

УДК 629.365

EDN: ZNBCJW

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЭЖЕКЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ВОДООТКАЧКИ ПЕРСПЕКТИВНОЙ АМФИБИЙНОЙ МАШИНЫ

**И.А. Трусевич**ORCID: 0000-0002-6092-8762 e-mail: [trilal@bk.ru](mailto:trilal@bk.ru)

Специальное конструкторское бюро машиностроения

*Курган, Россия*

Институт машиноведения имени Э.С. Горкунова Уральского отделения РАН

*Екатеринбург, Россия***С.В. Абдулов**ORCID: 0009-0003-1769-4520 e-mail: [sincopa2004@mail.ru](mailto:sincopa2004@mail.ru)

Специальное конструкторское бюро машиностроения

*Курган, Россия***И.А. Тараторкин**ORCID: 0000-0003-3836-6238 e-mail: [ig\\_tar@mail.ru](mailto:ig_tar@mail.ru)

Институт машиноведения имени Э.С. Горкунова Уральского отделения РАН

*Екатеринбург, Россия***В.Б. Держанский**ORCID: 0000-0003-1043-8340 e-mail: [dvb\\_47@mail.ru](mailto:dvb_47@mail.ru)

Институт машиноведения имени Э.С. Горкунова Уральского отделения РАН

*Екатеринбург, Россия*

Усовершенствована конструкция эжекционной системы водооткачки перспективной амфибийной машины. Проведена серия симуляционных расчетов в программном пакете на основе методов мультифизического моделирования STAR-CCM+, по результатам верифицируется модель существующей эжекционной системы водооткачки серийной амфибийной машины, подтверждается высокая сходимость данных, полученных путем моделирования. Разрабатывается модель эжекционной системы водооткачки перспективной амфибийной машины. Рассматривается и анализируется влияние местоположения ряда отверстий в напорном патрубке водометного движителя, числа рядов, количества отверстий в каждом из них и их диаметров, угла фаски на входном участке отверстия, входного и выходного диаметров отверстий на производительность эжекционной системы водооткачки. По итогам серии симуляционных расчетов определены параметры, позволяющие обеспечить наибольшую производительность системы эжекционной водооткачки. Производительность по сравнению с исходным вариантом увеличена в 1,29 раз, а сопротивление трассы всасывания снижено в 1,97 раз. Испытания усовершенствованной эжекционной системы водооткачки подтверждают результаты моделирования.

**Ключевые слова:** водометный движитель, водооткачка, водоотлив, эффект эжекции, амфибийная машина, симуляция, CFD, моделирование, верификация, экспериментальное исследование, прогнозирование.

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Трусевич, И.А. Совершенствование конструкции эжекционной системы водооткачки перспективной амфибийной машины / И.А. Трусевич, С.В. Абдулов, И.А. Тараторкин, В.Б. Держанский // Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева. 2024. № 4. С. 114-125. EDN: ZNBCJW

## IMPROVING THE DESIGN OF WATER PUMPING EJECTION SYSTEM OF PROMISING AMPHIBIAN VEHICLE

**I.A. Trusevich**

ORCID: **0000-0002-6092-8762** e-mail: **trilal@bk.ru**

Joint-stock Company «Special design Bureau of machine building»

*Kurgan, Russia*

Institute of Engineering Science Ural Branch RAS

*Yekaterinburg, Russia*

**S.V. Abdulov**

ORCID: **0009-0003-1769-4520** e-mail: **sincopa2004@mail.ru**

Joint-stock Company «Special design Bureau of machine building»

*Kurgan, Russia*

**I.A. Taratorkin**

ORCID: **0000-0003-3836-6238** e-mail: **ig\_tar@mail.ru**

Institute of Engineering Science Ural Branch RAS

*Yekaterinburg, Russia*

**V.B. Derzhansky**

ORCID: **0000-0003-1043-8340** e-mail: **dvb\_47@mail.ru**

Institute of Engineering Science Ural Branch RAS

*Yekaterinburg, Russia*

**Abstract.** The paper presents the improved design of the ejection water pumping system of a promising amphibious vehicle. A series of simulation calculations is carried out in a software package based on multiphysical modeling methods STAR-CCM+. Based on their results, the model of the existing ejection water pumping system of a serial amphibious vehicle is verified and the high convergence of the data obtained by modeling is confirmed. A model of the ejection water pumping system of a promising amphibious vehicle is being developed. The influence of the location of a row of holes in the pressure pipe of a water-jet propulsion unit, the number of rows, the number of holes in each of them and their diameters, the chamfer angle at the inlet section of the hole, the inlet and outlet diameters of the holes on the performance of the ejection water pumping system is considered and analyzed. Based on the results of a series of simulation calculations, the parameters were determined, allowing the highest productivity of the ejection water pumping system. Productivity is increased by 1,29 times compared to the original version, and the resistance of the suction path is reduced by 1,97 times. Tests of an improved ejection water pumping system is confirmed the simulation results.

**Key words:** water-jet propulsion, water pumping, dewatering, ejection effect, amphibious vehicle, simulation, CFD, modeling, verification, experimental research, prediction.

**FOR CITATION:** I.A. Trusevich, S.V. Abdulov, I.A. Taratorkin, V.B. Derzhansky. Improving the design of water pumping ejection system of promising amphibian vehicle. Transactions of NNSTU n.a. R.E. Alekseev. 2024. № 4. Pp. 114-125. EDN: ZNBCJW

### Введение

В настоящее время амфибийные машины широко востребованы в военной и гражданской сферах, активно используются в различных родах войск Вооруженных Сил и отраслях народного хозяйства. Одним из ключевых требований к ним является *живучесть* – способность противостоять в процессе преодоления водных преград эксплуатационным и другим повреждениям, максимально возможно восстанавливая или поддерживая при этом с помощью экипажа свои водоходные качества. Живучесть определяется при работе на плаву, в первую очередь, непотопляемостью, под которой понимается свойство поврежденной машины сохранять плавучесть, остойчивость, ходкость и управляемость при поступлении в корпус забортной воды до выхода на берег. Поступление в корпус забортной воды сопровож-

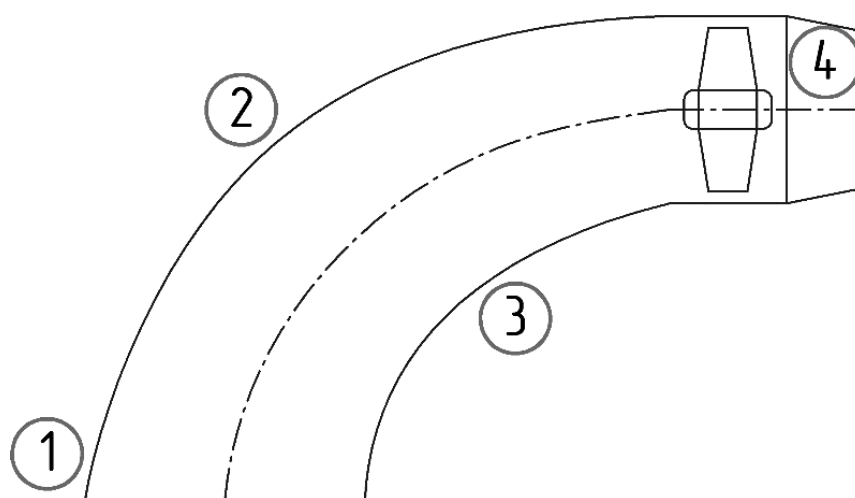
дается уменьшением запаса плавучести, скорости и устойчивости на курсе, изменением дифферента и крена, ухудшением работы некоторых систем и механизмов амфибийной машины. Если не предпринять своевременных мер по прекращению заливания и откачке поступающей жидкости, оно может привести к затоплению изделия.

Несмотря на то, что живучесть амфибийных машин зависит от многих конструктивных и эксплуатационных качеств, определяющими являются запас плавучести и производительность водооткачивающих средств. Повышение запаса плавучести за счет увеличения водонепроницаемого объема корпуса позволяет повысить весовую нагрузку машины на плаву, но ограничивается рядом требований, в первую очередь, габаритами изделия, и приводит к увеличению парусности амфибийной машины. Поэтому основным подходом к повышению живучести амфибийных машин на плаву является использование нескольких водооткачивающих насосов с большой подачей с приводом от основного двигателя машины и насосов с электроприводами от аккумуляторных батарей для откачки воды при неработающем основном двигателе [1-3]. Основным назначением водооткачивающих средств является обеспечение нормальных условий для работы всех узлов и агрегатов амфибийной машины за счет своевременного удаления воды, просачивающейся в корпус через уплотнения или из-за каких-либо дефектов в элементах герметизации корпуса.

Большинство работ, посвященных разработке и совершенствованию водооткачивающих систем, относятся к корабельной тематике [4], в них обсуждаются существующие стандарты и требования к системам водооткачки, рассматриваются стационарные и погружные водооткачивающие системы, оценивается производительность насосов, подтверждается обеспечение требуемых величин по известным показателям производительности водооткачки и начального уровня воды, а также выполняется разработка и проектирование систем управления [5-11]. В качестве водооткачивающих средств на плавающих машинах применяют насосы различного типа [12-14]. Для большинства амфибийных машин более предпочтительны насосы с большой подачей и умеренным напором – центробежные или осевые. Как и корабли, большинство амфибийных машин оснащены подобными системами водооткачки, основной подход к которым описан выше – ААV-7 (LVTP-7), M113, *Bandvagn 206*, *MOWAG Piranha*, *Bradley*, двухзвенные транспортеры семейства «Витязь», МТ-ЛБ и др. Однако для повышения живучести амфибийных машин на плаву могут быть использованы водометные движители, являющиеся наиболее распространенными и широко применяемыми на современных амфибийных машинах водоходными движителями, за счет установки эжекционных систем водооткачки, использующих разрежение в водоводе для откачки воды из корпуса. Эти системы, как правило, обладают большей производительностью, чем насосы, и существенно меньшими затратами мощности, но реализованы на сравнительном небольшом числе амфибийных машин – БРДМ, некоторых образцах семейства БТР, БМП-3.

### **Конструкция и расчет эжекционных систем водооткачки**

Определяющим параметром эффективности эжекционной системы водооткачки является место подсоединения к водометному движителю. Их возможные расположения показаны на рис. 1. Подсоединение в выходном напорном патрубке (4) с использованием эжектирующего эффекта потока воды, имеющего высокую скорость, обладает рядом преимуществ перед подсоединением к входному участку водовода (1 – 3), т.к. в этом случае поток не оказывает влияния на работу насосного устройства. Помимо этого, при подсоединении (1 – 3) подсос воздуха вместе с водой приводит к ухудшению тяговых характеристик водометного движителя.



**Рис. 1. Возможные места подсоединения эжекционной системы водооткачки к водоводам водометного движителя**

**Fig. 1. Possible places for connecting the ejection water pumping system to the water pipes of the water jet propulsion system**

Как правило, на практике определение непосредственного места подсоединения трассы системы водооткачки к водоводу водомета осуществляется экспериментальным путем. Для этого выполняются измерения разрежения в предполагаемых местах подсоединения трассы системы водооткачки к водоводу водомета. Поскольку наибольшее разрежение соответствует областям водовода с максимальной скоростью воды, следует рассматривать участки водовода с наименьшей площадью сечения.

Если экспериментальное определение областей водовода с наибольшими разрежениями невозможно, допускается расчетный подход; составляется уравнение Бернулли, решая которое, можно определить величины разрежения в предполагаемых местах подсоединения трассы системы водооткачки к водоводу водомета:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma_B} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma_B} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_{\Pi} \quad (1)$$

где  $z_1$  и  $z_2$  – удельная потенциальная энергия положения частиц воды в двух сечениях относительно плоскости сравнения (геометрический напор  $H_{\text{геом}}$ );  $p_1/\gamma_B$  и  $p_2/\gamma_B$  – удельные потенциальные энергии давления, оцениваемые абсолютным давлением в данной частице воды и ее удельным весом (пьезометрический напор  $H_{\Pi}$ );  $\alpha_1 v_1^2/2g$  и  $\alpha_2 v_2^2/2g$  – удельные кинетические энергии, измеряемые средней скоростью потока в данном сечении (динамический напор  $H_{\text{дин}}$ );  $\alpha$  – коэффициент Кориолиса, принимаемый равным единице при равномерной скорости по всему сечению и больше единицы, когда распределение скоростей по сечению неравномерное;  $h_{\Pi}$  – потери удельной энергии в элементах системы.

Потеря энергии складывается из потерь в местных сопротивлениях элементов системы ( $h_m$ ) и потерь на преодоление трения жидкости о стенки трубопроводов ( $h_{\text{тр}}$ ):

$$h_{\Pi} = h_m + h_{\text{тр}} \quad (2)$$

Потери в местных сопротивлениях рассчитываются по формуле

$$\sum_1^n h_{mi} = \zeta_{m1} \frac{v_1^2}{2g} + \dots + \zeta_{mn} \frac{v_n^2}{2g} \quad (3)$$

где  $\zeta$  – коэффициенты местных сопротивлений элементов системы, определяемые по справочникам гидравлических сопротивлений.

Потери на преодоление трения могут быть найдены по формуле:

$$\sum_1^m h_{\text{тр}} = \lambda_1 l_1 v_1^2 / d_1 2g + \dots + \lambda_m l_m v_m^2 / d_m 2g \quad (4)$$

где  $l_i$  и  $d_i$  – длина и диаметр участка трубопровода;  $\lambda_i$  – коэффициент сопротивления трения по длине трубопровода.

Значение коэффициента трения  $\lambda$  определяется по формуле:

$$\lambda = 0,11(\Delta/D_r)^{0,25} \quad (5)$$

где  $D_r$  – гидравлический диаметр, равный  $4F/\chi$  ( $F$  – площадь поперечного сечения трубопровода,  $\chi$  – периметр сечения);  $\Delta$  – средняя шероховатость внутренней поверхности трубопровода.

Для уменьшения потерь в элементах эжекционной системы желательно общую длину трубопроводов делать как можно меньше, избегать значительных изгибов и изменения диаметров. Поэтому при оценке потерь в местных сопротивлениях и потерь на трение в трубопроводах допускается использовать средний диаметр трубопроводов и принимать коэффициент Кориолиса равным единице, что упрощает решение уравнения Бернулли. Скорости воды в каждом сечении трубопроводов принимаются равными  $v_i = Q_3/F_{\text{ср}}$ . Тогда, после необходимых подстановок, решение уравнения (1) относительно  $Q_3$  дает:

$$Q_3 = \sqrt{2gF_{\text{ср}}^2 [z_2 - z_1 + (p_2 - p_1)\gamma_w] / (\sum \zeta_i + \sum \lambda_i l_i / d_i)} \quad (6)$$

Расчет по этой формуле дает ориентировочное значение подачи эжекционной системы водооткачки при принятых допущениях. В дальнейшем, после проведения полноценных испытаний эжекционной системы водооткачки, данный узел можно совершенствовать, меняя место подключения к водомету, диаметр трубопроводов и число их вводов в водомет.

### Условия моделирования и верификация расчетной модели

Прогресс в развитии программного обеспечения, в том числе, для решения задач вычислительной газогидродинамики позволяет решать задачу совершенствования конструкции эжекционной системы водооткачки перспективной амфибийной машины методом численного моделирования. Данный подход обеспечивает большую точность, чем описанный выше рас-четный метод, и является существенно менее дорогостоящим по сравнению с проведением полноценных испытаний.

В рамках данного исследования выполнялось совершенствование эжекционной системы водооткачки перспективной амфибийной машины, с подсоединением в выходном напорном патрубке по схеме 4 на рис. 1. Изменение эжектирующего потока вследствие вариации параметров водовода, насосного колеса и направляющего аппарата не рассматривалось в данной работе. Изучалось влияние расположения и конструктивных параметров отверстий в выходном напорном патрубке. Расчетное исследование осуществлялось в программном пакете для инженерной симуляции на основе методов мультифизического моделирования STAR-CCM+. Динамическая вязкость и плотность задавались для воды при температуре 24° С:  $\mu = 8,8871 \cdot 10^{-4}$  Па·с;  $\rho = 997,561$  кг/м<sup>3</sup>.

Массовый расход воды для каждого расчетного случая определен по известному коэффициенту расхода при максимальной частоте вращения вала водометного движителя. Исключением является определение расхода усовершенствованной конструкции эжекционной системы водооткачки. В этом случае массовый расход был определен для каждого расчетного случая всего рабочего диапазона частоты вращения вала водометного движителя.

На первом этапе исследования была разработана модель существующей эжекционной системы водооткачки серийной амфибийной машины, с подсоединением к входному участку водовода по схеме 2 на рис. 1. При этом в качестве граничных условий задавались: массовый расход воды перед насосным колесом; стагнация на входе трассы всасывания системы водо-

откачки и окна водометного движителя. Выполнена серия симуляционных расчетов, проведена верификация расчетной модели, введены необходимые доработки и уточнения. Верификация модели выполнялась на основе сравнения показателей давления в характерных точках водометного движителя и массовых расходов системы водооткачки, полученных путем расчетного моделирования и в ходе испытаний на стенде и в объекте. Разработанная модель существующей эжекционной системы водооткачки серийной амфибийной машины продемонстрировала высокую сходимость сравниваемых параметров: расхождение по давлениям – не более 3 %, по расходам – не более 5 %.

### Совершенствование эжекционной системы водооткачки перспективной амфибийной машины

На данном этапе исследования была разработана модель эжекционной системы водооткачки перспективной амфибийной машины, с подсоединением в выходном напорном патрубке по схеме 4 на рис. 1. Один из вариантов конструкции, отличающийся от прочих только расположением и конструктивными параметрами отверстий, приведен на рис. 2. При этом в качестве граничных условий задавались: массовый расход воды после насосного колеса – на входе в направляющий аппарат; стагнация на входе трассы всасывания системы водооткачки; давление на выходе напорного патрубка водометного движителя. Выполнена серия симуляционных расчетов, результаты которых представлены и описаны ниже.

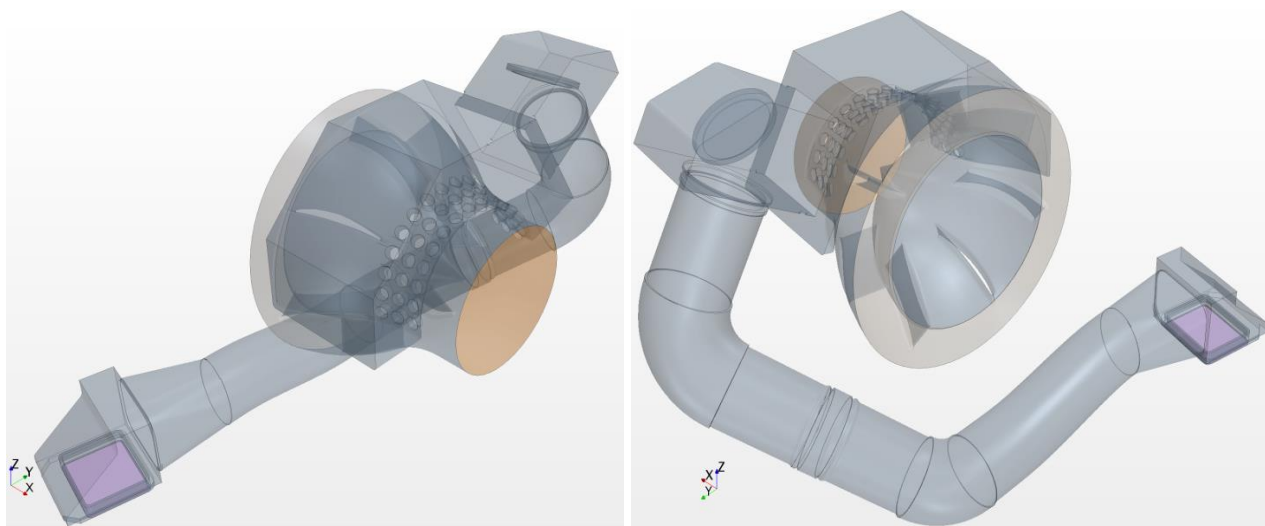
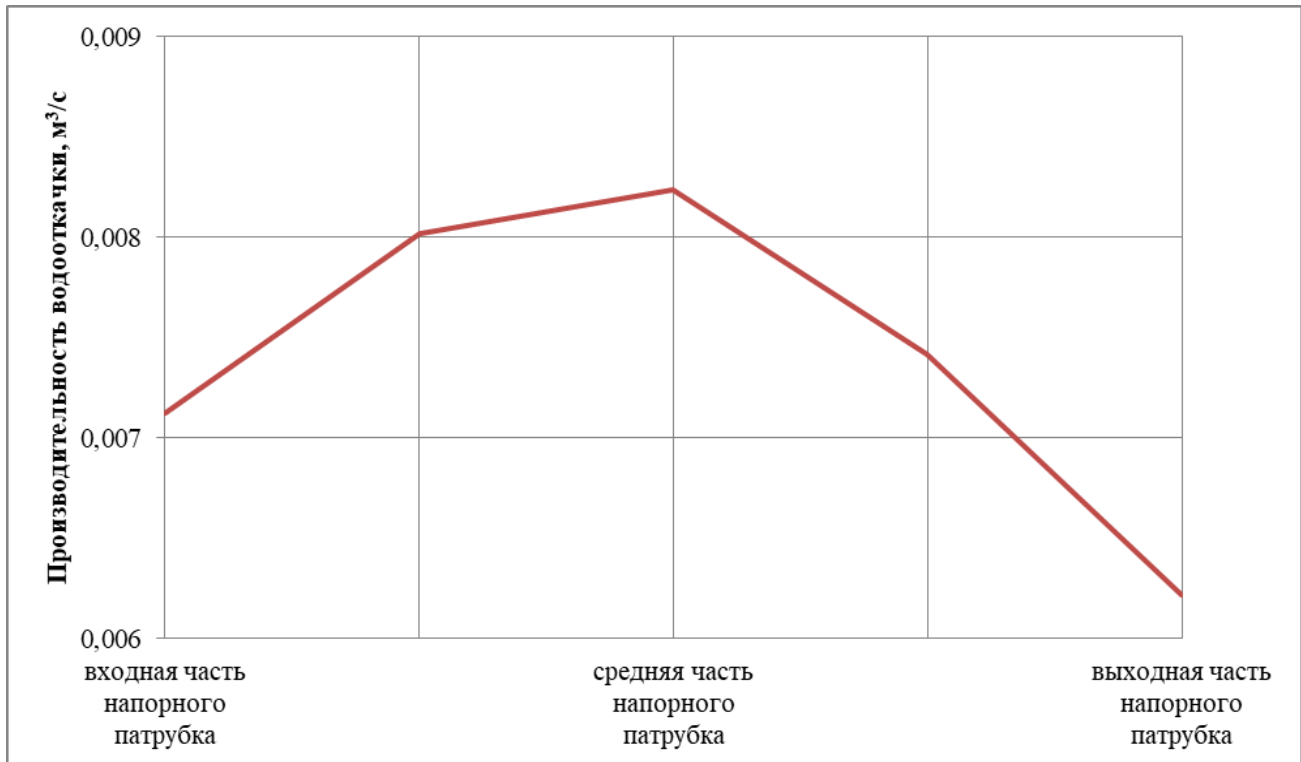


Рис. 2. Геометрическая модель одного из вариантов эжекционной системы водооткачки

Fig. 2. Geometric model of one of the options for an ejection water pumping system

На основе предварительного варианта конструктивной реализации эжекционной системы водооткачки с одним рядом отверстий была выполнена серия симуляционных расчетов для определения влияния расположения ряда в напорном патрубке на производительность водооткачки, результаты которых представлены на рис. 3.





**Рис. 3. Зависимость производительности водоткачки от расположения ряда отверстий в напорном патрубке**

**Fig. 3. The dependence of the pumping performance on the location of a number of holes in the pressure pipe**

Как следует из рис. 3, наилучшее расположение ряда отверстий – область окончания сужения диаметра напорного патрубка, соответствующая его средней части. После определения наилучшего варианта расположения ряда, исходя из обеспечения условий прочности и технологичности, было выполнено большое число симуляционных расчетов в диапазоне диаметров отверстий от 4 до 60 мм и их числа от 29 до 4 соответственно. Лишь в 5 случаях моделирования из 57 удалось обеспечить требуемую производительность системы водоткачки, поэтому были выполнены оценочные расчеты с большим числом рядов. Полученные результаты подтвердили необходимость рассмотрения большего числа рядов для обеспечения максимальной производительности системы водоткачки. На рис. 4 представлены результаты симуляционных расчетов для всего рассматриваемого диапазона диаметров и отверстий при числе рядов от 1 до 6.

Помимо представленных на рис. 4 вариантов, был выполнен расчет с 7 рядами и 29 отверстиями диаметром 4 мм – производительность системы водоткачки составила 0,010706 м³/с. На основе анализа результатов моделирования установлено, что из всех рассмотренных вариантов наибольшая производительность водоткачки обеспечивается при трехрядном исполнении конструкции, с 14 отверстиями диаметром 14 мм. Все дальнейшие симуляционные расчеты, направленные на повышение производительности эжекционной системы водоткачки проводились с выбранным вариантом.

На рис. 5 представлены результаты моделирования с различными углами фаски, расположенной на входе отверстия. Для повышения наглядности, на данном графике демонстрируется изменение производительности водоткачки. Наибольший положительный эффект наблюдается при угле фаски 30°.

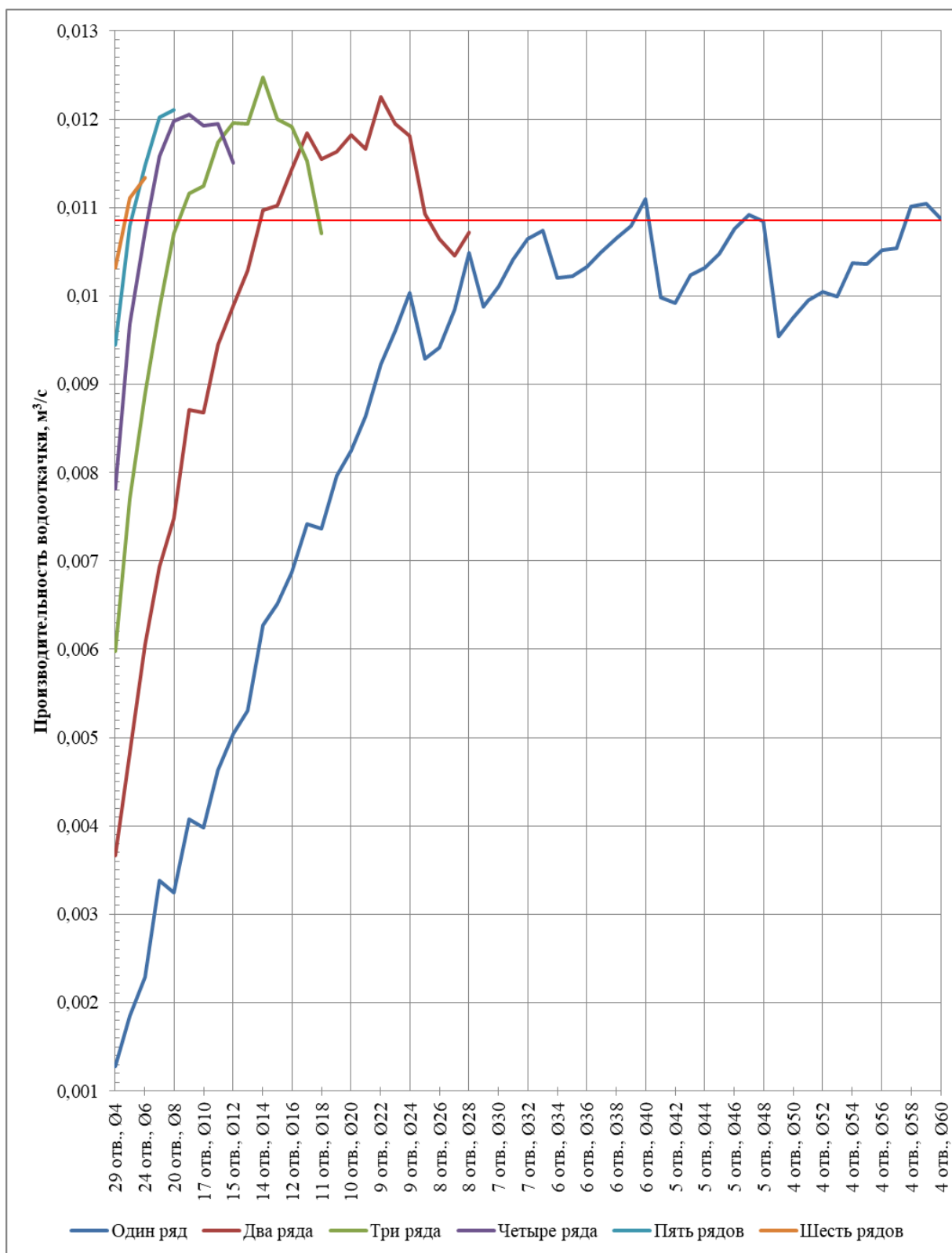
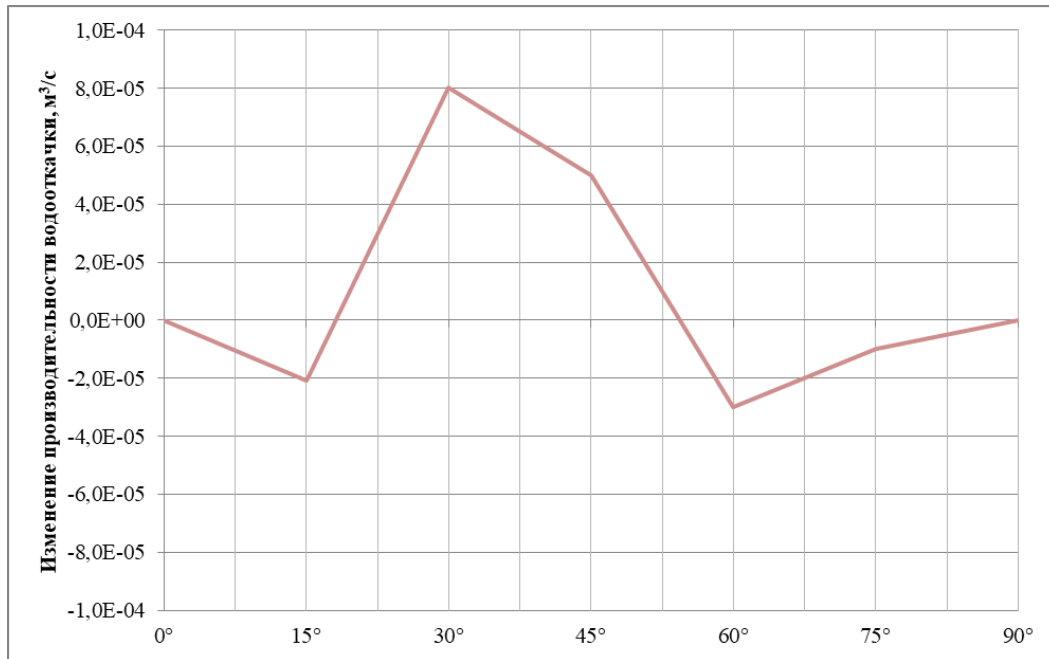


Рис. 4. Зависимость производительности водооткачки от конструктивных параметров: числа рядов, отверстий и их диаметров

Fig. 4. The dependence of the pumping performance on the design parameters: the number of rows, holes and their diameters

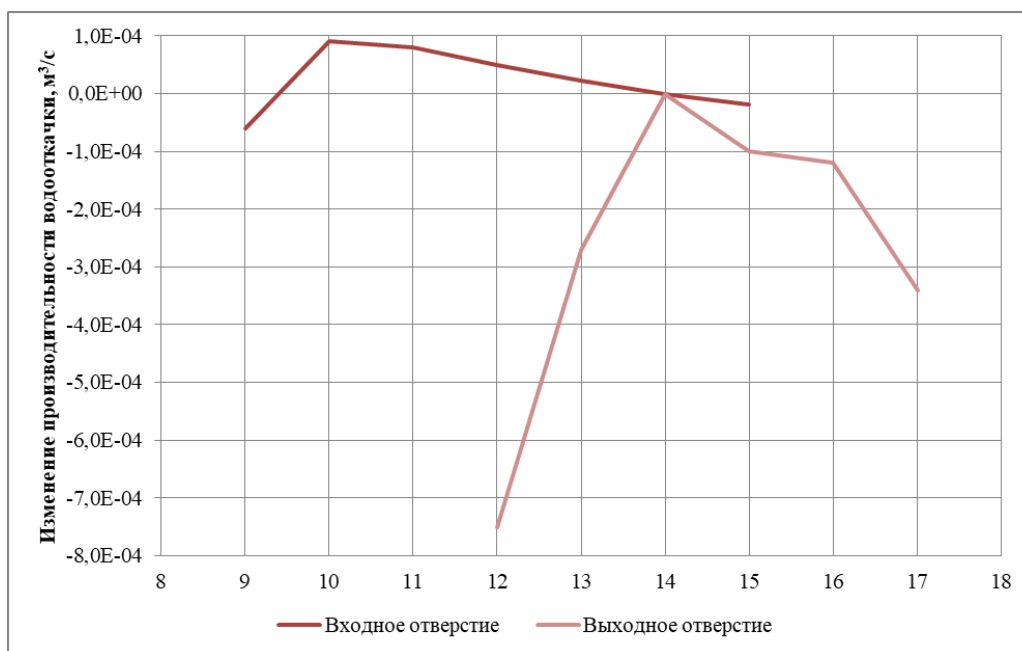




**Рис. 5. Зависимость производительности водооткачки от угла фаски на входе отверстия**

**Fig. 5. The dependence of the pumping performance on the chamfer angle at the inlet of the hole**

На рис. 6 представлены результаты моделирования конического отверстия с различными диаметрами входного и выходного сечения.



**Рис. 6. Зависимость производительности водооткачки от диаметров отверстий**

**Fig. 6. The dependence of the pumping performance on hole diameters**

Как и в предыдущем случае, для повышения наглядности на данном графике демонстрируется изменение производительности водооткачки. Наилучший эффект достигается при диаметре входного отверстия 10 мм и выходного 14 мм. Необходимо отметить, что в рамках работы рассматривались не только круглые, но и прямоугольные отверстия. При таком подходе в напорном патрубке после направляющего аппарата был удален весь материал сектора водооткачки – образовано окно, в дальнейшем туда последовательно вводились продольные

и поперечные ребра, вплоть до величины сторон отверстий – не более 5 мм, но такая конструкция несоизмеримо более сложна в изготовлении, а полученный расход не превышал  $0,012 \text{ м}^3/\text{с}$ . Также, помимо работ, связанных с определением расположения и конструктивных параметров отверстий в выходном напорном патрубке, в рамках исследования была проведена серия расчетов и достигнуто снижение сопротивления трассы всасывания системы водооткачки в 1,97 раз. Характеристика доработанной эжекционной системы водооткачки приведена на рис. 7. Красная горизонтальная линия – требуемый уровень производительности водооткачки. Совокупность принятых решений позволила обеспечить требуемый уровень производительности эжекционной системы водооткачки при частоте вращения вала водометного движителя более 2812 об/мин. В исходной конструкции при максимальной частоте вращения вала водометного движителя производительность эжекционной системы водооткачки составляла  $0,009674 \text{ м}^3/\text{с}$  – требуемый уровень не обеспечивался.

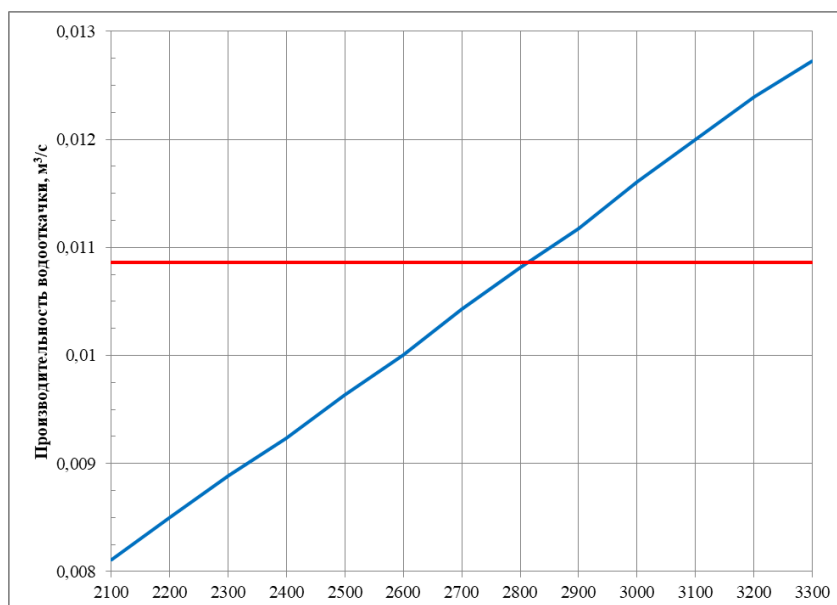


Рис. 7. Зависимость производительности водооткачки от частоты вращения

Fig. 7. The dependence of the pumping performance on the speed of rotation

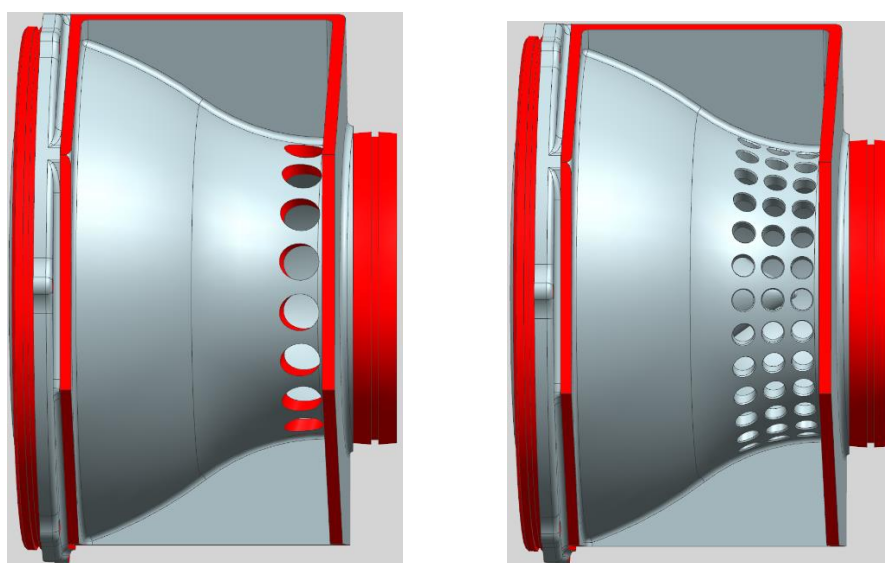


Рис. 8. Исходная и доработанная конструкции напорного патрубка водометного движителя

Fig. 8. Initial and modified design of the pressure pipe of the water jet propulsion

На рис. 8, слева и справа соответственно, представлены исходная и доработанная конструкции напорного патрубка водометного движителя.

### Испытания усовершенствованной конструкции эжекционной системы водооткачки

Для проверки усовершенствованной эжекционной системы водооткачки и окончательной валидации расчетной модели проведены испытания по определению производительности водооткачивающих средств при откачке воды, проникшей внутрь корпуса перспективной амфибийной машины при преодолении водной преграды.

В ходе испытаний в полностью укомплектованное изделие заливалось мерное количество воды, частота вращения вала водометного движителя выводилась на максимальный уровень, включались водооткачивающие средства и фиксировалось время их функционирования. При этом, в процессе испытаний, с целью исключения подсоса воздуха, в амфибийной машине обеспечивался уровень воды не ниже входных отверстий трассы всасывания. Расхождение результатов моделирования и проведенных испытаний 5 %, как и в случае с уже существующей эжекционной системой водооткачки серийной амфибийной машины.

### Выводы

В рамках данной работы усовершенствована конструкция эжекционной системы водооткачки перспективной амфибийной машины. В результате выполненных исследований:

1) разработаны и верифицированы модели эжекционной системы водооткачки серийной и перспективной амфибийных машин;

2) для эжекционной системы водооткачки перспективной амфибийной машины определены параметры рядов и отверстий, позволяющие обеспечить наибольшую производительность: 3 ряда, 14 отверстий  $\text{Ø}14$  с фаской  $1 \times 30^\circ$ ;

3) на основании сравнительного моделирования достигнуто снижение сопротивления трассы всасывания эжекционной системы водооткачки перспективной амфибийной машины в 1,97 раз;

4) производительность эжекционной системы водооткачки перспективной амфибийной машины по сравнению с исходным вариантом увеличена в 1,29 раз, обеспечив требуемый уровень при частоте вращения вала водометного движителя более 2812 об/мин;

5) установлено, что расхождение данных, полученных путем моделирования и в результате проведенных испытаний усовершенствованной конструкции эжекционной системы водооткачки перспективной амфибийной машины, составляет 5 %, что очевидно является завышенным по отношению к реальному в связи со способом фиксации времени функционирования системы при испытаниях вручную.

### Библиографический список

1. **Степанов, А.П.** Проектирование амфибийных машин / А.П. Степанов. – М.: Мегалион, 2007. – 420 с.
2. **Степанов, А.П.** Конструирование и расчет плавающих машин / А.П. Степанов. – М.: Машиностроение, 1983. – 200 с.
3. **Егоров, Д.Г.** Самоходные переправочные средства и средства моторизации переправ. Часть II / Д.Г. Егоров, А.А. Муратов, Л.Е. Ходонович. – М.: Издание ВИА, 1965.
4. **Eyres, D.J.** Pumping and piping arrangements / D.J. Eyres, G.J. Bruce // In book: Ship Construction. 2012. DOI: 10.1016/B978-0-08-097239-8.00026-X
5. **Lee, K.W.** Proposed Design Criteria For A Bilge Pumping System: A Case Study Of Large Bulk Carrier / K.W. Lee, G.Y. Han, J.W. Seo, J.H. Choi, M.E. Kim // International Journal of Maritime Engineering. 2022. Vol. 164, No. A3. Pp. 283-293. DOI: 10.5750/ijme.v164iA3.793

6. **Lee, K.W.** Proposed Design Criteria for a Bilge Pumping System for Large Container Ships / K.W. Lee, G.Y. Han, M.E. Kim // International Journal of Maritime Engineering. 2021. Vol. 163, no. A2. DOI: 10.5750/ijme.v163iA2.758
7. **Zhu, F.** Experimental research on similarity deviation between prototype and model pumping systems / F. Zhu, R. Zhang, X. Liu, H. Chen, M. Sun, W. Zhou // Journal of Physics: Conference Series. 2024. Vol. 2707. DOI: 10.1088/1742-6596/2707/1/012028
8. **Saridu, M.** Maintenance of Bilge Pump on Ship Trawl SPL IX Owned PT. Sinar Pesona Laut / M. Saridu, B. Ziliwu // Jurnal Natur Indonesia. 2022. Vol. 20, no. 2. Pp. 35-40. DOI: 10.31258/jnat.20.2.35-40
9. **Prayoga W, B.R.** Prototipe sistem pengendalian dan pemantauan cargo hold bilge kapal dengan metode decision tree berbasis mikrokontroler / B.R. Prayoga W, P. Asri, E.P Hidayat, A.T. Nugraha, D.I.Y. Agna // Jurnal 7 Samudra. 2023. Vol. 8, no. 2. Pp. 25-40. DOI: 10.54992/7samudra.v8i2.130
10. **Karunanayake, M.** Indigenously Designed Addressable Bilge Alarm System for Naval Vessels. / M. Karunanayake, S. Nanayakkara, A. Bamunusungha Aarachchi // Proceedings of the 15th International Research Conference Economic Revival, National Security, and Sustainability through Advancement of Science, Technology, and Innovation, 29-30 September 2022, General Sir John Kotelawala Defense University, Ratmalana, Sri Lanka. 2022. Pp. 100-104.
11. **Pawara, M U.** Bilge System Design on 500 GT Ferry for Bulukumba–Selayar Route / M.U. Pawara, W. Setiawan, R.J. Ikhwan, Alamsyah, A.I. Wulandari, Suardi, A.M. Nugraha A, T. Hidayat, M.I. Anso-ri, F. Mahmuddin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 921. DOI: 10.1088/1755-1315/921/1/012010
12. **Pellegrini, C.** A preliminary investigation on the operational efficiency of centrifugal pumps operating in single-branch, single-pump systems / C. Pellegrini, J. Pedrera-Yanes, O. Llanes-Santiago, G. Vilakta-Alonso // Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering. 2024. 46. DOI: 10.1007/s40430-024-04731-2
13. **Huseynli, Z.** Improving the performance indicator of centrifugal pumps // Equipment. Technologies. Materials. 2024. Vol. 19 (06), iss. 01. Pp. 05-14. DOI: 10.36962/ETM19012024-05
14. **McGeorge, H.D.** Pumps and pumping. In book: Marine Auxiliary Machinery. 1995. DOI: 10.1016/B978-0-7506-1843-4.50009-4

*Дата поступления  
в редакцию: 13.06.2024*

*Дата принятия  
к публикации: 25.10.2024*