Для цитирования А.В. Месропян, Е.А. Платонов, Р.Р. Рахматуллин. Моделирование рабочих процессов водоходного движителя паромно-мостовой машины ПММ-2М. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2020;47 (3):16-25. DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-3-16-25

For citation: A.V. Mesropyan, E.A. Platonov, R.R. Rakhmatullin. Modeling working processes of the marine thruster of the PMM-2M ferry-bridge machine. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2020;47(3):16-25. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-3-16-25

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

УДК 629.5.035.5

DOI: 10.21822/2073-6185-2020-47-3-16-25

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ ВОДОХОДНОГО ДВИЖИТЕЛЯ ПАРОМНО-МОСТОВОЙ МАШИНЫ ПММ-2М

А.В. Месропян, Е.А. Платонов, Р.Р. Рахматуллин

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

Резюме. Цель. В статье рассматриваются аспекты моделирования рабочих процессов, протекающих в водоходных движителях амфибийных машин, с учетом специфики их эксплуатации. **Метод.** Применены методы трехмерного моделирования гребных винтов в CAD- и CAE- пакетах, способные с достоверной точностью определять и оптимизировать параметры протекающих рабочих процессов. **Результат.** Предложен математический аппарат, позволяющий рассчитывать характеристики водоходных движителей машин-амфибий. Спроектирован гребной винт, обеспечивающий большую тягу по сравнению с исходной конструкцией, позволяющий увеличить скорость движения по воде и уменьшить радиус циркуляции при движении по воде. Рассчитанный вариант гребного винта обеспечивает повышение тяги на 36%, позволяет развить большую скорость движения по воде и значительно снизить радиус циркуляции паромно-мостовой машины при маневрировании на воде. **Вывод.** Предложенный вариант увеличения скорости движения и маневренности на воде паромных машин является наиболее эффективным и наименее затратным; перспективным направлением дальнейших исследований для достижения максимальной эффективности является создание и верификация программно-аппаратных и методических комплексов для моделирования совместной работы системы «водоходный движитель – корпус – силовая установка».

Ключевые слова: паромно-мостовая машина, гребной винт в кольцевой насадке, водоходный движитель, машина-амфибия, кольцевая насадка, моделирование рабочих процессов

MODELING WORKING PROCESSES OF THE MARINE THRUSTER OF THE PMM-2M FERRY-BRIDGE MACHINE

A. V. Mesropyan, E. A. Platonov, R. R. Rakhmatullin

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

Abstract. Objective. The article deals with aspects of modeling the working processes occurring in marine thrusters of amphibious vehicles, taking into account the specifics of their operation. **Methods.** The methods of 3D modeling of propellers in CAD and CAE packages are applied, which can determine and optimize the parameters of ongoing work processes with reliable accuracy. **Results.** A mathematical construct is proposed that allows calculating the characteristics of marine thrusters of amphibious vehicles. The propeller is designed to provide more thrust compared to the original design, making it possible to increase the speed of movement on the water and reduce the radius of circulation when moving through the water. The calculated version of the propeller provides

an increase in thrust by 36%, allows developing a high speed on the water, and significantly reduces the radius of circulation of the ferry-bridge machine when maneuvering on the water. **Conclusion.** The proposed option for increasing the speed and maneuverability of ferry vehicles on the water is the most effective and least expensive; a promising direction for further research to achieve maximum efficiency is the creation and verification of software, hardware, and methodological complexes for modeling the joint operation of the "marine thruster – hull – power plant" system.

Keywords: ferry-bridge machine, propeller in a ring nozzle, marine thruster, amphibious vehicle, ring nozzle, working processes modeling

Введение. Совершенствование и глубокая модернизация паромной техники, разработанной на рубеже 70-80-х гг. прошлого века и до сих пор используемой в МЧС, инженерно-технических подразделениях МО, предопределяют актуальность работ, направленных на безусловное обеспечение повышенных требований и энергоэффективности водоходных движителей, применяемых в схемных решениях паромно-мостовой техники, паромов, машин-амфибий и т.д. Выполнение подобных работ неразрывно связано с моделированием рабочих процессов, сопровождающих функционирование водоходных движителей, при этом должна учитываться специфика эксплуатации подобной техники, используемые технологии ремонта и обслуживания, а также ограничения, связанные с обеспечением бескавитационной работы водоходных движителей и требуемыми прочностными и ресурсными характеристиками узлов и агрегатов.

Постановка задачи. Объектом исследования является паромно-мостовая машина ПММ-2М (рис. 1). Согласно паспортным данным, скорость, развиваемая данной ПММ с нагрузкой на воде, составляет 10 км/ч [1]. К специфике конструктивно-компоновочного решения относится труднообтекаемый корпус и наличие выступающего за пределы корпуса гусеничного движителя, что, в совокупности, обуславливает большое сопротивление движению при преодолении водной преграды.

Рис. 1. Паромно-мостовая машина ПММ-2М в походном положении
Fig. 1. Ferry-bridge machine PMM-2M in the stowed position

Повышение скоростных характеристик можно обеспечить несколькими путями: изменение параметров водоходного движителя, уменьшение сопротивления паромной техники за счет изменения обводов корпуса машины в сочетании повышением мощностных характеристик двигателя. Наиболее перспективным и наименее затратным является вариант модернизации водоходного движителя.

Методы исследования. Параметры водоходного движителя определяются с учетом полного сопротивления и буксировочной мощности корпуса ПММ [2 - 4] на основе исходных данных, к которым относятся габаритные размеры и значение осадки ПММ (табл.1).

Таблица 1. Исходные данные для расчета параметров водоходного движителя
Table 1. Initial data for calculating the parameters of the water propulsion

Наименование параметра Parameter name		Значение параметра Parameter value
Длина, L , м Length, L , m	Основной корпус Main body	12,4
	Левый понтон Left pontoon	12,1
	Правый понтон Right pontoon	11,8
Ширина, B , м Width, B , m	Основной корпус Main body	3,36
	Левый понтон Left pontoon	3,36
	Правый понтон Right pontoon	3,36
Осадка с грузом 42,5 т, T , м Draft with a load of 42.5 t, T , m	Основной корпус Main body	1,8
	Левый понтон Left pontoon	0,62
	Правый понтон Right pontoon	0,62

Величину смоченной поверхности корпуса ПММ необходимо определять с наиболее возможной точностью, поскольку сопротивление движению изменяется прямо пропорционально величине смоченной поверхности, при этом очевидно, что поверхность подводной части данной машины нельзя представить в виде явной функции от координат, вычислить её площадь аналитически невозможно, поэтому для вычисления смоченной поверхности необходимо применять приближённые методы расчета.

Площадь смоченной поверхности без учета выступающих элементов определяется по зависимости (1):

$$\Omega = 2 \frac{L}{n} \sum_{i=0}^n \left(l_i - \frac{l_0 - l_n}{2} \right), \quad (1)$$

где L – длина паромы; n – число теоретических шпангоутов; l – полудлина спрямленного теоретического шпангоута

Данная формула не учитывает влияния продольной кривизны обводов корпуса машины на величину смоченной поверхности, но это влияние незначительно (примерно $1 \div 1,15\%$), поэтому никаких поправок в расчёт не вводится. Результаты расчета сведены в табл.2.

Таблица 2. Расчет площади смоченной поверхности
Table 2. Calculation of wetted surface area

№ сече- ния Section No.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Σ	Поправка Amendment	$\Sigma_{\text{исп}}$	Ω
$T_1=1,8$ ОК	-	1,33	2,35	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,69	2,52	2,18	26,11	2,875	23,23	83,9
$T_2=0,62$ ПП	-	1,34	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	20,09	2,875	17,22	33,1
$T_3=0,62$ ЛП	-	-	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	18,75	2,875	15,87	33,1

Таким образом, суммарная площадь смоченной поверхности:

$$\Omega = \sum \Omega_1 \Omega_2 \Omega_3 = 83,9 + 33,08 + 33,08 = 150,073 \text{ м}^2.$$

Для верификации значения смоченной поверхности, полученной путем расчета по формуле (1), предложена трехмерная модель ПММ-2М с отсечением плоскостью, расположенной на уровне ватерлинии при нулевом дифференте, для определения площади смоченной поверхности корпуса.

Смоченная поверхность, определенная в ПК КОМПАС 3D, составила 158 м² (рис. 2). Сходимость результатов расчета составила 95%.

Рис. 2. Площадь смоченной поверхности, определенная в ПК КОМПАС-3D

Fig. 2. The Wetted surface area determined in the KOMPAS-3D PC

Суммарная площадь смоченной поверхности необходима для расчета полного сопротивления корпуса машины, включающего сопротивление трения и сопротивление давлений.

Сопротивление трения обусловлено влиянием вязкости жидкости и рассчитывается с учётом состояния поверхности корпуса машины. Оно включает также влияние неидеальности, с точки зрения судостроения, поверхности корпуса машины. Одним из главных участков сопротивления на ПММ является наличие полностью погруженных гусеничных движителей. Учитывая, что сопротивление трения и сопротивление формы обусловлены вязкостью, они могут быть объединены в одну составляющую, которую принято называть вязкостным сопротивлением.

Разделение полного сопротивления на сопротивление давлений и сопротивление трения основано на учёте физического различия элементарных сил, действующих на поверхность машины. В данном случае, из-за недостаточности полных сведений сопротивления сложных обводов данной машины (корпусные детали, покраска, не предназначенная для минимального сопротивления поверхности, выступающие гусеницы и т.п.) ими пренебрегается с учетом дальнейшей возможной поправки по геометрии корпуса ПММ.

Расчет полного сопротивления и буксировочной мощности рассчитывается на основе диаграмм серийных испытаний моделей судов с возможными поправками на геометрию паромно-мостовой машины.

Для расчёта полного сопротивления движению судна следует рассчитать соответствующие заданным скоростям коэффициенты сопротивления трения, ввести поправочные коэффициенты на шероховатость и на наличие выступающих частей корпуса. Сумма этих коэффициентов и коэффициента остаточного сопротивления определяет коэффициент полного сопротивления рассматриваемого корпуса паромы, используемый далее для расчета полного сопротивления корпуса ПММ и буксировочной мощности для случая движения на тихой воде.

При расчете данных параметров, применимых к обводам корпуса ПММ-2М, используется приближение в расчетах дебаркадеров и сложных форм плавучих земснарядов, однако необ-

ходимо учитывать, что поскольку скоростной параметр для судов подобного типа не имеет смысла, они никогда не испытывались в аэродинамической трубе и испытательном бассейне. Это, в свою очередь, не позволяет оценить степень адекватности существующих методик реальным объектам.

Расчет полного сопротивления корпуса ПММ включает в себя определение числа Фруда, поправочных коэффициентов, учитывающих тип судна, числа Рейнольдса, коэффициентов трения, сопротивления трения, остаточного сопротивления, полного сопротивления и буксировочной мощности.

Результаты расчета зависимости полного сопротивления корпуса ПММ от скорости движения на воде $R_x = f(V_s)$ при постоянном значении осадки представлены на рис. 3.

Рис. 3. Зависимость полного сопротивления паромов от скорости движения на воде

Fig. 3. Dependence of the ferry impedance on the speed of movement on water

Следует отметить, что расчет сопротивления корпуса и буксировочной мощности проводился по методикам, предложенным для судов с обтекаемыми формами подводной части корпуса. Значение большинства коэффициентов, определяемых из диаграмм (коэффициент, учитывающий влияние относительной длины $\psi = L/\sqrt[3]{V}$, коэффициента продольной полноты $\phi = \delta/\beta$, отношение ширины к осадке B/T), приходится экстраполировать, что дает существенную погрешность в определении искомых параметров. Для получения более точных значений сопротивления корпуса необходимо применять специализированные CAE-пакеты, такие как *Ansys* (модули *CFX* и *Fluent*), *FlowSimulation*, *FlowVision* и т.д. [5-12].

По полученным данным значения сопротивления корпуса ПММ в соответствии с известными методиками [13-17] определяются параметры водоходного движителя, проводится профилирование лопастей винта и строится его трехмерная твердотельная модель. Результат расчета гребного винта представлен в виде трехмерной модели (рис. 4 а).

На тяжелой водоизмещающей машине трудно получить высокий КПД гребного винта, если он приводится от сравнительно высокооборотного двигателя. Винт в этих случаях работает с большим скольжением и не развивает необходимый упор. Установка кольцевой насадки позволяет решить эту проблему и повысить скорость судна на 5-8%. При скоростях около 20 км/ч установка насадки нецелесообразна, поскольку резко возрастает сопротивление. Проектная скорость ПММ составляет порядка 12 км/ч, соответственно, применение насадки на данной технике целесообразно и актуально, поскольку она является хорошей защитой гребного винта от повреждений и, благодаря постоянному заполнению водой, не позволяет ему обнажиться при килевой качке. Трехмерная твердотельная модель спроектированной насадки совместно с гребным винтом представлена на рис. 4 б.

Рис. 4. Трехмерная CAD-модель гребного винта:
а – гребной винт; б – гребной винт в кольцевой насадке
Fig. 4. Three-dimensional CAD-model of the propeller:
a - propeller; b - propeller in an annular nozzle

Построенные трехмерные модели необходимы для моделирования рабочих процессов, протекающих в гребном винте с насадкой, в ПК *Ansys* [18-20]. Строится расчетная область течения рабочего тела, и далее в модуле *Mesh* расчетная область разбивается на сетку, состоящую из тетраэдрических элементов, количеством 3,8 млн. ячеек (рис. 5).

Рис. 5. Общий вид КЭ модели расчетной области в разрезе
Загущение сетки в районе гребного винта увеличено
Fig. 5. Sectional view of the finite element model of the computational domain
Propeller mesh thickening increased

В модуле *CFX-Pre* расчетная модель настроена со следующими параметрами:

- плотность воды $\rho=1000 \text{ кг/м}^3$;
- динамическая вязкость $\mu=0,001 \text{ Па}\cdot\text{с}$;
- моделирование течения через гребной винт проводится в режиме *Frozen Rotor*;
- расчеты проводятся при стандартных атмосферных условиях: $p=101325 \text{ Па}$, $T=288\text{K}$;
- в расчетах используется модель турбулентности *k- ϵ* .

Расчет гребного винта в кольцевой насадке в процессоре *CFX-Solver* проводится до получения погрешности не более 10^{-5} по каждому из гидродинамических параметров (скорость, давление, массовый расход, параметры турбулентности).

Результаты расчета представлены на рис. 6–8.

Рис. 6. Вектора скорости в проточной части водоходного движителя
 Fig. 6. The velocity vector in the flow part of the water propulsion device

Рис. 7. Эпюра распределения давлений в проточной части водоходного движителя
 Fig. 7. Diagram of the distribution of pressure in the flow part of the water propulsion

Рис. 8. Вектора скорости на поверхности лопастей гребного винта
 Fig. 8. Speed vectors on the surface of the propeller blades

Обсуждение результатов. Анализ результатов численного моделирования позволяет получить представление о процессах и явлениях, протекающих в водоходном движителе паромной машины, и определять возможные направления параметрической оптимизации водоходных движителей. По направлению векторов скоростей можно судить о безотрывном тече-

нии рабочего тела в проточной части водоходного движителя, а по картине распределения давлений – о нагрузках, действующих на определенные элементы конструкции водоходного движителя.

Предлагаемый вариант математической модели позволяет рассчитывать параметры водоходного движителя для ПММ с учетом специфики эксплуатации данной техники. Рассчитанный вариант гребного винта обеспечивает повышение тяги на 36%, позволяет развить большую скорость движения по воде и значительно снизить радиус циркуляции ПММ при маневрировании на воде.

Вывод. Параметрическая оптимизация водоходных движителей для увеличения скорости движения, маневренности на воде и создаваемой тяги является наименее затратным и наиболее эффективным для эксплуатантов подобной техники вариантом, при этом, необходимо отметить, что создание, верификация и апробация методик по совместному расчету элементов «корпус-водоходный движитель-силовая установка» позволят обеспечить синергетический эффект для существенного повышения скоростных и маневренных характеристик судов подобного типа и сформировать научно-технический задел для создания перспективных образцов паромной техники российского производства.

Библиографический список:

1. Степанов А. П. Инженерные переправочно-десантные средства СССР и России // Техника и вооружение: вчера, сегодня, завтра. 2001. №10. С. 1-13.
2. Антоненко С. В. Судовые движители: учебное пособие. – Владивосток: Из-во ДВГТУ, 2007. 126 с.
3. Емельяненко Н. Ф. Ходкость водоизмещающих морских судов: учебное пособие. – Владивосток. Из-во Дальрыбвтуз, 2004. 249 с.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Simulation of amphibious vehicle water resistance based on fluent / Xiaochun Pan, et. al. // International Conference on Materials Engineering and Information Technology Applications. 2015. pp. 485-489.
8. Филатов В. В. Гидродинамическое исследование перспективной быстроходной амфибийной машины малого класса // Вестник гражданских инженеров. 2017. №2 (61). С. 219-223.
9. 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.
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. Хейфец Л. Л. Гребные винты для катеров – 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Судостроение, 1980. 200с.
14. Басин А. М. Руководство по расчету и проектированию гребных судов внутреннего плавания. Л.: Из-во «Транспорт», 1977. 269 с.
15. Степанов А. П. Проектирование амфибийных машин. М.: Мегалион, 2007. 420 с.
16. Король Ю. М. Моделирование работы гребного винта в насадке в косом набегающем потоке / Ю. М. Король, А. С. Бражко // Збірник наукових праць нук. 2013. №1. С. 30-36.
17. Мартиросов Г. Г. Проектирование водоходных движителей с гребными винтами для амфибийных машин. М.: МАДИ, 2006. 87 с.
18. Абдулин А. Я. Особенности численного моделирования рабочего процесса водометных движителей / А. Я. Абдулин, А. В. Месропян // Вестник УГАТУ. 2013. №3 (56). С. 130-137.
19. Ghassemi H. Calculations of the Hydrodynamic Characteristics of a Ducted Propeller Operating in Oblique Flow / H. Ghassemi, S. Majdfar, H. Foroudzan // Ship Science & Technology. 2017. Vol. 10, No. 20. Pp. 31-40.

20. Ghassemi H. Hydrodynamic prediction of the ducted propeller by CFD solver / H. Ghassemi, S. Majdfar, H. Foroudzan, A. Ashrafi // Journal of Marine Science and Technology. 2017. Vol. 25, No. 3. pp. 268-275.

References:

1. Stepanov A. P. Inzhenernye perepravочно-desantnye sredstva SSSR i Rossii // Tekhnika i vooruzhenie: vchera, segodnya, zavtra. 2001. №10. s. 1-13. [Stepanov A. P. Engineering ferry and landing equipment of the USSR and Russia // Equipment and weapons: yesterday, today, tomorrow. 2001. No. 10. pp. 1-13. (In Russ.)]
2. Antonenko S. V. Sudovye dvizhiteli: uchebnoe posobie. Vladivostok: Iz-vo DVGUTU, 2007. 126 s. [Antonenko S.V. Ship movers: a training manual. Vladivostok: Because of DVGUTU, 2007. 126 p. (In Russ.)]
3. Emel'yanenko N. F. Hodkost' vodoizmeshchayushchih morskikh sudov: uchebnoe posobie. – Vladivostok. Iz-vo Dal'rybvutuz, 2004. 249 s. [Emelianenko N. F. The propulsion of displacement ships: a training manual. - Vladivostok. Because of Dalrybvutuz, 2004 . 249 p. (In Russ.)]
4. 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.)]
5. 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.
6. 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.
7. Simulation of amphibious vehicle water resistance based on fluent / Xiaochun Pan, et. al. // International Conference on Materials Engineering and Information Technology Applications. 2015. pp. 485-489.
8. 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.)]
9. Hrenov I. O. Metod rascheta sily soprotivleniya dvizheniyu na vode amfibijnyh kolesnyh i gusenichnyh mashin s ispol'zovaniem programmnogo 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.)]
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 Teknolog (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. Hejfec L. L. Grebnye vinty dlya katerov – 2-e izd., pererab. i dop. L.: Sudostroenie, 1980. 200s. [Kheifets L. L. Propellers for boats - 2nd ed., Revised. and add. L.: Shipbuilding, 1980. 200 p. (In Russ.)]
14. Basin A. M. Rukovodstvo po raschetu i proektirovaniyu grebnyh sudov vnutrennego plavaniya. L.: Iz-vo «Transport», 1977. 269 s. [Basin A.M. Guidelines for the calculation and design of rowing inland navigation vessels. L.: Publishing house of the Transport, 1977. 269 p. (In Russ.)]
15. Stepanov A. P. Proektirovanie amfibijnyh mashin – M.: Megalion, 2007. 420 s. [Stepanov A.P. Design of amphibious machines - M.: Megalion, 2007. 420 p. (In Russ.)]
16. Korol' YU. M. Modelirovanie raboty grebnogo vinta v nasadke v kosom nabegayushchem potoke / YU. M. Korol', A. S. Brazhko // Zbirnik naukovih prac' nuk. 2013. №1. S. 30-36. [Korol Yu. M. Modeling the operation of the propeller in the nozzle in an oblique oncoming flow / Yu. M. Korol, A. S. Brazhko // Zbirnik naukovykh prats' nuk. 2013. No 1. pp. 30-36. (In Russ.)]
17. 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.)]
18. Abdulin A. YA. Osobennosti chislennogo modelirovaniya rabocheho processa vodometnyh dvizhitelej / A. YA. Abdulin, A. V. Mesropyan // Vestnik UGATU. 2013. №3 (56). S. 130-137. [Abdulin A. Ya. Features of the numerical modeling of the working process of water-jet propulsors / A. Ya. Abdulin, A.V. Mesropyan // Bulletin of USATU. 2013. No3. (56). pp. 130-137. (In Russ.)]

19. Ghassemi H. Calculations of the Hydrodynamic Characteristics of a Ducted Propeller Operating in Oblique Flow / H. Ghassemi, S. Majdfar, H. Foroudzan // Ship Science & Technology. 2017. Vol. 10, No. 20. pp. 31-40.
20. Ghassemi H. Hydrodynamic prediction of the ducted propeller by CFD solver / H. Ghassemi, S. Majdfar, H. Foroudzan, A. Ashrafi // Journal of Marine Science and Technology. 2017. Vol. 25, No. 3. pp. 268-275.

Сведения об авторах:

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

Платонов Евгений Александрович, оператор ЭВМ, кафедра прикладной гидромеханики;
e-mail: elacom@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

Evgenij A. Platonov, computer's operator Department of Applied Hydromechanics;
e-mail: elacom@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 06.07.2020.

Принята в печать 10.08.2020.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 06.07.2020.

Accepted for publication 10.08.2020.