



МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ КОМПОНЕНТЫ

УДК 629.5.036

Д.Н. БРАИМ

аспирант кафедры «Гидротехническое и энергетическое строительство, водный транспорт и гидравлика»¹
E-mail: dmitrybraim@gmail.com

И.В. КАЧАНОВ, д-р техн. наук, проф.

заведующий кафедрой «Гидротехническое и энергетическое строительство, водный транспорт и гидравлика»¹
E-mail: hidrokaf@bntu.by

А.В. ВОЛКОВ, д-р техн. наук, проф.

заведующий кафедрой «Гидромеханика и гидравлические машины» им. В.С. Квятковского²
E-mail: VolkovAV@mpei.ru

И.М. ШАТАЛОВ

старший преподаватель кафедры «Гидротехническое и энергетическое строительство, водный транспорт и гидравлика»¹
E-mail: hidrokaf@bntu.by

А.П. АФАНАСЬЕВ

директор³
E-mail: aleks.afanassiev@gmail.com

А.В. ФИЛИПЧИК, канд. техн. наук, доц.

доцент кафедры «Энергоэффективные технологии»⁴
E-mail: filip4ik@tut.by

¹Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

²Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва, Российская Федерация

³ОАО «Белсудопроект», г. Гомель, Республика Беларусь

⁴Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова Белорусского государственного университета, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 02.10.2025.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ВОДОЗАБОРНОГО УСТРОЙСТВА ВОДОМЕТНОГО ДВИЖИТЕЛЯ С РАЗЛИЧНОЙ ФОРМОЙ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ

В статье приведены результаты лабораторных гидравлических исследований водозаборников судовых водометных движителей с различной формой и размерами поперечного сечения. На внутренних водных путях Республики Беларусь из-за климатических изменений образуются мелководные участки, представляющие серьезную проблему для эксплуатации флота, одним из вариантов повышения эффективности которой в условиях мелководья является применение водометных движителей, обеспечивающих движение судов с заданной скоростью. Однако общим недостатком всех современных водометных движителей является невысокий коэффициент полезного действия из-за высоких гидравлических потерь напора. Анализ результатов, достигнутых в лаборатории центра технической гидромеханики и гидромашин кафедры «Гидротехническое и энергетическое строительство, водный транспорт и гидравлика» Белорусского национального технического университета (ГЭСВТГ БНТУ) на поворотных участках пульпопроводов и лафетных пожарных стволов для пожаротушения, показал, что снижение гидравлического сопротив-

ления на этих участках может быть достигнуто, в рамках постоянной площади, путем изменения формы и размеров их поперечного сечения [1–3]. Для проведения исследований в качестве прототипа была выбрана конструкция водозаборника полнопорного водометного движителя с круглой формой поперечного сечения, представляющего собой два поворотных участка (входной и выходной), соединенных между собой проточной частью. Указанная конструкция водометного движителя широко используется на современных судах для эксплуатации в условиях мелководья. Для повышения эффективности по тяговой характеристике в конструкции прототипа была модифицирована проточная часть с поворотными участками путем замены круглого сечения на равновеликое по площади сечение, имеющее квадратный, прямоугольный, эллиптический и овалный профили. С этой целью были проведены лабораторные гидравлические исследования с моделями водозаборников круглого (стандартного), прямоугольного, эллиптического и овалного сечений. Гидравлические исследования были проведены на моделях водозаборника, изготовленных в масштабе 1:30 в Центре технической гидромеханики и гидромашин кафедры ГЭСВТГ БНТУ. Проведенные лабораторные гидравлические исследования показали, что оптимальной формой поперечного сечения водозаборника является некруглая (прямоугольная, эллиптическая, овальная). Подобная геометрия водозаборника позволила увеличить расход и скорость воды в среднем на 8–10 % по сравнению с круглым сечением. Установленное увеличение расхода и скорости воды позволяет сделать вывод о возможном повышении тяговой характеристики водометного движителя на 3–5 %.

Ключевые слова: водный транспорт, водометный движитель, водозаборник, сечение, соотношения осей, парный вихрь, лабораторные исследования, опытная установка, стенд

DOI: <https://doi.org/10.46864/1995-0470-2026-2-75-44-51>

Введение. В настоящее время на внутренних водных путях Республики Беларусь эксплуатируются различные водные транспортные средства: пассажирские, грузовые и маломерные суда. Внутренние водные пути республики характеризуются мелководьем, поэтому большинство судов, эксплуатируемых на них, используют водометный движитель. Принципиальная схема судового водометного движителя [4] представлена на рисунке 1. Водометный движитель судна состоит из трех основных частей: водозаборника в виде проточной части с одним или двумя поворотными участками 1; насосной части в виде лопастной турбины (или гребного винта) 2; выходного сопла различной конструкции 3.

В зависимости от направления входа потока в водозаборник различают две конструктивные схемы, показанные на рисунке 2. Причем водозаборник полнопорного водометного движителя

выполняется с двумя поворотными участками, а статический — с одним.

Основным недостатком водометного движителя является меньший коэффициент полезного действия (КПД) по сравнению с классическим гребным винтом особенно на малых скоростях хода судна.

Анализ научно-технической литературы, научных статей и патентно-информационных источников показал, что вопрос повышения КПД водометных движителей является весьма актуальным [4–19]. Повышение КПД водометного движителя достигается за счет увеличения его тяги, что может осуществляться одним из следующих путей: установка специальных струнаправляющих устройств, установка дополнительных ступеней, использование двухрядных лопастных систем, увеличение количества входных отверстий и водозаборников. Недостатками приведенных спосо-

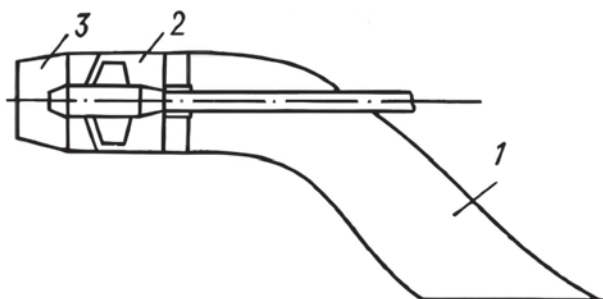


Рисунок 1 — Принципиальная схема водометного движителя [4, 5]: 1 — водозаборник; 2 — насосная часть; 3 — выходное сопло

Figure 1 — Schematic diagram of a water-jet propulsor [4, 5]: 1 — water intake; 2 — pumping part; 3 — outlet nozzle

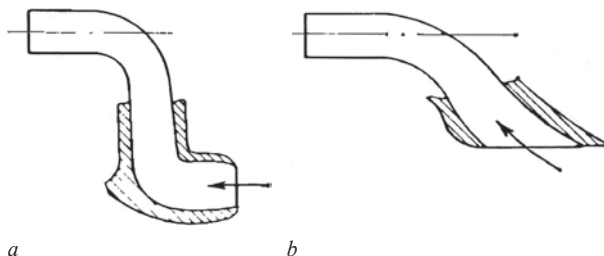


Рисунок 2 — Конструктивные схемы водозаборников [4, 5]: а — полнопорный водометный движитель; б — статический водометный движитель (стрелка указывает направление потока воды в водозаборнике)

Figure 2 — Design schemes of water intakes [4, 5]: а — full-pressure water-jet propulsor; б — static water-jet propulsor (arrow indicates the direction of water flow in the intake)

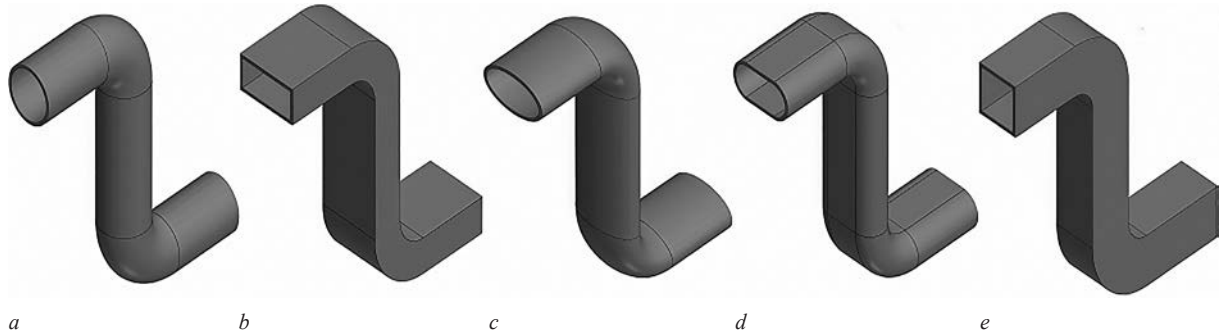


Рисунок 3 — Модели полнонапорного водозаборника различных сечений: *a* — круглое; *b* — прямоугольное; *c* — эллиптическое; *d* — овальное; *e* — квадратное

Figure 3 — Models of full-pressure water intake of various cross-sections: *a* — circular; *b* — rectangular; *c* — elliptical; *d* — oval; *e* — square

бов повышения тяги и КПД являются усложнение конструкции, увеличение затрат на обслуживание и ремонт, негативное влияние на экологию (при установке более мощных двигателей).

Еще одним перспективным способом повышения тяги и, как следствие, КПД водометного движителя является снижение гидравлического сопротивления водозаборника. Основным местом, где возникает повышенное гидравлическое сопротивление, являются поворотные участки водозаборника. Повышенное гидравлическое сопротивление на поворотных участках возникает из-за образования так называемого «парного вихря», который является следствием действия моментов центробежных сил на поворотных участках [11]. На образование «парного вихря» непрерывно расходуется энергия жидкости, т. е. теряется напор, что и приводит к повышению гидравлического сопротивления.

Ранее на кафедре ГЭСВТГ БНТУ были проведены компьютерное моделирование и гидравлические исследования влияния формы поперечных сечений поворотных участков проточной части лафетных стволов и пульпопроводов земснарядов на величину их гидравлического сопротивления [1–3]. В лабораторных условиях были исследованы проточная часть лафетных стволов и пульпопроводы с поворотными участками круглой, прямоугольной и овальной формы поперечного сечения с различным соотношением осей. Исследования показали, что оптимальной формой поперечного сечения поворотного участка проточной части является овальная с соотношением осей 1:2–1:4.

Анализ результатов, достигнутых в лаборатории Центра технической гидромеханики и гидромашин кафедры ГЭСВТГ БНТУ, показал, что снижение гидравлического сопротивления водозаборника может быть достигнуто также путем изменения его геометрии, а именно формы и размеров поперечного сечения. Для выбора оптимальной формы поперечного сечения водозаборника были проведены лабораторные гидравлические исследования в Центре технической гидромеханики и гидромашин кафедры ГЭСВТГ БНТУ.

Методы исследования. Объектами исследования являлись модели водозаборников водометного движителя, которые имели различную геометрическую форму: круглую, квадратную, прямоугольную, эллиптическую, овальную. Цифровые твердотельные модели водозаборников в масштабе 1:30 были разработаны с использованием системы автоматизированного проектирования (САПР) «КОМПАС-3D» и имели следующие размеры:

- диаметр (только для круглой трубки) — 30 мм;
- длина входного патрубка — 50 мм;
- длина вертикальной части водозаборника — 85 мм;
- длина выходного патрубка — 50 мм;
- угол поворота нижнего и верхнего коленьев — 90°;
- радиус поворота колена — 30 мм;
- площадь поперечного сечения водозаборника (включая поворотные колени) — 706 мм²;
- соотношение осей 1:2,25 (исключая круглый и квадратный).

Разработанные цифровые модели представлены на рисунке 3.

После разработки цифровых твердотельных 3D-моделей были изготовлены экспериментальные образцы водозаборников из прозрачного пластика PLA (полилактид) с помощью технологии 3D-печати, представленные на рисунке 4.

Для установки, закрепления, быстрой смены изготовленных моделей водозаборников и проведения гидравлических исследований был разработан, сконструирован и изготовлен специальный стенд, представленный на рисунке 5.

Гидравлические исследования изготовленных образцов водозаборников проводились в лаборато-



Рисунок 4 — Изготовленные модели водозаборников различных сечений: 1 — круглое; 2 — прямоугольное; 3 — эллиптическое; 4 — овальное

Figure 4 — Manufactured models of water intakes of various cross-sections: 1 — circular; 2 — rectangular; 3 — elliptical; 4 — oval

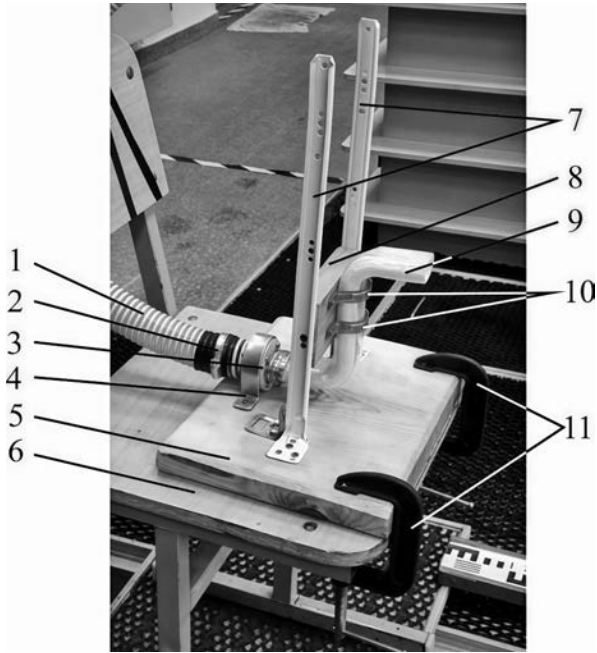


Рисунок 5 — Стенд, предназначенный для установки и закрепления моделей водозаборников: 1 — гибкий шланг; 2 — хомут; 3 — переходник; 4 — большая двухлапковая скоба; 5 — опорная плита; 6 — крышка стула; 7 — вертикальные стойки; 8 — деревянная перекладина; 9 — модель водозаборника; 10 — малые двухлапковые скобы; 11 — струбцины

Figure 5 — Bench designed for installing and securing models of water intakes: 1 — flexible hose; 2 — clamp; 3 — adapter; 4 — large two-flap bracket; 5 — base plate; 6 — chair cover; 7 — vertical racks; 8 — wooden crossbar; 9 — water intake model; 10 — small two-flap brackets; 11 — clamps

рии центра технической гидромеханики и гидромашин кафедры ГЭСВТГ БНТУ на специальной опытной установке, схема которой представлена на рисунке 6.

Гидравлические исследования проводились в следующей последовательности. Из резервуара 1 центробежный насос 2 по трубе 3 наполнял

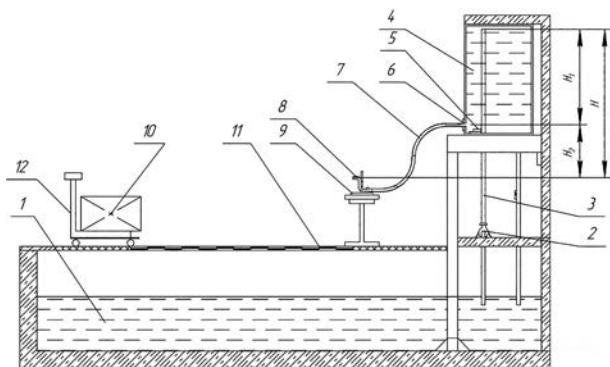


Рисунок 6 — Опытная установка для проведения лабораторных исследований моделей водозаборников: 1 — резервуар; 2 — центробежный насос; 3 — труба; 4 — напорный бак; 5 — запорный поворотный клапан; 6 — круглое отверстие; 7 — гибкий шланг; 8 — модель водозаборника; 9 — стенд; 10 — емкость для воды; 11 — горизонтальная измерительная рейка; 12 — электронные весы

Figure 6 — Experimental installation for laboratory studies of water intake models: 1 — reservoir; 2 — centrifugal pump; 3 — pipe; 4 — pressure tank; 5 — shut-off rotary valve; 6 — round hole; 7 — flexible hose; 8 — water intake model; 9 — bench; 10 — water tank; 11 — horizontal measuring rail; 12 — electronic scales

напорный бак 4 до постоянной отметки уровня воды (напора) в напорном баке $H_1 = 1,27$ м. Далее открывался поворотный клапан 5 и через отверстие 6 по гибкому шлангу 7 (закрепленному в отверстии 6) вода подавалась в модель водозаборника 8, установленного на стенде 9, из которого вылетала в атмосферу в виде сформированной струи различной формы. В процессе проведения эксперимента измерялись расход вытекающей воды Q (л/с) и дальность полета струи l (см), которые позволили предварительно оценить снижение гидравлического сопротивления водозаборника и предположить увеличение тяги водометного движителя в целом.

Расход воды Q на выходе из модели водозаборника определялся объемно-весовым методом с использованием формулы расхода (1):

$$Q = \frac{m_v}{t}, \quad (1)$$

где m_v — масса (кг) или объем (л) воды при ее плотности $\rho = 1000$ кг/м³; t — время истечения, с.

Измерение массы воды осуществлялось электронными весами модели МП 150 МЖА Ф-3 «Красная армия» производства ООО «МИДЛиК» (Россия) с пределом погрешности ± 20 г. Время наполнения емкости измерялась электронным секундомером с пределом погрешности $\pm 0,1$ с.

В процессе обработки полученных данных определялась скорость падающей струи v , м/с на выходе из модели водозаборника с использованием уравнения расхода (2):

$$v = \frac{Q}{\omega}, \quad (2)$$

где Q — расход воды на выходе из модели водозаборника, л/с; ω — площадь поперечного сечения модели водозаборника, м².

Дальность полета струи l измерялась мерной рейкой 11, один конец которой совпадал с выходным отверстием модели водозаборника, с пределом погрешности $\pm 0,5$ см.

В процессе лабораторных исследований вышеназванные параметры (Q и l) постоянно фиксировались при различных значениях действующего напора H , который изменялся в пределах от 3,07 до 2,4 м со средним шагом 0,2 м.

Результаты исследований. Результаты экспериментальных исследований моделей водозаборников при разных уровнях напора в напорном баке приведены в таблице.

Исходя из данных таблицы, построены графики зависимости расхода воды от напора $Q = f(H)$ и скорости воды от напора $v = f(H)$, которые представлены на рисунках 7 и 8 соответственно.

Анализ полученных результатов показал, что водозаборник, имеющий отличную от круглой форму (квадратную, овальную, эллиптическую или прямоугольную), является более оптималь-

Таблица — Результаты лабораторных исследований моделей водозаборников при разных уровнях напора в напорном баке
 Table — Results of laboratory studies of models of water intakes at different pressure levels in the pressure tank

Напор, м	Вид поперечного сечения водозаборника	Средняя скорость на выходе, м/с	Средний расход на выходе, л/с	Дальность полета струи, см
3,07	Круглое	3,48	2,46	152
	Квадратное	3,51	2,48	154
	Овальное	3,71	2,62	160
	Эллиптическое	3,74	2,64	162
	Прямоугольное	3,81	2,69	168
2,90	Круглое	3,33	2,35	148
	Квадратное	3,43	2,42	152
	Овальное	3,46	2,44	156
	Эллиптическое	3,64	2,57	160
	Прямоугольное	3,65	2,58	160
2,80	Круглое	3,13	2,21	142
	Квадратное	3,34	2,36	146
	Овальное	3,38	2,39	150
	Эллиптическое	3,48	2,46	154
	Прямоугольное	3,51	2,48	156
2,60	Круглое	3,02	2,13	134
	Квадратное	3,19	2,25	138
	Овальное	3,29	2,32	144
	Эллиптическое	3,30	2,33	146
	Прямоугольное	3,36	2,37	150
2,40	Круглое	2,99	2,11	130
	Квадратное	3,02	2,13	132
	Овальное	3,19	2,25	138
	Эллиптическое	3,21	2,27	140
	Прямоугольное	3,19	2,25	138

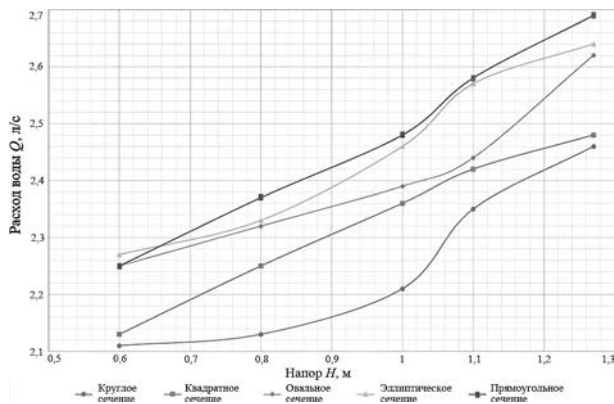


Рисунок 7 — Зависимости расхода воды от напора для различных геометрических форм водозаборника
 Figure 7 — Dependencies of water flow on pressure for different geometric shapes of the water intake

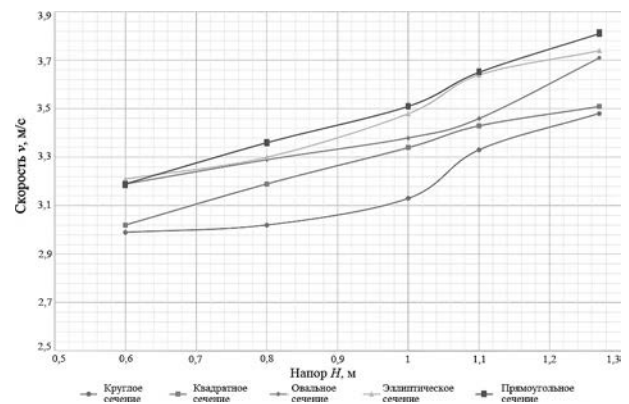


Рисунок 8 — Зависимости скорости воды от напора для различных геометрических форм водозаборника
 Figure 8 — Dependencies of water velocity on pressure for different geometric shapes of the water intake

ным с точки зрения гидравлических потерь. Увеличение расхода, скорости и дальности полета струи в среднем составило 8–10 % по сравнению с круглым, что можно объяснить уменьшением потерь энергии жидкости на образование «парного вихря» и, как следствие, снижением гидравлического сопротивления водозаборника в целом

[1, 14]. «Парный вихрь», возникающий в водозаборнике круглого поперечного сечения, имеет форму сплюснутых круговых поверхностей с большими моментом инерции и площадью поверхности контакта, что, по нашему предположению, существенно увеличивает гидравлическое сопротивление водозаборника.

В моделях водозаборников с соотношением осей 1:2,25 овальной, эллиптической и прямоугольной форм «парный вихрь» приобретает форму круга или максимально близкую к ней, обладающую минимальными моментом инерции и площадью контакта поверхности «парного вихря». У сплющенного вихря в круглом поперечном сечении контактная поверхность представляет собой поверхность с максимальным действием сил трения. «Парный вихрь» круглой или близкой к ней формы имеет поверхность контакта с минимальным действием сил трения.

Увеличение расхода и скорости на 8–10 % теоретически может привести к увеличению тяги всего водометного движителя на 3–5 %. Отмеченное увеличение тяги, достигнутое за счет снижения гидравлического сопротивления, при одинаковых затратах мощности позволит существенно повысить КПД движителя судов (катера, буксира, теплохода), работающих на мелководных участках белорусских рек.

Выводы. 1. В процессе выполнения экспериментальных лабораторных гидравлических исследований разработаны с использованием САПР «КОМПАС-3D» цифровые твердотельные 3D-модели водозаборников с различной формой поперечного сечения, выполненные в масштабе 1:30 в сравнении с реальными водозаборниками.

2. На основании разработанных 3D-моделей изготовлены лабораторные образцы водозаборников водометного движителя с различной формой поперечных сечений из прозрачного пластика PLA (полилактид) с использованием технологии 3D-печати.

3. Разработан стенд и методика проведения гидравлических исследований изготовленных 3D-моделей водозаборников, в процессе которых измерялись основные параметры вытекающих из них струй: расход воды Q , средняя скорость v и дальность полета струи l , которые позволили оценить величину снижения гидравлического сопротивления.

4. Результаты экспериментальных лабораторных гидравлических исследований моделей водозаборников с различной формой поперечных сечений показали, что у водозаборников с некруглым сечением (квадратное, овальное, эллиптическое, прямоугольное,) происходит увеличение расхода Q и скорости v , по сравнению с круглым, на 8–10 %, что может привести к увеличению тяги водометного движителя на 3–5 %. Такое увеличение тяги, достигнутое за счет снижения гидравлического сопротивления, при одинаковых затратах мощности судового двигателя позволит существенно повысить КПД движителя судна.

5. Представленные в статье результаты экспериментальных лабораторных гидравлических исследований подлежат дальнейшему детальному, в том числе натурному, изучению с целью опре-

деления оптимальных параметров (формы, размеров, угла наклона) водозаборников некруглой формы и последующей рекомендации к установке на суда внутреннего водного транспорта Республики Беларусь.

Список литературы

1. Компьютерное моделирование и лабораторные гидравлические исследования поворотного участка пульпопровода землесосного снаряда / И.В. Качанов, К.В. Хвилько, И.М. Шаталов [и др.] // Вестник БарГУ. Серия «Технические науки». — 2023. — № 1(13). — С. 23–30.
2. Математическая модель движения огнетушащей жидкости в проточном тракте лафетного ствола с винтовой структуризацией потока / И.В. Качанов, И.В. Карпенчук, В.В. Пармон [и др.] // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. — 2013. — № 2(34). — С. 156–164.
3. Теоретические и компьютерные исследования дальнобойного пожарного лафетного ствола при ликвидации чрезвычайных ситуаций на объектах промышленного и гражданского назначения / А.С. Дмитриченко, И.В. Качанов, В.А. Шкутник [и др.] // Проблемы управления речными бассейнами при освоении Сибири и Арктики в контексте глобального изменения климата планеты в XXI веке: сб. докл. XIX Междунар. науч.-практ. конф., Тюмень, 17 мар. 2017 г.: в 3 т. / Тюменский гос. ун-т; редкол.: А.Б. Храмов (отв. ред.) [и др.]. — Тюмень, 2017. — Т. 1. — С. 59–64.
4. Артюшков, Л.С. Судовые движители: учебник / Л.С. Артюшков, А.Ш. Ачкинадзе, А.А. Русецкий; под ред. А.А. Русецкого. — Л.: Судостроение, 1988. — 294 с.
5. Анчиков, С.Л. Водометные движители: вопросы проектирования / С.Л. Анчиков. — СПб.: Реноме, 2021. — 252 с.
6. Куликов, С.В. Водометные движители (теория и расчет) / С.В. Куликов, М.Ф. Храмыкин. — 3-е изд., перераб. и доп. — Л.: Судостроение, 1980. — 312 с.
7. Папир, А.Н. Водометные движители малых судов / А.Н. Папир. — Л.: Судостроение, 1970. — 256 с.
8. Некрасов, Б.Б. Гидравлика и ее применение на летательных аппаратах: учебник для авиац. вузов / Б.Б. Некрасов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1967. — 368 с.
9. Александров, С.А. Исследование гидродинамических и кавитационных характеристик водометного движителя насосного типа, направленное на совершенствование его элементов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.08.01 / Александров Станислав Анатольевич; ФГУП «Крыловский государственный научный центр». — СПб., 2018. — 24 с.
10. Соколов, А.Л. Совершенствование геометрических характеристик водометного движителя насосного типа для судов и кораблей / А.Л. Соколов, С.А. Александров, Г.И. Каневский // Труды Крыловского государственного научного центра. — 2023. — Т. 1, № 403. — С. 15–30.
11. Соколов, А.Л. Исследование ходовых качеств быстроходного судна с глубоко погруженными водометными движителями насосного типа / А.Л. Соколов, С.А. Александров, Г.И. Каневский // Труды Крыловского государственного научного центра. — 2024. — Т. 3, № 409. — С. 49–58.
12. Патент RU 2065375C1, МПК В63Н 11/10, 11/103, В63В 1/24. Полнонапорный водозаборник водометного движителя: № 93044157/11: заявлено 13.09.1993: опубл. 20.08.1996 / Соловьев А.П., Чавдаров Э.А., Яковлев В.С., Андропов В.С.; заявитель Военно-морская академия им. Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова. — URL: <https://clck.ru/3SWkZU>.
13. Патент RU 2185307C2, В63Н 11/08, В63Н 11/10. Полнонапорный водозаборник водометного движителя: № 94021383/28: заявлено 07.06.1994: опубл. 20.07.2002 / Соловьев А.П., Шевчик В.А.; заявитель Военно-морская академия им. Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова. — URL: <https://clck.ru/3SWkiE>.
14. Идельчик, И.Е. Гидравлические сопротивления / И.Е. Идельчик. — М.; Л.: Госэнергиздат, 1954. — 316 с.
15. Жуков, В.А. Применение водометных движителей в современном судостроении / В.А. Жуков, А.В. Мильраг, В.Г. Никифоров // Судостроение. — 2023. — № 4(869). — С. 32–37.

16. A practical approach to the assessment of waterjet propulsion performance: the case of a waterjet-propelled trimaran / L. Zhang, J. Zhang, Y. Shang [et al.] // Polish Maritime Research. — 2019. — Vol. 26, iss. 4. — P. 27–38. — DOI: <https://doi.org/10.2478/pomr-2019-0063>.
17. Zhang, Y. Numerical analysis on self-propulsion of a waterjet-propelled ship with different propulsion models / Y. Zhang, Z. Li, A. Yang // Applied Sciences. — 2022. — Vol. 12, iss. 14. — DOI: <https://doi.org/10.3390/app12147148>.
18. Li, J. Comparative study of hydrodynamic performance of submerged water jet propeller and conventional propeller under multiple operating conditions / J. Li, L. Ma, D. Chen [et al.] // Machines. — 2025. — Vol. 13, iss. 2. — DOI: <https://doi.org/10.3390/machines13020147>.
19. Parviz, G. Performance assessment of the waterjet propulsion system through a combined analytical and numerical approach / G. Parviz, R. Shademani, M.Y. Fard // International Journal of Physics. — 2013. — Vol. 1, iss. 2. — P. 22–27.

BRAIM Dmitry N.

Postgraduate Student at the Department “Hydrotechnical and Power Engineering, Water Transport and Hydraulics”¹

E-mail: dmitrybraim@gmail.com

KACHANOV Igor V., D. Sc. in Eng., Prof.

Head of the Department “Hydrotechnical and Power Engineering, Water Transport and Hydraulics”¹

E-mail: hidrokaf@bntu.by

VOLKOV Alexander V., D. Sc. in Eng., Prof.

Head of the Department “Hydromechanics and Hydraulic Machines” named after V.S. Kvyatkovsky²

E-mail: VolkovAV@mpei.ru

SHATALOV Igor M.

Senior Lecturer of the Department “Hydrotechnical and Power Engineering, Water Transport and Hydraulics”¹

E-mail: hidrokaf@bntu.by

AFANASYEV Aleksey P.

Director³

E-mail: aleks.afanassiev@gmail.com

FILIPCHIK Aleksey V., Ph. D. in Eng., Assoc. Prof.

Associate Professor of the Department “Energy Efficient Technologies”

E-mail: filip4ik@tut.by

¹Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

²National Research University “Moscow Power Engineering Institute”, Moscow, Russian Federation

³OJSC “Belsudoproekt”, Gomel, Republic of Belarus

⁴International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

Received October 2, 2025.

RESULTS OF STUDIES OF THE WATER INTAKE DEVICE OF A WATER-JET PROPULSOR WITH DIFFERENT CROSS-SECTIONAL SHAPES

The article presents the results of laboratory hydraulic studies of water intakes of marine water-jet propulsors with different shapes and cross-sectional sizes. Due to climate change, shallow areas are formed on the inland waterways of the Republic of Belarus, which pose a serious problem for fleet operation. One of the options for increasing the efficiency of the fleet operation in shallow water conditions is the use of water-jet propulsors that ensure the movement of ships at a given speed. However, a common drawback of all modern water-jet propulsors is low efficiency due to high hydraulic pressure losses. Analysis of the results achieved in the laboratory of the Center for Technical Hydromechanics and Hydraulic Machines of the Department “Hydrotechnical and Power Engineering, Water Transport and Hydraulics” of the Belarusian National Technical University on turning sections of pulp pipelines and fire monitor nozzles for fire extinguishing showed that a decrease in hydraulic resistance in these areas can be achieved, within a constant area, by changing the shape and size of their cross-section [1–3]. The design of a water intake pipeline of a full-pressure water-jet propulsor with a circular cross-section, consisting of two turning sections (inlet and outlet) connected by a flow part, was chosen as a prototype for the research. The specified design of a water-jet propulsor is widely used on modern vessels for operation in shallow water conditions. To improve the efficiency of the traction characteristic, the flow part with turning sections was modified in the prototype design by replacing the circular cross-section with an equal-area cross-section having square,

rectangular, elliptical and oval profiles. For this purpose, laboratory hydraulic research was conducted with models of water intake pipeline of circular (standard), rectangular, elliptical and oval cross-sections. Hydraulic research was carried out on water intake models manufactured at a scale of 1:30 in the Center of Technical Hydromechanics and Hydraulic Machines of the Department “Hydrotechnical and Power Engineering, Water Transport and Hydraulics” of the Belarusian National Technical University. Conducted laboratory hydraulic research have shown that the optimal shape of the water intake pipeline cross-section is non-circular (rectangular, elliptical, oval). Such geometry of the water intake pipeline allowed to increase the flow rate and speed of water by an average of 8–10 % compared to a round cross-section. The established increase in the flow rate and speed of water makes it possible to conclude that the traction characteristics of the water-jet propulsor can be increased by 3–5 %.

Keywords: water transport, water-jet propulsor, water intake, section, axis ratio, paired vortex, laboratory research, pilot plant, bench

DOI: <https://doi.org/10.46864/1995-0470-2026-2-75-44-51>

References

- Kachanov I.V., et al. Kompyuternoe modelirovanie i laboratornye gidravlicheskie issledovaniya povorotnogo uchastka pulpoprovođa zemlesosnogo snaryada [Computer modeling and laboratory hydraulic investigations of the drigger slurry pipe turning section]. *BarSU herald. Series “Engineering”*, 2023, no. 1(13), pp. 23–30 (in Russ.).
- Kachanov I.V., et al. Matematicheskaya model dvizheniya ognetchashchey zhidkosti v protochnom trakte lafetnogo stvola s vintovoy strukturizatsiey potoka [Mathematical model of the movement of fire extinguishing liquid in the flow path of a monitor nozzle with screw flow structuring]. *Chrezvychaynye situatsii: preduprezhdenie i likvidatsiya*, 2013, no. 2(34), pp. 156–164 (in Russ.).
- Dmitrichenko A.S., et al. Teoreticheskie i kompyuternye issledovaniya dalnoboynogo pozhar'nogo lafetnogo stvola pri likvidatsii chrezvychaynykh situatsiy na obektakh promyshlennogo i grazhdanskogo naznacheniya [Theoretical and computer studies of a long-range fire monitor nozzle in the elimination of emergency situations at industrial and civil facilities]. *19 Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya “Problemy upravleniya rechnymi basseynami pri osvoenii Sibiri i Arktiki v kontekste globalnogo izmeneniya klimata planety v 21 veke”* [19th international scientific-practical conference “Problems of river basin management in the development of Siberia and the Arctic in the context of global climate change on the planet in the 21st century”], Tyumen, 2017, vol. 1, pp. 59–64 (in Russ.).
- Artyushkov L.S., Achkinadze A.Sh., Rusetskiy A.A. *Sudovye dvizhiteli* [Ship propellers]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1988. 294 p. (in Russ.).
- Anchikov S.L. *Vodometnye dvizhiteli: voprosy proektirovaniya* [Water-jet propulsion devices: design issues]. Saint Petersburg, Renome Publ., 2021. 252 p. (in Russ.).
- Kulikov S.V., Khramkin M.F. *Vodometnye dvizhiteli (teoriya i raschet)* [Water-jet propulsion devices (theory and calculation)]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1980. 312 p. (in Russ.).
- Papir A.N. *Vodometnye dvizhiteli malykh sudov* [Water-jet propulsion devices for small vessels]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1970. 256 p. (in Russ.).
- Nekrasov B.B. *Gidravlika i ee primeneniye na letatelnykh apparatakh* [Hydraulics and its application in aircraft]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1967. 368 p. (in Russ.).
- Aleksandrov S.A. *Issledovanie gidrodinamicheskikh i kavitatsionnykh kharakteristik vodometnogo dvizhitelya nasosnogo tipa, napravlennoe na sovershenstvovanie ego elementov.* Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Study of hydrodynamic and cavitation characteristics of a pump-type water-jet propulsor aimed at improving its elements. Extended Abstract. of Ph. D. Thesis]. Saint Petersburg, 2018. 27 p. (in Russ.).
- Sokolov A.L., Aleksandrov S.A., Kanevsky G.I. Sovershenstvovanie geometricheskikh kharakteristik vodometnogo dvizhitelya nasosnogo tipa dlya sudov i korablye [Improving geometry of marine pump jet]. *Transactions of the Krylov State Research Centre*, 2023, vol. 1, no. 403, pp. 15–30 (in Russ.).
- Sokolov A.L., Aleksandrov S.A., Kanevsky G.I. Issledovanie khodovykh kachestv bystrokhodnogo sudna s gluboko pogruzhennymi vodometnymi dvizhitelyami nasosnogo tipa [Propulsion performance of fast vessel with deeply immersed pump-jets]. *Transactions of the Krylov State Research Centre*, 2024, vol. 3, no. 409, pp. 49–58 (in Russ.).
- Solov'ev A.P., Chavdarov Eh.A., Jakovlev V.S., Andropov V.S. *Polnonapornyy vodozabornik vodometnogo dvizhitelya* [Water-jet propeller total-head water scoop]. Patent RU, no. 2065375C1, 1996 (in Russ.).
- Solov'ev A.P., Shevchik V.A. *Polnonapornyy vodozabornik vodometnogo dvizhitelya* [Total-head water scoop of water-jet propeller]. Patent RU, no. 2185307C2, 2002 (in Russ.).
- Idelchik I.E. *Gidravlicheskie soprotivleniya* [Hydraulic resistances]. Moscow, Leningrad, Gosenergizdat Publ., 1954. 316 p. (in Russ.).
- Zhukov V.A., Milrat A.V., Nikiforov V.G. Primeneniye vodometnykh dvizhitel'ey v sovremennom sudostroenii [Utilization of water-jet engines in modern shipbuilding]. *Shipbuilding*, 2023, no. 4(869), pp. 32–37 (in Russ.).
- Zhang L., et al. A practical approach to the assessment of water-jet propulsion performance: the case of a waterjet-propelled trimaran. *Polish maritime research*, 2019, vol. 26, iss. 4, pp. 27–38. DOI: <https://doi.org/10.2478/pomr-2019-0063>.
- Zhang Y., Li Z., Yang A. Numerical analysis on self-propulsion of a waterjet-propelled ship with different propulsion models. *Applied sciences*, 2022, vol. 12, iss. 14. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12147148>.
- Li J., et al. Comparative study of hydrodynamic performance of submerged water jet propeller and conventional propeller under multiple operating conditions. *Machines*, 2025, vol. 13, iss. 2. DOI: <https://doi.org/10.3390/machines13020147>.
- Parviz G., Shademani R., Fard M.Y. Performance assessment of the waterjet propulsion system through a combined analytical and numerical approach. *International journal of physics*, 2013, vol. 1, iss. 2, pp. 22–27.