

Для цитирования А.В. Месропян, Р.Р. Рахматуллин. Исследование влияния геометрии корпуса на буксировочное сопротивление самоходных паромов при преодолении водных преград. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2020;47(4):69-80. DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-4-69-80

For citation: A.V. Mesropyan, R.R. Rakhmatullin. Study of the effect of hull geometry on the towing resistance of motor ferries when overcoming water obstacles. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2020;47(4):69-80.(In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-4-69-80

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ POWER, METALLURGICAL AND CHEMICAL MECHANICAL ENGINEERING

УДК 623.6

DOI: 10.21822/2073-6185-2020-47-4-69-80

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ КОРПУСА НА БУКСИРОВОЧНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ САМОХОДНЫХ ПАРОМОВ ПРИ ПРЕОДОЛЕНИИ ВОДНЫХ ПРЕГРАД

А.В. Месропян, Р.Р. Рахматуллин

Уфимский государственный авиационный технический университет (УГАТУ),
450008, г. Уфа, ул.К.Маркса, 12, Россия

Резюме. Цель. В статье приведены результаты исследования влияния геометрии корпуса на буксировочное сопротивление и скорость движения на воде паромных машин при преодолении водных преград. **Метод.** Для исследования степени влияния геометрии корпуса на сопротивление воды движению паромной машины применяются методы трехмерного моделирования в CAD- и CAE- пакетах, позволяющие с достоверной точностью моделировать рабочие процессы, протекающие при обтекании самоходных паромов. **Результат.** Проведен анализ результатов численного моделирования движения по воде паромной машины исходной конструкции. Определены достоинства и недостатки паромно-мостовой машины исходной конструкции, предложены различные варианты исполнения конструктивно-компоновочных схем, использование которых позволяет добиться повышения скоростных и маневровых характеристик паромных машин. **Вывод.** Предложен вариант конструктивно-компоновочной схемы самоходного парома, позволяющий добиться повышения гидродинамических характеристик корпуса паромной машины путем использования современных технических решений, направленных на снижение буксировочного сопротивления и повышения скорости транспортировки при преодолении водных преград.

Ключевые слова: паромно-мостовая машина, буксировочное сопротивление, конструктивно-компоновочная схема, машина-амфибия, моделирование рабочих процессов, самоходный паром

STUDY OF THE EFFECT OF HULL GEOMETRY ON THE TOWING RESISTANCE OF MOTOR FERRIES WHEN OVERCOMING WATER OBSTACLES

A.V. Mesropyan, R.R. Rakhmatullin

Ufa State Aviation Technical University (USATU),
12 K. Marx St., Ufa 450008, Russia

Abstract. Objective. The article studies the influence of the hull geometry on the towing resistance and speed of ferry vehicles on the water when overcoming water obstacles. **Methods.** 3D modeling methods are used in CAD and CAE packages to study the degree of influence of the hull geometry on the water resistance to the movement of the ferry vehicle, which makes it possible to accurately model the working processes occurring when flowing around motor ferries. **Results.** The analysis of the results of computer simulation of the movement of a ferry vehicle of the original design on the water is carried out. The advantages and disadvantages of the ferry bridge machine of the original design are determined, and various variants of design and layout schemes are proposed, the use of

which allows increasing the speed and maneuvering characteristics of ferry vehicles. **Conclusion.** A variant of the design and layout scheme of a motor ferry is proposed, which allows improving the hydrodynamic characteristics of the ferry vehicle body by using modern technical solutions aimed at reducing towing resistance and increasing the speed of transportation when overcoming water obstacles.

Keywords: ferry-bridge machine, towing resistance, structural and layout scheme, amphibious vehicle, working processes modeling, motor ferry

Введение. Глубокая модернизация паромной техники, находящейся на вооружении в частях МО и МЧС, предъявляет все более высокие требования к грузоподъемности, скоростным и маневровым характеристикам машин подобного класса. В условиях ограничений доступной мощности, передаваемой на водоходный движитель, существенное значение приобретает оптимизация геометрии корпуса и компоновки составных элементов паромно-мостовых машин с целью уменьшения буксировочного сопротивления и повышения скорости движения на воде машин-амфибий.

Сопротивление воды движению амфибий главным образом зависит от размеров и форм корпуса, от конструкции ходовой части, от скорости движения, глубины водной преграды и других условий эксплуатации.

Постановка задачи. Для исследования влияния геометрии корпуса паромной техники рассматривается определение сопротивления воды движению корпуса в программном комплексе (ПК) Ansys CFX на примере паромно-мостовой машины ПММ-2М (рис. 1). В отличие от традиционных методов определения буксировочного сопротивления амфибийных машин по эмпирическим зависимостям [1-5], трехмерное численное моделирование позволяет учитывать особенности геометрии корпуса и выступающих элементов ходовой части [6-12].



Рис.1. Паромно-мостовая машина ПММ-2М

Fig.1. Ferry-bridge machine PMM-2M

Методы исследования. Подготовка трехмерной модели паромной машины для численного моделирования проводится в ПК КОМПАС-3D, где строится 3D-модель ПММ-2М исходной конструкции с требуемой проработкой элементов ходовой части, корпуса и понтонов, находящихся ниже уровня ватерлинии (рис. 2).

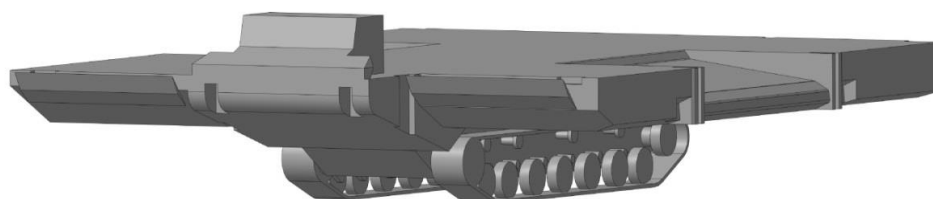


Рис.2. Трехмерная твердотельная модель паромно-мостовой машины ПММ-2М

Fig.2. Three-dimensional solid model of the PMM-2M ferry bridge machine

Расчетная область моделирования для определения буксировочного сопротивления паромной машины представляет собой параллелепипед (рис.3) с размерами, исключающими влияние краевых эффектов [1,6]. Расчеты ведутся для ПММ в загруженном состоянии с максимальной осадкой и при нулевом дифференте.

В *Ansys Mesh* расчетная область разбивается на неструктурированную тетраэдрическую сетку с замелением ячеек в области амфибийной машины и структурированной сеткой для пограничного слоя, с количеством ячеек 8 млн.

В *CFX-Pre* настраиваются граничные условия для расчетной математической модели с использованием модели турбулентности *k-ε*, возможностью варьирования скорости потока на входе от 0 до 13 км/ч, гидростатическим распределением давления ниже свободной поверхности.

На рис.3 представлена настроенная математическая модель расчетной области.

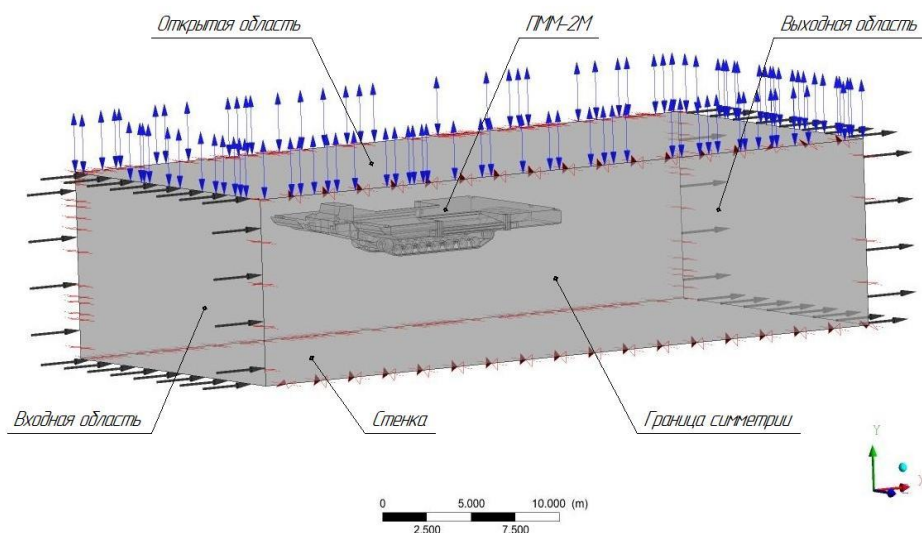


Рис.3. Расчетная область определения буксировочного сопротивления паромной машины
Fig.3. Calculated area for determining the towing resistance of a ferry machine

Расчет проводится в *CFX-Solver* до получения погрешности не более 10^{-4} по каждому из гидродинамических параметров (скорость, давление, массовый расход, параметры турбулентности).

Результаты расчета для исходной компоновки представлены на рис. 4-9.

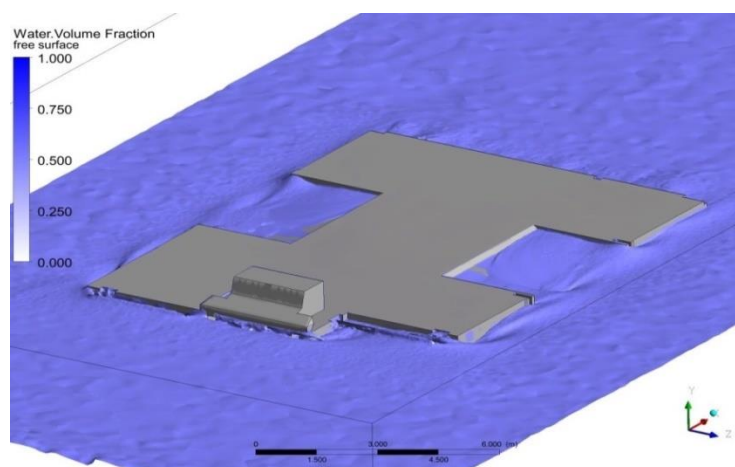


Рис.4. Обтекание корпуса ПММ-2М при движении на скорости 10 км/ч
Fig.4. Flow around the PMM-2M hull when driving at a speed of 10 km / h

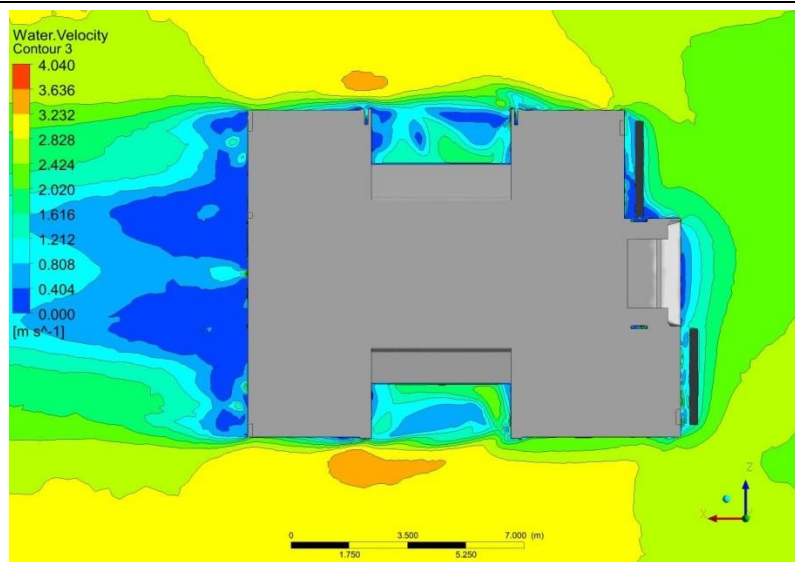


Рис.5. Поле скоростей на плоскости ватерлинии при движении ПММ-2М
Fig.5. The field of velocities on the plane of the waterline when moving PMM-2M

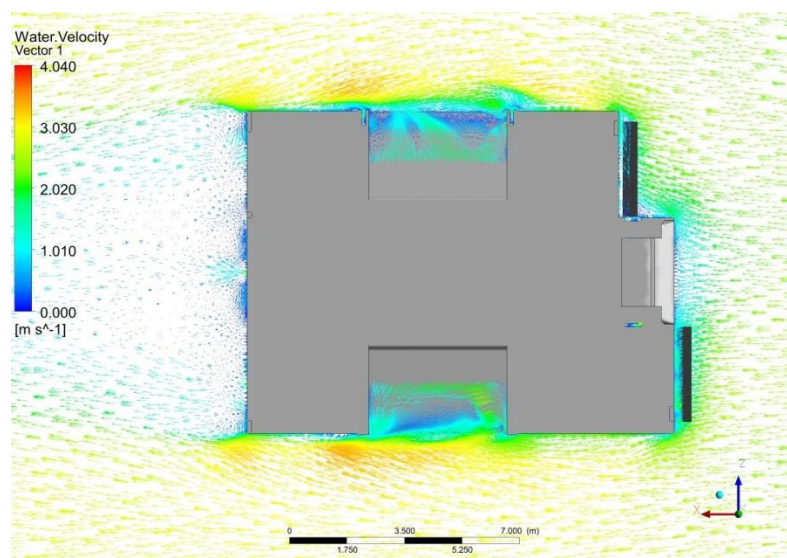


Рис.6. Векторное поле скоростей на плоскости ватерлинии при движении ПММ-2М
Fig.6. Vector field of velocities on the plane of the waterline when moving PMM-2M

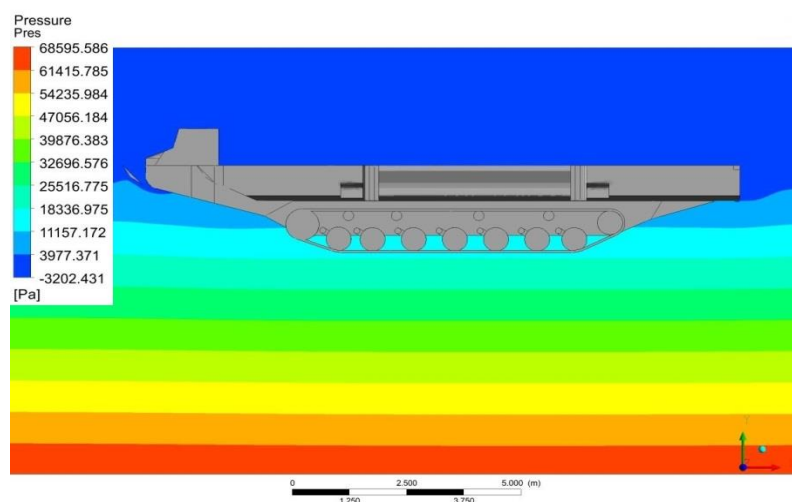


Рис.7. Гидростатическое распределение давления
Fig.7. Hydrostatic pressure distribution

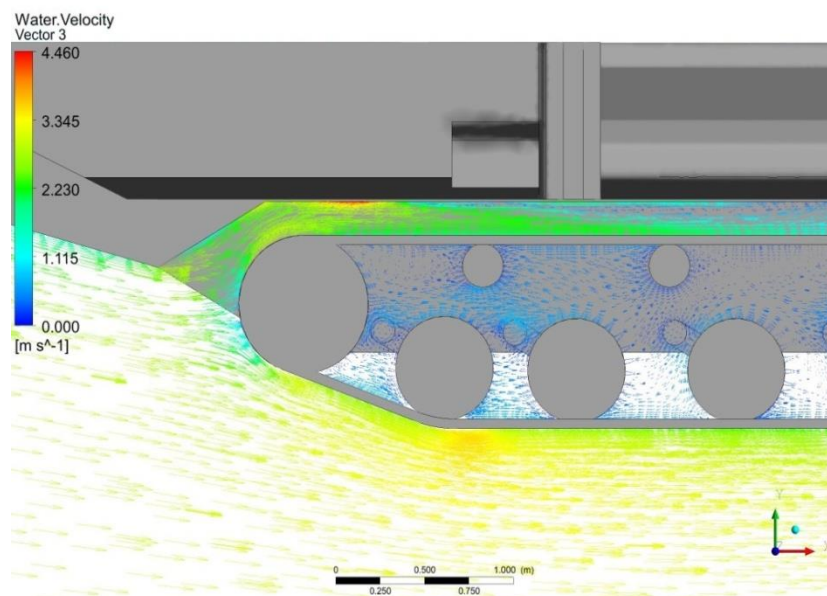


Рис. 8. Векторное поле скоростей в области гусеничного движителя ПММ-2М
Fig. 8. Vector field of velocities in the area of the tracked mover PMM-2M

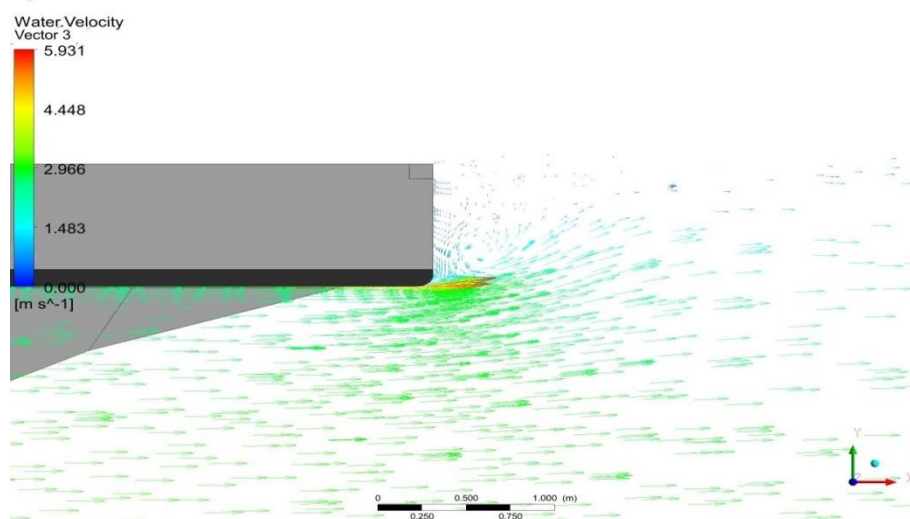


Рис. 9. Векторное поле скоростей в кормовой части понтона ПММ-2М
Fig. 9. Vector field of velocities in the aft part of the pontoon PMM-2M

Обсуждение результатов. Анализ результатов численного моделирования, приведенный на рис. 4, показывает, что при движении паромной машины возникает ярко выраженная носовая волна и менее выраженная волна в кормовой части машины.

Кроме них, в проезжей части грузовой платформы возникают дополнительные волны, приводящие к увеличению сопротивления машины и появлению вихребразований. Эти волны могут интерферировать, что при благоприятной интерференции приводит к некоторому уменьшению сопротивления, при неблагоприятных – к увеличению [1].

Форма корпуса паромной машины в плоскости ватерлинии (рис. 5-6) близка к прямоугольной (отношение длины машины к ширине $L/B=1,3$).

При такой форме корпуса линии тока воды, огибающие кормовую часть машины и бортовые ниши, не замыкаются непосредственно за кормой, основная часть потока отделяется от задней плоскости кормы, оставляя за ней пространство, характеризующееся сравнительно низкими давлениями и насыщенное крупными вихрями [1].

Разная картина обтекания паромной машины с правой и левой ее стороны обусловлена несимметричностью ПММ-2М относительно продольной плоскости базовой машины. Отрыв-

ные течения в кормовой части ПММ-2М, представленные на рис. 6, 9, существенно влияют на структуру и скорость потока, подходящего к водоходному движителю, что значительно меняет условия работы гребных винтов, уменьшая их упор, момент и КПД.

На рис. 8 представлены результаты моделирования, которые показывают вектора скоростей в гусеничном движителе паромной машины. Сопротивление, вызываемое элементами ходовой части машины-амфибии, достигает 30-45% от общего сопротивления воды, в зависимости от типа ходовой части, степени ее погружения в воду и размеров корпусных ниш для размещения ходовой части. При этом распределение сопротивления воды между корпусом и ходовой частью изменяется по мере увеличения скорости движения на воде.

По результатам численного моделирования построена зависимость распределения сопротивления воды между корпусом и гусеничным движителем, представленная на рис. 10.

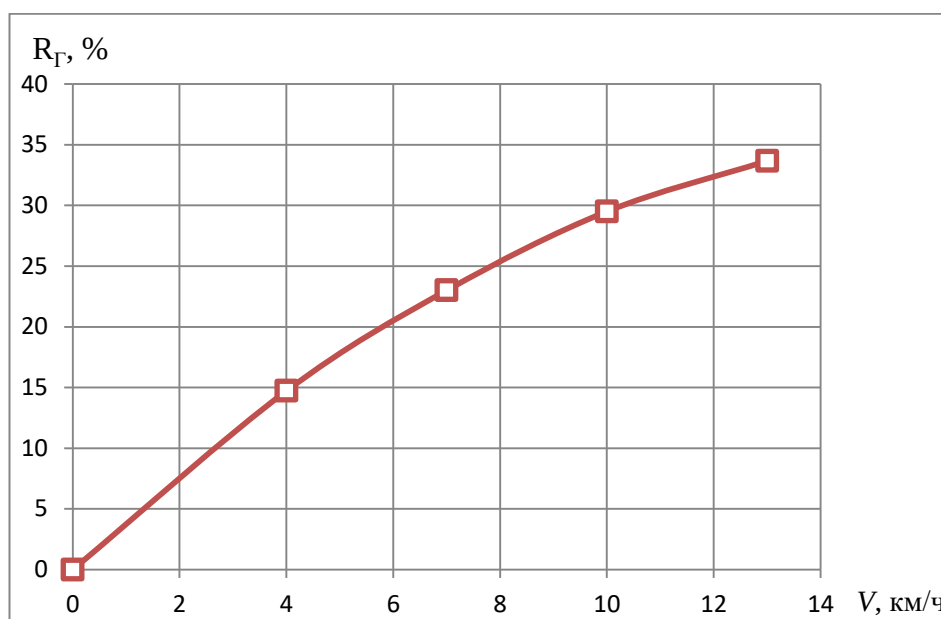


Рис. 10. Зависимость сопротивления ходовой части (в процентах от общего значения буксировочного сопротивления паромной машины) от скорости движения на воде

Fig. 10. Dependence of the resistance of the undercarriage (as a percentage of the total towing resistance of the ferry vehicle) on the speed of movement on the water

Результаты расчета, представленные на графике (рис.10), показывают, что распределение сопротивления происходит по корневой функции, при этом максимальное сопротивление достигает 34% от общего буксировочного сопротивления.

На величину сопротивления гусеничного движителя оказывает влияние ширина траков, их форма, размеры, количество опорных и поддерживающих катков. Сопротивление воды, создаваемое только гусеничной цепью, достигает 25%, катками – от 7 до 10% от общего сопротивления [1].

Учитывая описанные выше особенности исходной компоновки паромно-мостовой машины ПММ-2М, целесообразно изменение конструкции, направленное на увеличение скорости движения по воде и уменьшение буксировочного сопротивления машины-амфибии.

Различные варианты исследуемых конструкций представлены на рис. 11.

На основе модели исходной конструкции строятся модели ПММ с измененной компоновкой: с разнесенными понтонами (рис. 11, а), со скосами в кормовой части понтонов (рис. 11, б), с волнорезом (рис. 11, в) и с поднятой и закрытой ходовой частью (рис. 11, г).

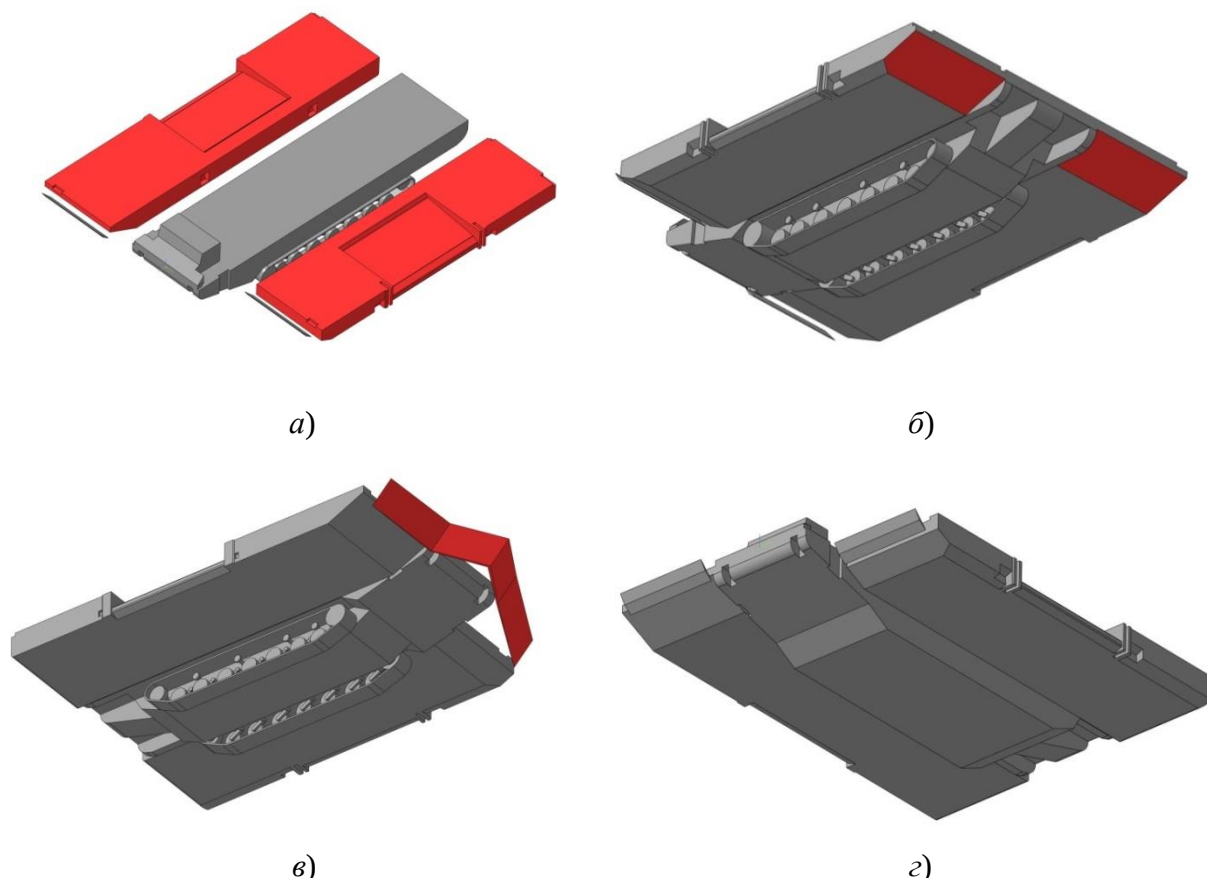


Рис. 11. Различные варианты исследуемых компоновок ПММ-2М

***a* – модель ПММ-2М с разнесенными понтонами; *б* – модель ПММ-2М со скосами на корме; *в* – модель ПММ-2М с волнорезом; *з* – модель ПММ-2М с убраным гусеничным движителем**

Fig. 11. Various variants of the investigated assemblies PMM-2M

***a* - model PMM-2M with spaced pontoons; *б* - model PMM-2M with bevels at the stern; *в* - model PMM-2M with a breakwater; *з* - model PMM-2M with retracted tracked mover**

Вариант паромной машины с волнорезом требует дополнительных исследований влияния углов установки волнореза α и β (рис. 12) на буксировочное сопротивление ПММ-2М с целью определения оптимальных углов расположения элементов волнореза. Результаты расчета вариантов установки волнореза представлены на рис. 13.

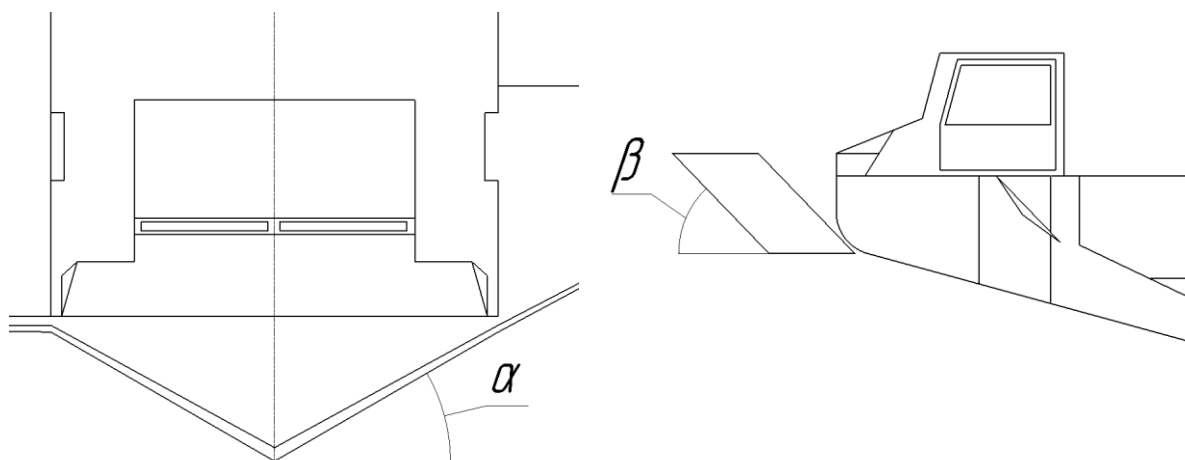


Рис. 12. Конструктивные углы установки элементов волнореза

Fig. 12. Constructive angles of installation of breakwater elements

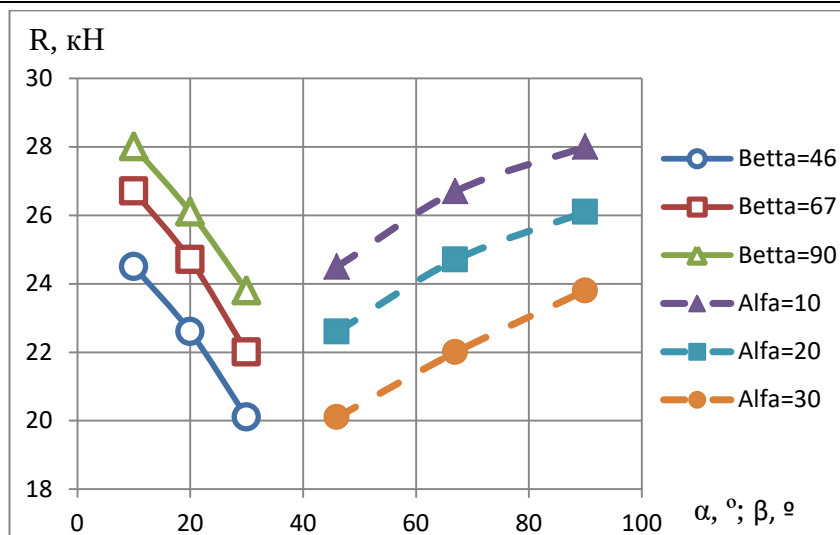


Рис. 13. Зависимость сопротивления корпуса ПММ-2М от конструктивных углов установки элементов волнореза

Fig. 13. Dependence of the resistance of the PMM-2M body on the design angles of installation of the breakwater elements

Анализ результатов моделирования показывает, что наименьшим буксировочным сопротивлением обладает паромная машина с углами установки элементов волнореза $\alpha = 30^\circ$ и $\beta = 46^\circ$, что обуславливается благоприятными условиями обтекания корпуса, и используется в дальнейших расчетах определения буксировочного сопротивления варианта ПММ-2М с волнорезом.

Результаты численного моделирования рассматриваемых вариантов исполнений паромно-мостовой машины приведены на рис. 14 в виде графика зависимости буксировочного сопротивления корпуса ПММ-2М от ее скорости движения на воде (рис. 14).

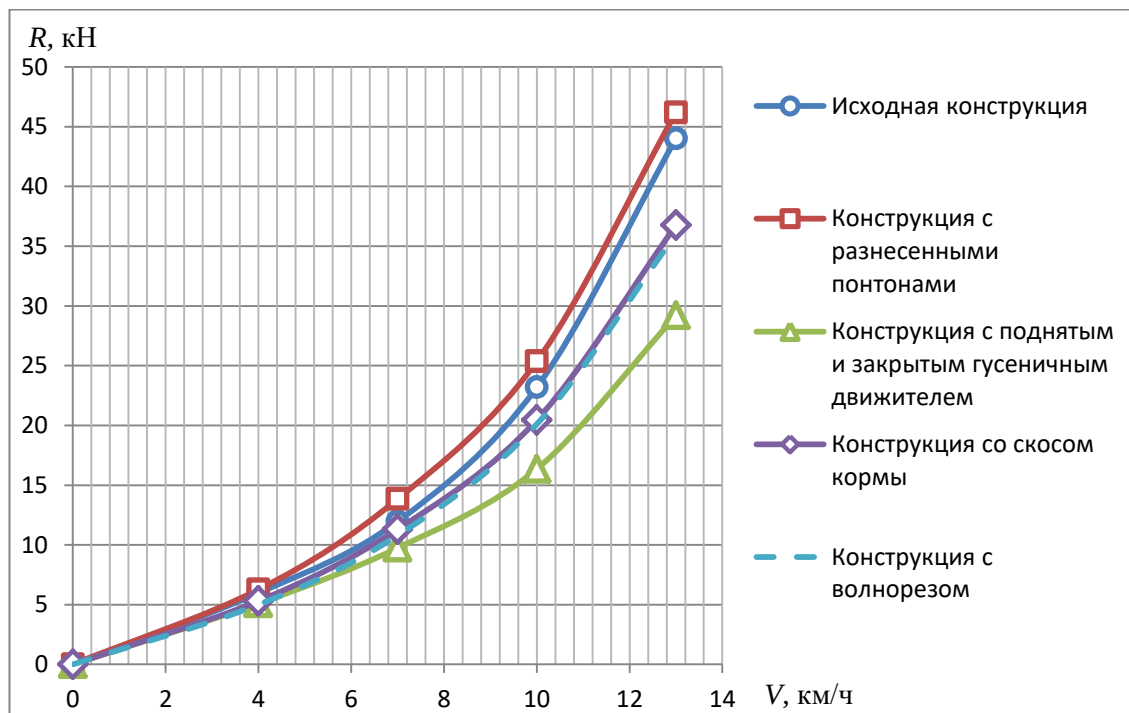


Рис. 14. Зависимость сопротивления корпуса ПММ от скорости движения по воде

Fig. 14. Dependence of the resistance of the PMM body on the speed of movement on water

Анализ полученных результатов показывает, что вариант компоновки амфибийной машины с разнесенными понтонами обладает наибольшим сопротивлением, хоть и имеет большую устойчивость. Увеличение сопротивления происходит из-за увеличения площади смочен-

ной поверхности и появления дополнительных вихревых течений между понтонами и корпусом машины (рис.15). При увеличении площади смоченной поверхности на 5%, сопротивление возрастает на 9%, что в конечном итоге приводит к снижению скорости на 4%.

Конструкции с волнорезом и со скосом понтонов в кормовой части имеют практически равные значения сопротивления воды движению паромной машины.

Обтекание кормовой части паромной машины при использовании скосов в продольной плоскости происходит более плавно (рис.16), без отрывных течений. Отсутствие завихрений и отрывных течений благоприятно сказывается на рабочем процессе водоходных движителей, позволяя им работать в невозмущенном потоке без потерь упора и КПД [1, 13, 14]. В свою очередь скосы в кормовой части паромно-мостовой машины уменьшают полезный объем, из-за чего грузоподъемность паромной машины уменьшается на 5%.

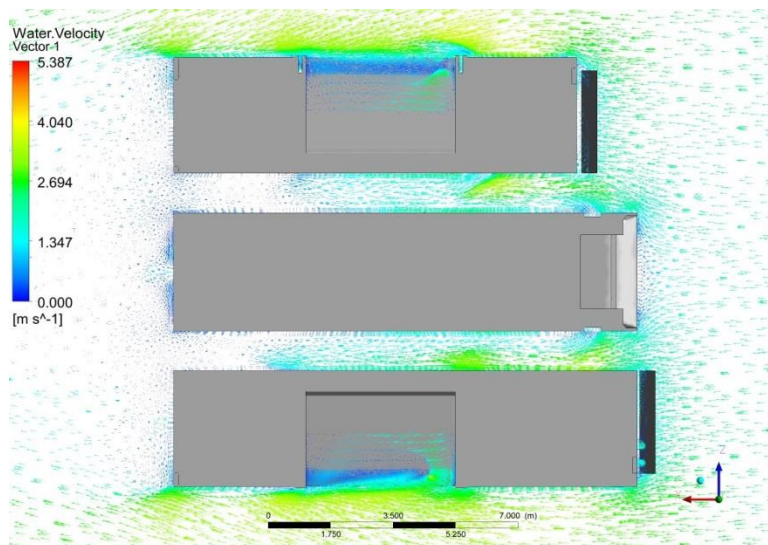


Рис. 15. Векторное поле скоростей на плоскости ватерлинии при движении варианта ПММ-2М с разнесенными понтонами

Fig. 15. Vector field of velocities on the plane of the waterline during the movement of the PMM-2M version with spaced pontoons

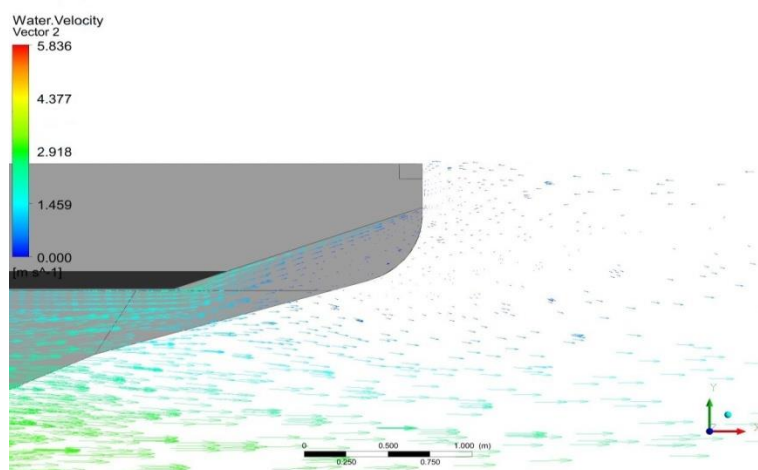


Рис. 16. Векторное поле скоростей в кормовой части ПММ-2М со скосом понтонов

Fig. 16. Vector field of velocities in the aft part of the PMM-2M with a bevel of the pontoons

Использование волнореза позволяет обеспечить более плавное обтекание корпуса паромной машины (рис.17), что позволяет снизить сопротивление корпуса на 15% и увеличить скорость движения по воде на 6%, по сравнению с машиной исходной конструкции. В то же время, для обеспечения функционирования волнореза сложной геометрии требуется учесть множество факторов, такие как, кинематика складывания и раскладывания составных элемен-

тов волнореза, обеспечение их сохранности в транспортном положении, ремонтпригодность в полевых условиях и т.д.

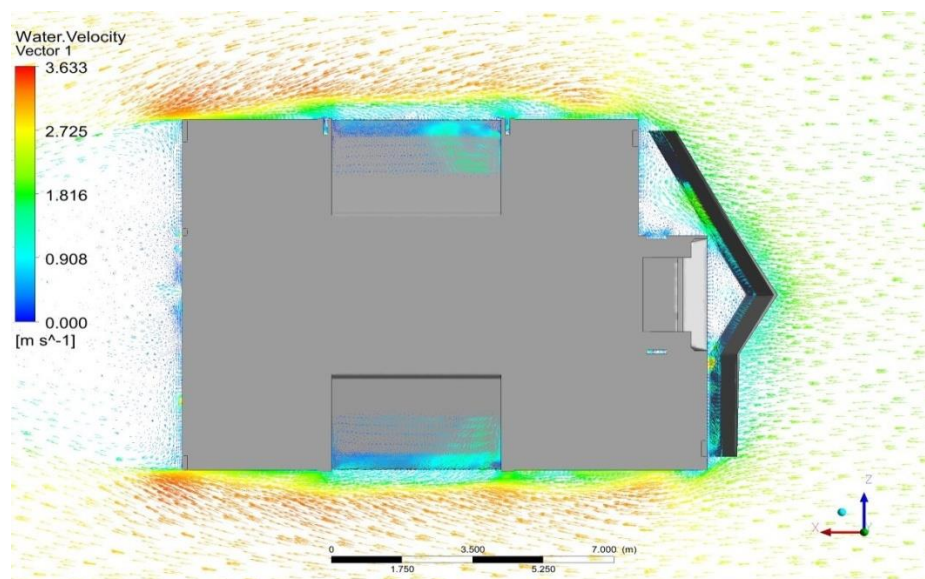


Рис. 17. Векторное поле скоростей на плоскости ватерлинии при движении варианта ПММ-2М с волнорезом

Fig. 17. Vector field of velocities on the plane of the waterline during the movement of the PMM-2M version with a breakwater

Минимальным сопротивлением обладает вариант компоновки паромной машины с поднятым и закрытым гусеничным движителем. Отсутствие «сухопутного» движителя позволяет уменьшить сопротивление ПММ-2М на 31%, обеспечив при этом повышение скорости движения на воде на 16%. Недостатком используемой конструкции является увеличенная масса из-за дополнительных механизмов подъема и опускания элементов ходовой части с возможностью их закрытия специальными щитками.

Вывод. Анализ проведенных исследований показывает, что наиболее оптимальным и менее затратным способом улучшения гидродинамических характеристик корпуса паромной машины является конструкция ПММ с волнорезом, который не требует внесения изменений в силовую схему конструкции паромной машины, позволяя проводить ремонт и модернизацию техники в кратчайшие сроки и с минимальными затратами.

Таким образом, по результатам проведенных исследований, выявлена целесообразность проведения работ, направленных на доработку конструктивно-компоновочной схемы ПММ-2М за счет применения таких технических решений, как установка волнореза и механизмов подъема и опускания элементов гусеничного движителя, закрытие ходовой части специальными щитками, использование дополнительных объемов для увеличения плавучести (пустотелых опорных катков, надувных емкостей под днищем парома, выдвижных объемов из понтонов [15, 16] и т.д.). Реализация указанных мер будет способствовать повышению гидродинамических характеристик корпусов паромных машин, снижению буксировочного сопротивления и повышению скорости транспортировки при преодолении водных преград.

Библиографический список:

1. Степанов А. П. Проектирование амфибийных машин. М.: Мегалион, 2007. 420 с.
2. Веретенников А. И. Особенности расчета сопротивления движению боевой колесной машины на плаву / А. И. Веретенников, Ю. М. Мушинский, А. В. Нефёдов // Механіка та машинобудування. 2009. №2. С. 11-16.
3. Толстоуцкий В. А. Сравнение водоходных качеств изделий БТР-3Е и БТР-4Е / В. А. Толстоуцкий, А. А. Павлюченко, И. И. Рассказов, Т. В. Толстоуцкая // Механіка та машинобудування. 2014. №1. С. 128-135.
4. Study on Force Characteristics and Resistance for Water by Amphibious Vehicle / Ling Duan et. al. // 3rd International Conference on Mechanical Engineering and Intelligent Systems (ICMEIS 2015)

5. Полунгян А. А. Проектирование полноприводных колесных машин: Учебник для вузов: П79 в 3т. Т. 1 / Б. А. Афанасьев, Б. Н. Белоусов, Г. И. Гладов и др.; под ред. А. А. Полунгяна. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2008. 496 с.: ил.
6. Хренов И. О. Метод расчета силы сопротивления движению на воде амфибийных колесных и гусеничных машин с использованием программного комплекса ANSYS CFX // Журнал автомобильных инженеров. 2018. №1. С. 31-33.
7. Simulation of amphibious vehicle water resistance based on fluent / Zhangxia Guo, et. al. // International Conference on Materials Engineering and Information Technology Applications. 2015. Vol.10, No. 1. Pp. 485-489.
8. Nakisa M. RANS simulation of viscous flow around hull of multipurpose amphibious vehicle / M. Nakisa, A. Maimin, A. Yasser, F. Behrouzi, A. Tarmizi // International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering. 2014. Vol. 8, No. 2. pp. 298-302.
9. Филатов В. В. Гидродинамическое исследование перспективной быстроходной амфибийной машины малого класса // Вестник гражданских инженеров. 2017. №2 (61). С. 219-223.
10. Piyush A. Stability and drag analysis of wheeled amphibious vehicle using CFD and model testing techniques // Applied Mechanics and Materials Vols. 592-594. 2014. Pp. 1210-1219.
11. Nakisa M. Hydrodynamic resistance analysis of new hull design for multipurpose amphibious vehicle applying with finite volume method / M. Nakisa, A. Maimin, A. Yasser, F. Behrouzi, A. Tarmizi // Journal Teknologi (Sciences & Engineering) 74:5. 2015. pp. 73-76.
12. Guo Z., Pan Y., Zhang H., Wang Y. Numerical simulation of an amphibious vehicle sailing resistance / Z. Guo, Y. Pan, H. Zhang, Y. Wang // Internal Journal of Computer Science Issues. 2013. Vol. 10, Issue 1, No 1. Pp. 33-36.
13. Стрелков А. Г. Конструкция быстроходных гусеничных машин: учеб. пособие. М.: МГТУ «МАМИ», 2005. 616 с. ил.
14. Мартиросов Г. Г. Проектирование водоходных движителей с гребными винтами для амфибийных машин. М.: МАДИ, 2006. 87 с.
15. Войсковая часть 12093. Патент на изобретение № 2037432 (RU) – Паромно-мостовая машина, 1995.
16. Центральный научно-исследовательский испытательный институт им. Д. М. Карбышева Министерства обороны РФ. Патент на изобретение № 2129072 (RU) Гусеничный плавающий транспортер, 1999.

References:

1. Stepanov A. P. Proektirovanie amfibijnyh mashin – М.: Megalion, 2007. – 420 s. [Stepanov A.P. Design of amphibious machines. М.: Megalion, 2007. 420 p. (In Russ.)]
2. Veretennikov A. I. Osobennosti rascheta soprotivleniya dvizheniyu boevoy kolesnoj mashiny na plavu / A. I. Veretennikov, YU. M. Mushchinskij, A. V. Nefyodov // Mekhanika ta mashinobuduvannya. – 2009. №2. S. 11-16. [Veretennikov A.I. Features of calculating the resistance to the movement of a combat wheeled vehicle afloat / A.I. Veretennikov, Yu. M. Mushchinsky, A.V. Nefyodov // Mechanics and machine-building. - 2009. No. 2. pp. 11-16. (In Russ.)]
3. Tolstoluckij V. A. Sravnenie vodohodnyh kachestv izdelij BTR-3E i BTR-4E / V. A. Tolstoluckij, A. A. Pavlyuchenko, I. I. Rasskazov, T. V. Tolstoluckaya // Mekhanika ta mashinobuduvannya. – 2014. №1. S. 128-135. [Tolstoluckij V. A. Comparison of the navigable qualities of products BTR-3E and BTR-4E/ V. A. Tolstoluckij, A. A. Pavlyuchenko, I. I. Rasskazov, T. V. Tolstoluckaya // Mechanics and machine-building. – 2014. No. 1. pp. 128-135. (In Russ.)]
4. Study on Force Characteristics and Resistance for Water by Amphibious Vehicle / Ling Duan et. al. // 3rd International Conference on Mechanical Engineering and Intelligent Systems (ICMEIS 2015)
5. Polungyan A. A. Proektirovanie polnoprivodnyh kolesnyh mashin: Uchebnyk dlya vuzov: P79 v 3t. T. 1 / B. A. Afanas'ev, B. N. Belousov, G. I. Gladov i dr.; pod red. A. A. Polungyana. М.: Izd-vo MGTU im. Bauman, 2008. 496 s.: il. [Polungyan A. A. Design of all-wheel drive vehicles: Textbook for universities: P79 in 3t. T. 1 / B. A. Afanas'ev, B. N. Belousov, G. I. Gladov i dr.; edited by A. A. Polungyana. М.: Publishing house of MSTU im. Bauman, 2008. 496 p.: il.]
6. Hrenov I. O. Metod rascheta sily soprotivleniya dvizheniyu na vode amfibijnyh kolesnyh i gusenichnyh mashin s ispol'zovaniem programmnoho kompleksa ANSYS CFX // Zhurnal avtomobil'nyh inzhenerov. 2018. №1. S. 31-33. [Khrenov I.O. A method for calculating the resistance to water movement of amphibious wheeled and tracked vehicles using the ANSYS CFX software package // Journal of Automotive Engineers. 2018. No. 1. pp. 31-33. (In Russ.)]
7. Simulation of amphibious vehicle water resistance based on fluent / Zhangxia Guo, et. al. // International Conference on Materials Engineering and Information Technology Applications. 2015. Vol.10, No. 1. pp. 485-489.
8. Nakisa M. RANS simulation of viscous flow around hull of multipurpose amphibious vehicle / M. Nakisa, A. Maimin, A. Yasser, F. Behrouzi, A. Tarmizi // International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering. 2014. Vol. 8, No. 2. pp. 298-302.

9. Filatov V. V. Gidrodinamicheskoe issledovanie perspektivnoj bystrohodnoj amfibijnoj mashiny malogo klassa // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. – 2017. №2 (61). S. 219-223. [Filatov V.V. Hydrodynamic study of a promising high-speed amphibious small-class machine // Bulletin of Civil Engineers. 2017. No. 2 (61). pp. 219-223. (In Russ.)]
10. Piyush A. Stability and drag analysis of wheeled amphibious vehicle using CFD and model testing techniques // Applied Mechanics and Materials Vols. 592-594. 2014. pp. 1210-1219.
11. Nakisa M. Hydrodynamic resistance analysis of new hull design for multipurpose amphibious vehicle applying with finite volume method / M. Nakisa, A. Maimin, A. Yasser, F. Behrouzi, A. Tarmizi // Journal Teknologi (Sciences & Engineering) 74:5. 2015. pp. 73-76.
12. Guo Z., Pan Y., Zhang H., Wang Y. Numerical simulation of an amphibious vehicle sailing resistance / Z. Guo, Y. Pan, H. Zhang, Y. Wang // Internal Journal of Computer Science Issues. 2013. Vol. 10, Issue 1, No 1. pp. 33-36.
13. Strelkov A. G. Konstrukciya bystrohodnyh gusenichnyh mashin: ucheb. posobie. – M.: MGTU «MAMI», 2005. – 616 s. il. [Strelkov A. G. The design of high-speed tracked vehicles: textbook. allowance. – M.: MGTU «MAMI», 2005. 616 p. il. (In Russ.)]
14. Martirosov G. G. Proektirovanie vodohodnyh dvizhitelej s grebnymi vintami dlya amfibijnyh mashin. – M.: MADI, 2006. 87 s. [Martirosov G. G. Design of navigable propellers with propellers for amphibious machines. M.: MADI, 2006. 87 p. (In Russ.)]
15. Vojskovaya chast' 12093. Patent na izobrenenie № 2037432 (RU) – Paromno-mostovaya mashina, 1995. [Military unit 12093. Patent for invention No. 2037432 (RU) - Ferry bridge machine, 1995. (In Russ.)]
16. Central'nyj nauchno-issledovatel'skij ispytatel'nyj institut im. D. M. Karbysheva Ministerstva oborony RF. Patent na izobrenenie № 2129072 (RU) – Gusenichnyj plavayushchij transporter, 1999. [Central Research and Testing Institute. D. M. Karbyshev of the Ministry of Defense of the Russian Federation. Patent for invention No. 2129072 (RU) Tracked amphibious conveyor, 1999. (In Russ.)]

Сведения об авторах:

Месропян Арсен Владимирович, доктор технических наук, профессор, и. о. зав. кафедрой теоретической механики; e-mail: avm_74@mail.ru

Рахматуллин Радмир Рифович, аспирант, кафедра прикладной гидромеханики;
e-mail: radmir.molodets.93@mail.ru

Information about the authors:

Arsen V. Mesropyan, Dr. Sci. (Technical), Prof., Head of the Department of Theoretical Mechanics;
e-mail: avm_74@mail.ru

Radmir R. Rakhmatullin, Postgrad. (PhD) Student, Department of Applied Hydromechanics;
e-mail: radmir.molodets.93@mail.ru

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 15.10.2020.

Принята в печать 06.11.2020.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 15.10.2020.

Accepted for publication 06.11.2020.