрешением пограничного слоя – 20-22 при $y^+ = 34,9218$ [14, 15]. Величина y^+ оценивалась с помощью встроенного алгоритма HEXPRESS™. Было выполнено дополнительное измельчение сетки в области между корпусами, волнового сектора, а также на поверхности профилографа. Минимальное количество ячеек составило 7953135, максимальное – 8407065, что обусловлено изменением количества ячеек в зависимости от вида крепления ADCP и его расположения. Вид расчетной сетки показан на рис. 5, параметры расчетной сетки приведены в табл. 2, настройки решателя – в табл. 3. Скорость движения судна изменялась в пределах 1,67 – 2,78 м/с (6-10 км/ч) и обусловлена условиями работы профилографа. Общее количество расчетных вариантов составило 90.



a)



б)

Рис. 5. Корпус катамарана с плоским внутренним бортом

Таблица 2

Характеристики расчетных сеток

№ п/п	Параметр сетки	Сетка 1 (без ADCP)	Сетка 2 («свободное» крепление ADCP)	Сетка 3 («шахтное» крепление ADCP)
1	Начальная сетка (x:y:z):	28:12:12	28:12:12	28:12:12
2	Адаптация:			
2.1	корпуса	7	7	7
2.2	транцы	8	8	8
2.3	носа	8	8	8
2.4	ADCP	-	8	8
3	Свободная поверхность	8, (0,87857 0,87857 0,00686);	8, (0,87857 0,87857 0,00686);	8, (0,87857 0,87857 0,00686);
4	Адаптация волновой поверхности	8 (0,219643 0,219643 0,006863);	8 (0,219643 0,219643 0,006863);	8 (0,219643 0,219643 0,006863);
5	y+	34,9218	34,9218	34,9218
6	Общее количество ячеек	7953135	8019824	8407065

Таблица 3

Параметры расчета

	Параметр	Значение
1.	Количество степеней свободы	1 – движение вперед
2.	Постановка	стационарная задача
3.	Схема дискретизации по времени:	2 порядка назад
4.	Модель турбулентности	K- ω SST модель турбулентности с пристеночными функциями
5.	Разгонный участок	14-28 сек.
6.	Скорость движения судна	1,67 – 2,78 м/с с шагом 0,14 м/с.
7.	Числа Фруда судна (FrL)	0,19 - 0,316
8.	Числа Рейнольдса судна (Re _c)	10779,7 - 17944,6
9.	Числа Рейнольдса ADCP (Re _p)	342 - 570

2. Анализ результатов

С точки зрения гидродинамики, картина течения в пространстве между корпусами тримарана с установленным профилографом, представляет собой сложное взаимодействие потоков, формируемых корпусами судна и прибором. Профилограф в этом случае является вертикальным цилиндром или параллелепипедом конечной длины. Необходимо отметить существенно разные числа Рейнольдса, при которых происходит движение жидкости. в безграничном потоке от, т.е. ламинарный поток.

В первую очередь при моделировании оценивалась величина сопротивления движению тримарана с разными вариантами крепления прибора, т.к. эта величина необходима для определения мощности двигателя, типа и параметров движителя. На

рис. 6 приведены графики сопротивления для «свободного» (рис. 6а) и «шахтного» крепления (рис. 6б). Ожидается установка профилографа приводит к повышению сопротивления во всем диапазоне скоростей, однако величины и характер изменения величины сопротивления существенно отличаются от способа закрепления прибора относительно корпуса.

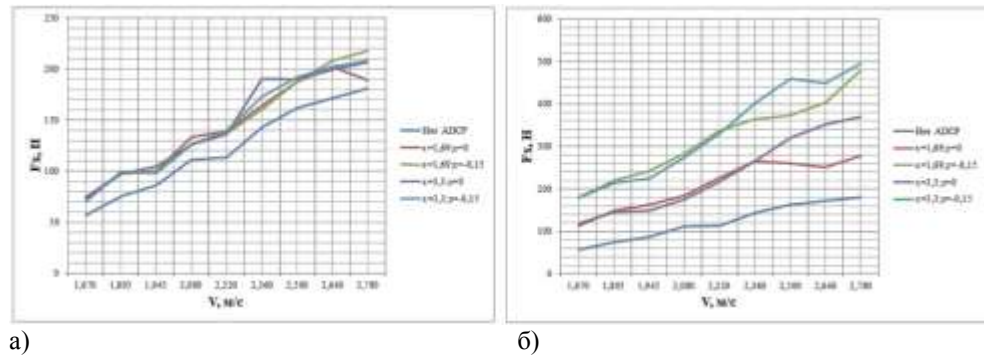


Рис. 6. Зависимость величины сопротивления от скорости судна для различных вариантов расположения профилографа (а – «свободное крепление, б – «шахтное» крепление)

Анализируя графики рис. 6 можно видеть, что для «свободного» крепления кривые сопротивления для различных точек крепления расположены достаточно близко за исключением скорости 2,36 м/с и 2,78 м/с, что может быть связано с меньшим влиянием цилиндрической формы профилографа на поток, в том числе волновым сопротивлением из-за взаимодействия волн, индуцируемых корпусом и прибором. Например, для $x=1,69$ и $z=-0,15$ при повышении скорости прибор может оказываться сначала полностью под поверхностью волны (т.е. минимальное волновое сопротивление, но максимальное трения и формы), далее на склоне волны и в области ее подошвы. Анализ волновых поверхностей между корпусами тримарана (рис.8) показывает, что «свободное» крепление ADCP не оказывает существенного воздействия на волновой поверхности, т.е. преобладает влияние корпусов тримарана.

В то же время для «шахтного» крепления разница в сопротивлении существенно зависит от положения профилографа по вертикали. Максимальные значения сопротивления наблюдаются при заглублении прибора до $z=-0,15$. При одинаковом расположении по длине, заглубление прибора приводит к увеличению величины сопротивления для половины корпуса более чем на 50%.

Еще более заметно влияние профилографа на величину и направление момента M_y , который может приводить к появлению дифферента (рис.7). Характер кривых при «свободном» креплении практически повторяет характер кривой для тримарана без профилографа, изменяется только величина момента. Кривые момента M_y имеют локальные экстремальные точки при скоростях 2,36, 2,64 и 2,78 м/с, что может быть связано с влиянием волн между корпусами тримарана (рис.8). При повышении скорости количество длин волн, а соответственно и распределение силы поддержания по длине судна существенно меняется (рис.8).

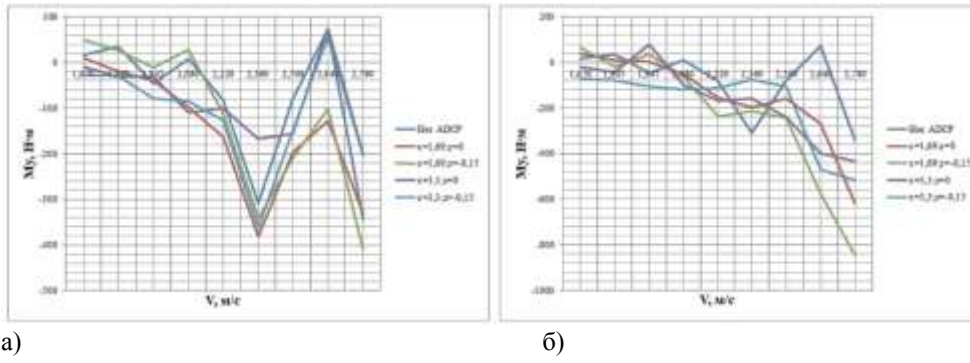


Рис. 7. Зависимость величины момента M_y от скорости судна для различных вариантов расположения профилографа (а – «свободное крепление, б – «шахтное» крепление)

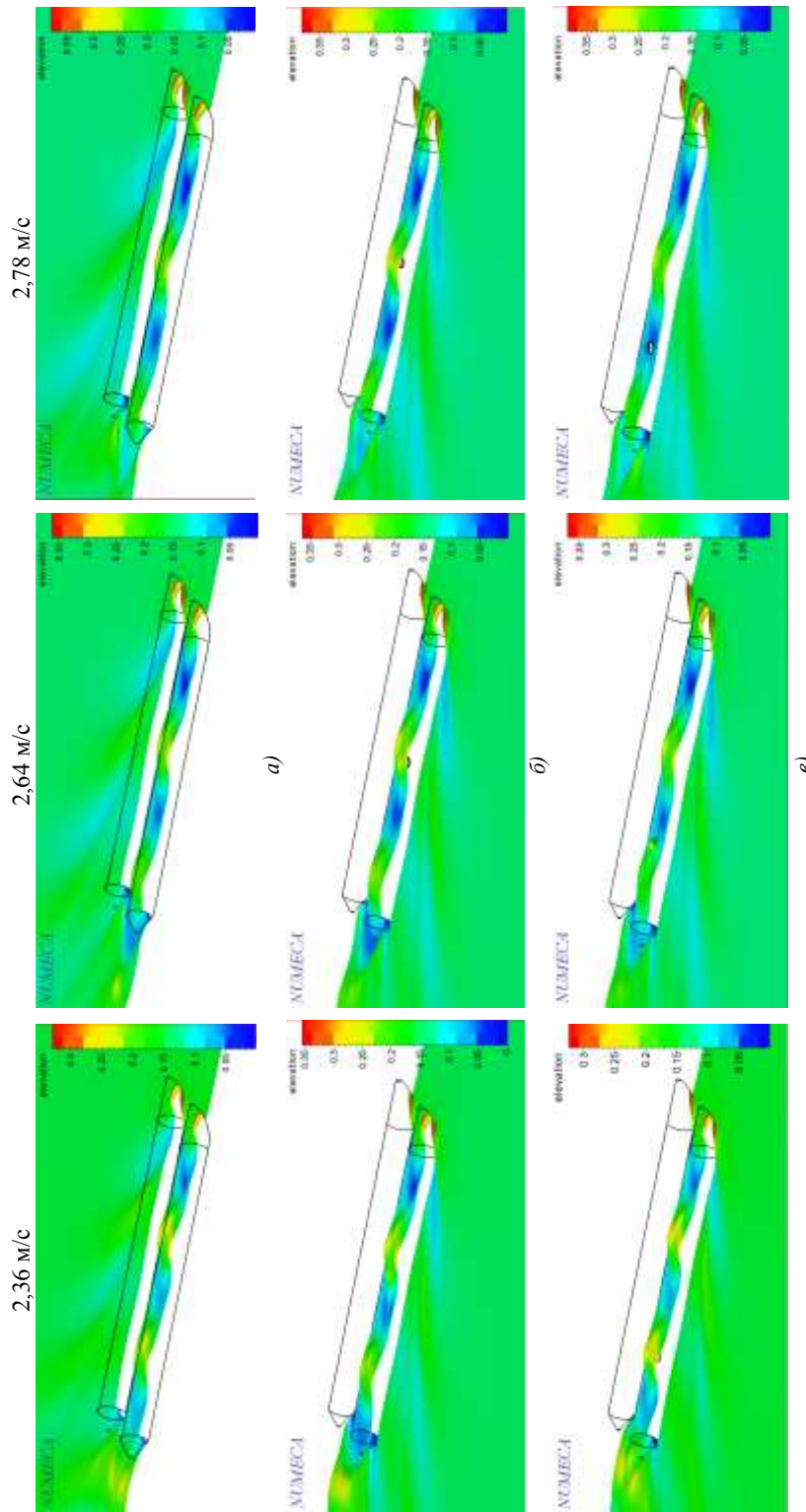


Рис. 8. Волновая поверхность при движении судна для различных вариантов расположения профилографа: а) без ADCP; б) $x=3,3$ м, $y=0$ м; в) $x=1,69$ м; $y=-0,15$ м.

При «шахтном» расположении профилографа его влияние на волновую поверхность, а соответственно на смоченную поверхность и распределение силы поддержания, существеннее (рис. 9), но из-за характера обтекания параллелепипеда, момент M_y направление не меняет и будет с увеличением скорости повышаться, что может приводить к появлению дифферента в нос. Это подтверждается анализом площадей смоченной поверхности (рис. 10-12).

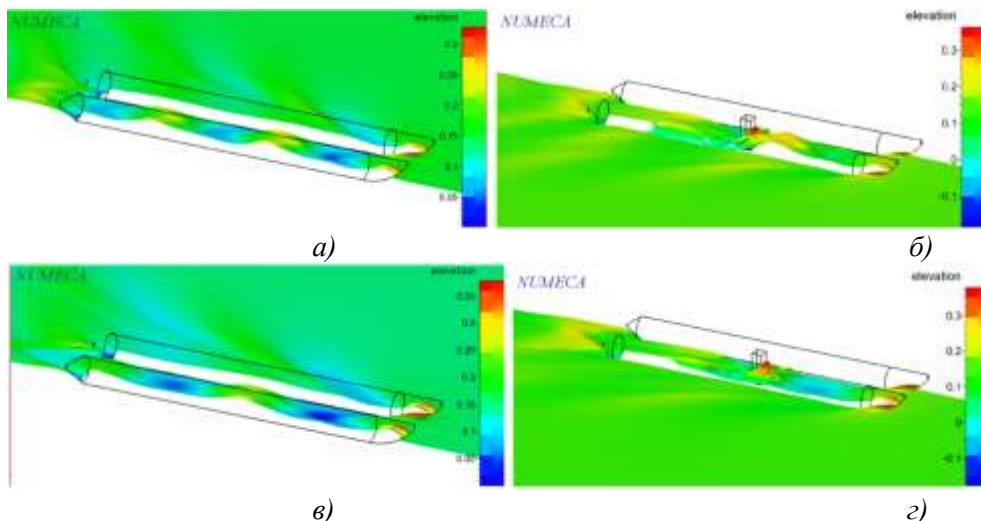


Рис. 9. Волновая поверхность при движении тримарана: а – «свободное крепление 2,36 м/с; б – «шахтное» крепление 2,36 м/с; в – «свободное крепление 2,78 м/с; г – «шахтное» крепление 2,78 м/с

Размещение шахты прибора в районе миделя судна при увеличении скорости приводит к повышению уровня свободной поверхности в кормовой части и снижению в носовой (рис. 9), однако это происходит только при заглоблении прибора ниже днища поплавков судна. Общая площадь смоченной поверхности для «шахтного» крепления уменьшается при скорости 2,78 м/с на $0,7 \text{ м}^2$, что обусловлено понижением уровня свободной поверхности в направлении носовой части, а также некоторым сглаживанием в кормовой (рис. 9б и 9в). При повышении скорости с 2,36 м/с до 2,78 м/с (т.е. на $1,5 \text{ км/ч}$) количество длин волн между корпусами тримарана сокращается с 3 до 2.

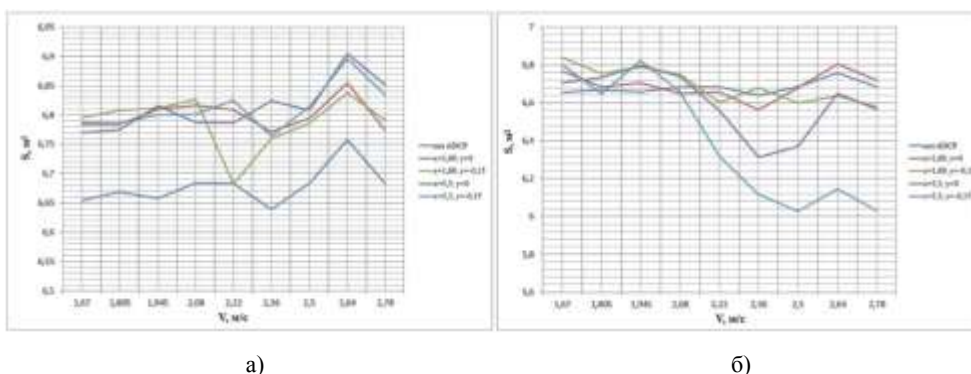


Рис. 10. Изменение площади смоченной поверхности от скорости судна для различных вариантов расположения профилографа (а – «свободное крепление, б – «шахтное» крепление)

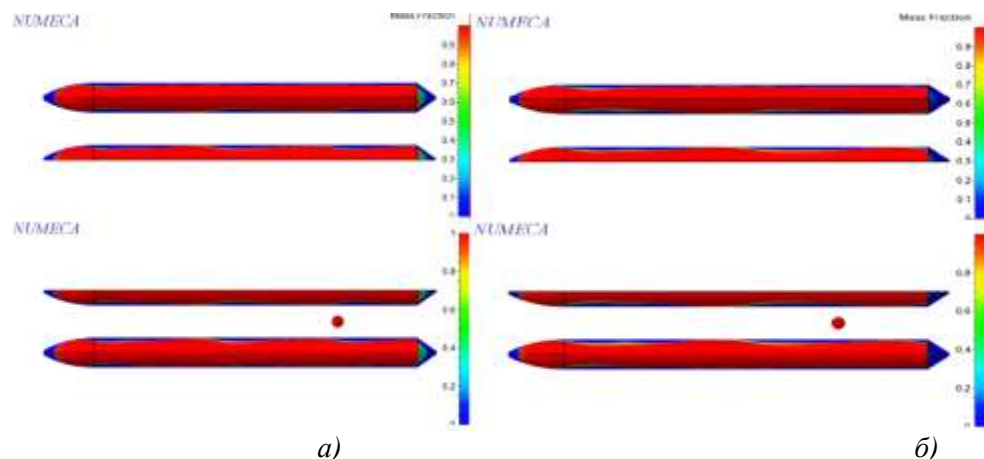


Рис. 11. Вид смоченной поверхности на корпусах судна для судна без ADCP и со «свободным» креплением (а) -2,22 м/с, б) – 2,64 м/с)

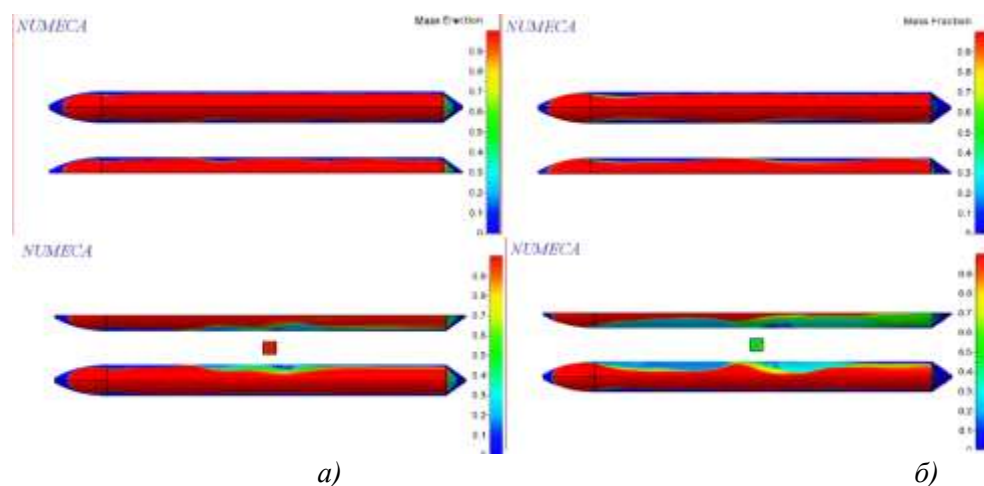


Рис. 12. Вид смоченной поверхности на корпусах судна для судна без ADCP и со «свободным» креплением (а) -1,945 м/с, б) – 2,64 м/с)

Необходимо отметить, что сопротивление и моменты могут существенно измениться, если моделировать движение судна с тремя степенями свободы: всплытие/погружение, дифферент и движение вперед. Существенным может оказаться влияние моментов M_x и M_z , которые могут привести к появлению крена и рысканию судна с установленным ADCP. Однако такие расчеты требуют точных данных по моментам инерции судна. Не моделируемые особенности крепления профилографа, а также конструкция шахты из металлического профиля могут также оказывать влияние на гидродинамику судна, но такое моделирование будет связано с существенно большими затратами машинного времени ввиду необходимости построения более мелкой сетки.

3. Заключение

С помощью пакета вычислительной гидродинамики FineMarine™ выполнено исследование сопротивления и высот волн для большегрузного катамарана с различными формами корпуса: симметричным и корпусом с плоским внутренним бортом. Для сравнения было выполнено аналогичное моделирование для однокорпусного судна с размерениями, соответствующими размерениям большегрузного катамарана. Получено, что высоты волн и сопротивление ниже у катамарана с симметричными корпусами при числах Фруда в диапазоне 0,181-0,3 и относительных клиренсах 0,3-0,55.

Благодарности

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

Список литературы

1. Войткунский Я.И. Сопротивление движению судов: Учебник – 2е изд., доп. И перераб. Л.: Судостроение, 1988. – 288 с.: ил. ISBN 5-7355-0032-5. Текст: непосредственный.
2. Salas, Marcos & Tampier B., Gonzalo. (2013). Assessment of appendage effect on forward resistance reduction. *Ciencia y tecnología de buques*. 7. 37. 10.25043/19098642.82.
3. Hag Soo Jang, Hwa Joon Lee, Young Ryeol Joo, Jung Joong Kim, Ho Hwan Chun. Some practical design aspects of appendages for passenger vessels. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering* Volume 1, Issue 1, September 2009, Pages 50-56
4. Arijji, M., Suzuki, S.; Yamakoshi, Y.; Effects of hull appendages on ship performance: Results of resistance tests Technical Report of National Research Institute of Fisheries Engineering. *Fishing Boat and Instrument (Japan)* ISSN : 0388-970X
5. Thu Han Tun and Ye Thet Htun The Experimental and Numerical Study of the Appendage DRAG Influence on Resistance of Ship I *International Journal of Maritime Affairs and Fisheries* Volume 9 Issue 2 December 2017 pp.031-039
6. Shiju John , Kareem Khan , P. C. Praveen , Manu Korulla , P. K. Panigrahi Ship Hull Appendages: A Case Study. *International Journal of Innovative Research and Development*, Volume 1, Issue 10, December (Special Issue) 2012
7. Research on Scale Effect of Ship Appendage Resistance Based on CFD Le Fang; Jiangtao Qin; Lilan Zhou; Ke-qiang Chen Paper presented at the The 29th International Ocean and Polar Engineering Conference, Honolulu, Hawaii, USA, June 2019. Paper Number: ISOPE-I-19-471
8. В.В. Вайнбарг, З.Ф. Черняк Сопротивление выступающих частей быстроходного судна. «Катера и яхты», 1978, №02(072) стр. 52-58.
9. A. Mandru, F. Pacuraru The effect of appendages on ship resistance 2021 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1182 012041
10. О формировании изолированной линзы речного стока круговоротом в Горьковском водохранилище / И. А. Капустин, С. А. Ермаков, М. В. Смирнова [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2021. – Т. 18. – № 6. – С. 214-221. – DOI 10.21046/2070-7401-2021-18-6-214-221. – EDN JJIVWX.
11. Alberto Ribotti, Mireno Borghini, Andrea Satta, Paolo Magni. Ship-Mounted Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP): Characteristics and Field Applications to Measure Coastal Hydrodynamics *Encyclopedia of Water* 10.1002/9781119300762.wsts0084 2019, p. 1-11
12. Li, C.; Boswell, K.M. Estimating Water Transport from Short-Term Vessel-Based and Long-Term Bottom-Mounted Acoustic Doppler Current Profiler Measurements in an Arctic Lagoon Connected to the Beaufort Sea. *Sensors* 2022, 22, 68. <https://doi.org/10.3390/s22010068>

13. Mizine I., Karafiath G., Queutey P., Visonneau M. Interference Phenomenon in Design of Trimaran Ship, FAST 2009, 2009
14. Исследование гидродинамического воздействия глиссирующего маломерного судна на водный объект / Е. А. Лукина, Е. Ю. Чебан, Д. В. Никущенко [и др.] // Морские интеллектуальные технологии. – 2021. – № 4-2(54). – С. 129-134. – DOI 10.37220/МИТ.2021.54.4.078. – EDN KJRDVL.
15. Оценка волнообразования большегрузного катамарана с различными формами внутреннего борта / Е. Ю. Чебан, О. В. Мартемьянова, С. Г. Митрошин [и др.] // Научные проблемы водного транспорта. – 2020. – № 63. – С. 109-120. – DOI 10.37890/jwt.vi63.82. – EDN AXBAQK.
16. 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.

References

1. Vojtkunskij Ja.I. Soprotivlenie dvizheniju sudov: Uchebnik – 2e izd., dop. I pererab. L.: Sudostroenie, 1988. – 288 s.: il. ISBN 5-7355-0032-5. Tekst: neposredstvennyj.
2. Salas, Marcos & Tampier B., Gonzalo. (2013). Assessment of appendage effect on forward resistance reduction. *Ciencia y tecnología de buques*. 7. 37. 10.25043/19098642.82.
3. Hag Soo Jang, Hwa Joon Lee, Young Ryeol Joo, Jung Joong Kim, Ho Hwan Chun. Some practical design aspects of appendages for passenger vessels. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering* Volume 1, Issue 1, September 2009, Pages 50-56
4. Ariji, M., Suzuki, S.; Yamakoshi, Y.; Effects of hull appendages on ship performance: Results of resistance tests Technical Report of National Research Institute of Fisheries Engineering. *Fishing Boat and Instrument (Japan)* ISSN : 0388-970X
5. Thu Han Tun and Ye Thet Htun The Experimental and Numerical Study of the Appendage DRAG Influence on Resistance of Ship I *International Journal of Maritime Affairs and Fisheries* Volume 9 Issue 2 December 2017 pp.031-039
6. Shiju John , Kareem Khan , P. C. Praveen , Manu Korulla , P. K. Panigrahi Ship Hull Appendages: A Case Study. *International Journal of Innovative Research and Development*, Volume 1, Issue 10, December (Special Issue) 2012
7. Research on Scale Effect of Ship Appendage Resistance Based on CFD Le Fang; Jiangtao Qin; Lilan Zhou; Ke-qiang Chen Paper presented at the The 29th International Ocean and Polar Engineering Conference, Honolulu, Hawaii, USA, June 2019. Paper Number: ISOPE-I-19-471
8. V.V. Vajnbarg, Z.F. Chernjak Soprotivlenie vystupajushhiih chastej bystrohodnogo sudna. «Katera i jahty», 1978, №02(072) str. 52-58.
9. A. Mandru, F. Pacuraru The effect of appendages on ship resistance 2021 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1182 012041
10. Kapustin I.A., Ermakov S.A., Smirnova M.V., Vostryakova D.V., Molkov A.A., Cheban E.YU., LESHCHEV G.V. On the formation of an isolated lens of a river runoff by a whirlpool in the Gorky reservoir. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. – 2021. – T. 18. – № 6. – С. 214-221. – DOI 10.21046/2070-7401-2021-18-6-214-221. – EDN JJIVWX.
11. Alberto Ribotti, Mireno Borghini, Andrea Satta, Paolo Magni. Ship- Mounted Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP): Characteristics and Field Applications to Measure Coastal Hydrodynamics *Encyclopedia of Water* 10.1002/9781119300762.wsts0084 2019, p. 1-11
12. Li, C.; Boswell, K.M. Estimating Water Transport from Short-Term Vessel-Based and Long-Term Bottom-Mounted Acoustic Doppler Current Profiler Measurements in an Arctic Lagoon Connected to the Beaufort Sea. *Sensors* 2022, 22, 68. <https://doi.org/10.3390/s22010068>
13. Mizine I., Karafiath G., Queutey P., Visonneau M. Interference Phenomenon in Design of Trimaran Ship, FAST 2009, 2009

14. 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 KJRDVL.
15. 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.
16. Hochkirch, Karsten and Benoit Mallo. “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.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Чебан Егор Юрьевич, доктор технических наук, доцент, доцент кафедры гидродинамики, теории корабля и экологической безопасности судов, ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта», 603905, Нижний Новгород, Нестерова 5, e-mail: egor.cheban.2@gmail.com

Egor Yu. Cheban, doctor of Technical Sciences, Associate Professor, professor of Department of Hydrodynamics, Ship Theory and Environment Safety of Ships Volga State University of Water Transport, 603905, Nizhny Novgorod, Nesterova 5, e-mail: egor.cheban.2@gmail.com

Мартемьянова Ольга Владимовна, аспирант кафедры гидродинамики, теории корабля и экологической безопасности судов, ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: dovnn@yandex.ru

Olga V. Martmianova, post graduate student of Hydrodynamics, ship theory and ship's ecological safety department, Volga State University of Water Transport 603950, Nizhniy Novgorod, Nesterova, 5, e-mail: dovnn@yandex.ru

Кожевников Артур Игоревич, магистрант кафедры гидродинамики, теории корабля и экологической безопасности судов, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, notlonkot@yandex.ru

Artur I. Kozhevnikov, master student Hydrodynamics, ship theory and ship's ecological safety department, Volga State University of Water Transport 603950, Nizhniy Novgorod, Nesterova, 5, notlonkot@yandex.ru

Мольков Александр Андреевич, Старший научный сотрудник, Лаборатория оптических методов (221), Отдел радиофизических методов в гидрофизике (220), Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» 603950, г. Нижний Новгород, БОКС-120, ул. Ульянова, 46, molkov@ipfran.ru

Aleksandr A. Mol'kov, Senior Researcher, Optical Methods Laboratory (221), Department of Radiophysical Methods in Hydrophysics (220) Federal Research Center Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences (IAP RAS) 46 Ul'yanov Street, Nizhny Novgorod, 603950, Russia, molkov@ipfran.ru

Статья поступила в редакцию 18.05.2022; опубликована онлайн 20.09.2022.
Received 18.05.2022; published online 20.09.2022.