

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д212.288.10, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

Аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 17.06.2022 № 6

О присуждении **Рахматуллину Радмиру Рифовичу**, гражданину РФ, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Моделирование и исследование рабочих процессов водородных двигателей самоходных паромов» по специальности 05.04.13 – Гидравлические машины и гидропневмоагрегаты принята к защите 08.04.2022 г., протокол №5 диссертационным советом Д212.288.10 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 450008, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12, созданного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации №92/НК от 09.02.2015 г.

Соискатель Рахматуллин Радмир Рифович 1993 года рождения, работает инженером-конструктором в КБ-1 Акционерного общества «Уральский завод гражданской авиации» Министерства промышленности и торговли Российской Федерации, является соискателем кафедры прикладной гидромеханики ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет».

В 2017 году соискатель окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет» по специальности 24.05.02 –

«Проектирование авиационных и ракетных двигателей». В 2021 г. окончил очную аспирантуру в ФГБОУ ВО «УГАТУ» по специальности 24.06.01 – «Авиационная и ракетно-космическая техника».

Диссертация выполнена на кафедре прикладной гидромеханики ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Месропян Арсен Владимирович, заведующий кафедрой механики и цифрового проектирования ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет».

Официальные оппоненты;

Антоненко Сергей Владимирович, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный федеральный университет», профессор Департамента морской техники и транспорта Политехнического института (школы);

Таранов Андрей Евгеньевич, кандидат технических наук, Федеральное государственное унитарное предприятие «Крыловский государственный научный центр», начальник отделения математического моделирования и суперкомпьютерных технологий дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет», г. Санкт-Петербург в своем положительном заключении, подписанном д.т.н., доцентом Яковлевым Александром Юрьевичем, заведующим кафедрой Гидроаэромеханики и морской акустики, указала, что «...Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения в области разработки водородных движителей самоходных паромов, имеющие существенное значение для решения задач обороноспособности».

страны и освоения труднодоступных регионов. Работа соответствует требованиям ВАК РФ, установленным Положением о присуждении ученых степеней (Постановление Правительства РФ от 24 сентября 2013 года №842), а ее автор Рахматуллин Радмир Рифович достоин присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.04.13 «Гидравлические машины и гидропневмоагрегаты».

Соискатель имеет 10 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 9 работ, из них 3 работы, опубликованные в рецензируемых научных изданиях ВАК. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах. Сведения об опубликованных работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации, достоверны. Авторский вклад соискателя в опубликованные работы общим объемом 3,75 п.л. по объему составляет 1,5 п.л.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Еникеев Р. Д., Месропян А. В., Платонов Е. А., Рахматуллин Р. Р. К вопросу о создании перспективных технических средств преодоления водных преград // Вестник УГАТУ. Уфа, 2019. Т. 23, №4 (86). С. 74 – 83.

2. Месропян А. В., Платонов Е. А., Рахматуллин Р. Р. Моделирование рабочих процессов водоходного движителя паромно-мостовой машины ПММ-2М // Вестник ДГТУ. Махачкала, 2020. Т. 47, №3. С. 16 – 25.

3. Месропян А. В., Рахматуллин Р. Р. Исследование влияния геометрии корпуса на буксировочное сопротивление самоходных паромов при преодолении водных преград // Вестник ДГТУ. Махачкала, 2020. Т. 47, №4. С. 69 – 80.

4. Месропян А. В., Рахматуллин Р. Р. К вопросу выбора оптимального водоходного движителя амфибийных машин грузового назначения // Мавлютовские чтения: материалы XV Всероссийской молодежной научной конференции: в 7 томах / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа: УГАТУ, 2021. Т. 1. С. 432–438.

5. Месропян А. В., Рахматуллин Р. Р. Экспериментальное исследование и верификация математической модели рабочих процессов гребного винта //

Мавлютовские чтения: материалы XV Всероссийской молодежной научной конференции: в 7 томах / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа: УГАТУ, 2021. Т. 1. С. 439–443.

6. Рахматуллин Р. Р. Моделирование рабочих процессов системы «корпус – водоходный движитель» самоходного парома // Карбышевские чтения: Сборник научных трудов международной научно-практической конференции / под общ. ред. Грошевой Л.И. в 8 т., Т.3 – Тюмень: ТВВИКУ, 2021. С. 141–146.

7. Месропян А. В., Рахматуллин Р. Р. Методика моделирования рабочих процессов водоходных движителей самоходных паромов // Карбышевские чтения: Сборник научных трудов международной научно-практической конференции / под общ. ред. Грошевой Л.И. в 8 т., Т.3 – Тюмень: ТВВИКУ, 2021. С. 147–150.

На диссертацию и автореферат поступили положительные отзывы:

1. **Исаева С. А.**, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации». *Замечания:* 1) Нет такого термина в гидромеханике «труднообтекаемый», а есть «плохообтекаемый». 2) Непонятно, какое имеет отношение к работе схема технических средств на преодоление водных преград. 3) Объяснить использование в системе исходных уравнений записанных массовых сил (g_i) и уравнения энергии. В несжимаемой среде уравнение энергии решается изолированно от уравнений гидромеханики. 4) Постановка краевой задачи не выполнена. Сформулировать граничные условия для всех зависимых переменных, включая характеристики турбулентности. 5) Расчетный алгоритм и сгенерированные сетки не представлены. Сеточная сходимость не обоснована. Верификация моделей турбулентности и кавитации на тестовых задачах отсутствует.

2. **Щербы В. Е., Павлюченко Е. А.**, ФГАОУ ВО «Омский государственный технический университет». *Замечания:* 1) Автором сформирована математическая модель рабочего процесса системы «труднообтекаемый корпус - водоходный движитель», однако не представлены основные допущения, принятые в математической модели. 2) При рассмотрении расчетной модели рабочего процесса системы «труднообтекаемый корпус -

водоходный движитель» в пакете ANSYS CFX не представлены начальные и граничные условия. Не показана сгенерированная сетка системы «труднообтекаемый корпус - водоходный движитель». Нет информации о сеточной сходимости. Отсутствие этих данных не позволяет в полной мере определить правильность полученных результатов

3. Лобачева М. П., ФГУП «Крыловский государственный научный центр». *Замечания:* 1) Процесса оптимизации водоходного движителя в тексте автореферата описано не было. Так же в декомпозиции основного содержания работ на рисунке 13 такого пункта как оптимизация нет. Фактически в данной работе выполнялась не оптимизация, а отработка геометрии исследуемых объектов на основе расчета нескольких их вариантов. При этом геометрия, в частности лопастной системы водоходного движителя, разрабатывалась конструктором, а не генерировалась в автоматическом режиме на основе соответствующей параметрической модели, как это выполняется при проведении оптимизации. 2) В части терминологии также некорректно используется термин «верификация». В данном случае выполнялась не верификация, т.е. подтверждение корректности решения уравнений математической физики, а «валидация» - подтверждение адекватности математической модели процесса (объекта) моделируемому физическому процессу (объекту). 3) Как известно из многочисленных исследований обтекание тел с большими отрывными зонами в которых наблюдается интенсивное вихреобразование требует использование гибридных URAN-LES подходов, например, метода отсоединенных вихрей (DES). Использование уравнений Рейнольдса, замкнутых полуэмпирическими моделями турбулентности (RANS подход) может приводить к существенным погрешностям, особенно при дальнейшем взаимодействии такого вихревого потока с кавитирующей лопастной системой движителя. В автореферате нет упоминаний об решении задач этим методом.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что оппоненты являются известными специалистами по тематике диссертации и активно работают в области вопросов корабле- и судостроения, разработки их

движительных комплексов, а ведущая организация – один из лидирующих институтов в области проектирования, постройки и технической эксплуатации морских судов и судовых энергетических установок.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана новая научная идея влияния геометрии корпуса на параметры тяговых характеристики ВД;

предложен новый подход определения характеристик системы «труднообтекаемый корпус – водоходный движитель»;

доказана перспективность использования полученных зависимостей буксировочного сопротивления корпуса от скорости движения самоходного паромов на воде для дальнейшего изучения процессов, протекающих в водоходных движителях паромных машин;

введено новое понятие «труднообтекаемый корпус – водоходный движитель», связывающий влияние геометрии корпуса и элементов ходовой части на параметры рабочего процесса водоходных движителей самоходных паромов.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана невозможность применения судовых методик расчета параметров гребных винтов применительно к паромным машинам с труднообтекаемыми формами корпуса;

применительно к проблематике диссертации результативно использована теория лопастных машин, основные положения гидродинамики, методы численного моделирования, позволяющие рассчитывать параметры водоходного движителя самоходного паромов;

изложены факты влияния элементов корпуса и ходовой части на параметры водоходного движителя;

раскрыты проблемы разработки специализированных методик для расчета водоходных движителей самоходных паромов, позволяющие учесть особенности корпуса и ходовой части паромной машины;

изучено влияние конструктивных параметров корпуса и элементов ходовой части на характеристики водоходных движителей самоходных паромов;

проведена модернизация алгоритмов, заключающаяся в внедрении возможности учета геометрии корпуса на параметры водоходных движителей самоходных паромов.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены методика моделирования рабочих процессов водоходных движителей самоходных паромов, позволяющая учесть влияние геометрии труднообтекаемого корпуса и ходовой части на параметры водоходного движителя; лабораторный практикум в учебный процесс ФГБОУ ВО «УГАТУ»;

определены перспективы использования разработанной методики моделирования рабочих процессов при расчете параметров водоходного движителя;

создана математическая модель рабочих процессов водоходных движителей самоходных паромов, позволяющая учесть влияние корпуса и ходовой части на параметры водоходного движителя;

представлены рекомендации по разработке или оптимизации системы «труднообтекаемый корпус – водоходный движитель».

Оценка достоверности результатов выявила:

для выполнения экспериментальных работ по определению тяговых характеристик водоходных движителей и скоростей движения паромной машины на воде было использовано сертифицированное оборудование;

теория основана на применении законов гидродинамики;

идея базируется на сопоставлении результатов численного моделирования с результатами экспериментальных исследований тяговых характеристик на швартовах;

использовано сравнение данных соискателя с данными, полученными в результате экспериментальных исследований опытной паромной машины ПММ-2М;

установлено качественное и количественное совпадение результатов соискателя с результатами экспериментальных исследований опытной паромной машины ПММ-2М;

использованы современные методики проведения испытаний, сбора и обработки полученной информации/ результатов исследований.

Личный вклад соискателя состоит в:

непосредственной разработке математической модели и проведении численных исследований системы «труднообтекаемый корпус – водородный движитель» самоходных паромов; обработке и интерпретации экспериментальных данных; подготовке основных публикаций по выполненным работам; разработке методики моделирования рабочих процессов водородных движителей самоходных паромов.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

В отзыве ведущей организации:

1. Несмотря на подразумеваемое, исходя из названия работы, исследование водородных движителей различных типов, в работе исследуется один тип движителей - классический гребной винт в пропульсивной насадке. Исследование нетрадиционных типов движителей, а также их взаимодействия с гребным винтом, представляло бы существенно больший научный интерес.

2. Исследование работы движителя проведено только в условиях глубокой воды на прямом ходу. В реальных условиях работа движителя будет осуществляться в акватории с ограниченной глубиной, при входе и выходе машины из воды на берег, в том числе при одновременной работе гусеничного движителя, а также при маневрировании парома. Эти вопросы не были рассмотрены в диссертации.

3. В работе не приведены результаты верификации численной модели работы движителя, в том числе особенностей моделирования его кавитационных характеристик. Такая верификация могла быть осуществлена на основе известных отечественных и зарубежных публикаций по судовым движителям.

4. При разработке новой улучшенной геометрии лопастей движителя не были учтены современные исследования в области судовых движителей, позволяющие провести оптимизацию и детальную отработку всех элементов движителя, и его согласование с корпусом движимого объекта.

В отзыве официального оппонента Антоненко С. В.:

1. На с. 25 читаем: «По шагу ГВ бывают винты с постоянным и переменным шагом, а также винты с регулируемым шагом (с поворотными лопастями). У винтов с переменным шагом, в отличие от ГВ с постоянным шагом, шаг меняется по радиусу или по длине». Здесь неточно использована терминология. При образовании лопасти, точнее, её нагнетательной поверхности, используются различные типы винтовых поверхностей, включая поверхности аксиально-переменного (вдоль винтовых линий), радиально-переменного (вдоль радиуса), аксиально-радиально-переменного шага.

2. В формулах главы 1, выражающих зависимость сопротивления движению от скорости, величина скорости обозначена символами V , v , U , размерность её – или м/с, или км/ч, или вообще не указана, что может привести к ошибкам.

3. Рисунок 2.26 на с. 87 назван «Вектора скорости в продольной (а) и поперечной (б) плоскостях корпуса». На самом деле – в вертикальной продольной и в горизонтальной плоскостях. Та же погрешность – на с. 91, рис. 2.30.

4. На с. 101 указано: «Штатный ГВ и ГВ рациональной конструкции изображены на рис. 3.2, их основные характеристики представлены в таблице 2.4». Фактически в таблице 2.4 даны только относительные величины, а характеристики имелись в таблице 3.1, не вошедшей в окончательный вариант диссертации.

5. В пояснениях к формуле (4.14) не указана максимально допустимая относительная толщина лопастей.

6. В тексте диссертации встречаются терминологические погрешности, а также погрешности редакционного характера. На с. 39 для безразмерного коэффициента сопротивления в формулах (1.2) и (1.3) использованы различные обозначения: ζ и C . Вызывает сомнение формула (1.13), в которой площадь ватерлинии взята в 4-й степени, тогда как другие, в соответствии с теорией

подобия, - в первой. На с. 136 – 137 говорится о диаграммах Папмеля, в действительности это диаграммы в форме, предложенной Э.Э. Папмелем. Здесь также следовало указать, к какой серии винтов (число лопастей, дисковое отношение) относится приведённая диаграмма. На с. 72 и 136 коэффициент m' , учитывающий неравномерность нагрузок на лопасти, для транспортных судов следует принимать не $m' = 1,15$, а $m' = 1,15/z$, где z – число лопастей. В списке литературы на с. 162 (№ 29) искажена фамилия автора (Емельяненко вместо Емельянов).

В отзыве официального оппонента Таранова А. Е.:

1. Некорректное использование термина верификация по всему тексту диссертационной работы. В соответствии с ГОСТ Р57188-2016 «Численное моделирование физических процессов. Термины и определения» подтверждение адекватности математической модели моделируемому объекту называется валидацией. Тот же ГОСТ Р57188-2016 устанавливает определение верификации как подтверждение корректности решения уравнений математической модели.

2. В качестве одного из результатов в разделе «научная новизна», стр. 6, указано обоснование модели турбулентности. Из текста диссертации следует, что речь идет скорее всего об обосновании выбора модели турбулентности из имеющихся в коммерческом ПО Ansys CFX.

3. В тексте на стр. 38 сказано, что «сила тяги ... определяется по кривой сопротивления корпуса...», что не совсем корректно. Сила тяги двигателя определяется из физических либо численных экспериментов. Используя кривую сопротивления корпуса можно определить только требуемую тягу двигателя.

4. На стр.76 сказано, что «Проведенные расчеты позволили разработать ГВ рациональной геометрии ...». При этом отсутствует какая-либо информация о том, как именно проведенные расчеты позволили определить параметры ГВ рациональной геометрии, приведенные в Таблице 2.4. Также не совсем понятно о каком типе расчетов идет речь – по разработанной математической модели АМ с ВД или по методикам проектирования гребных винтов.

5. На странице 85 указано, что шаг по времени в расчетной модели соответствует повороту винта на 90° . Опыт выполнения численного моделирования самоходных испытаний объектов морской техники в Крыловском государственном научном центре показывает, что даже при шаге по времени, соответствующем 5-ти градусам силы и моменты на движителе определяются с погрешностью. Типичным шагом по времени для моделирования работы судовых движителей считается 1-2 градусный шаг, а при наличии модели кавитации 0.5-1 градусный. Отсутствие исследований сходимости математической модели по шагу по времени существенно снижает её достоверность.

6. На стр. 94 сделан вывод о том, что оценка ходкости, выполненная на основе раздельного моделирования компонентов системы «корпус-двигатель» дает завышенные результаты. Именно поэтому в действующих традиционных методиках расчета ходкости судов на базе буксировочного сопротивления обязательно использование коэффициентов взаимодействия.

7. На стр. 96-97 сказано, что «Использование предлагаемого математического аппарата совместного моделирования корпуса и ВД АМ обеспечивает рост гидродинамических характеристик паромной машины.» и «Выполнен расчет ГВ ВД АМ с целью увеличения силы тяги для существенного повышения ходовых характеристик паромной техники.» – Сила тяги движителя не зависит от факта выполнения расчетов и от их количества. Расчеты выполняются в обеспечение проектирования движителя с улучшенными гидродинамическими и кавитационными характеристиками. Это существенное замечание по пониманию диссертантом места и роли численного моделирования в процессе создания объектов.

8. В разработанной диссертантом методике (стр.143) в перечень шагов, необходимых для выполнения численного моделирования, включены методические исследования: «Строятся несколько вариантов расчетной области, с разными размерами сторон, и проводится численное моделирование на разных режимах работы ВД. Определение оптимальных размеров расчетной области ведется по интегральным параметрам (давлению, скорости, и т.д.) до тех пор, пока

размеры расчетной области не будут оказывать влияния на рассматриваемые параметры.» В разработанной, валидированной и апробированной методике этот пункт должен содержать конкретные значения размеров области. Например, 1 длина объекта спереди и сбоку от объекта, 5 длин объекта сзади и т.д. Иначе каждый пользователь данной методики вынужден лично проводить методические исследования - моделировать несколько режимов на нескольких расчетных сетках перед началом непосредственной работы над объектом.

9. В диссертации не приводятся числа Рейнольдса, характерные для изучаемых физических (рабочих) процессов. Понятие числа Рейнольдса отсутствует в работе. В тоже время характерные числа Рейнольдса служат для корректного выбора модели турбулентности, оценки необходимости использования моделей ламинарно-турбулентного перехода, оценки параметров расчетной сетки вблизи границ потока и т.д.

10. Можно отметить недостаток методических (тестовых) исследований, обосновывающих выбор элементов расчетной методики (модель турбулентности, модель кавитации, схемы дискретизации и шаги по пространству и времени).

Соискатель Рахматуллин Р. Р. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы, согласился с замечаниями, и привел собственную аргументацию в защиту выдвинутых им научных положений и критических замечаний: в главе 1.2, посвященной анализу водоходных движителей самоходных паромов, указываются причины выбора гребного винта в кольцевой насадке в качестве водоходного движителя самоходного парома; существующие методики касаются только судов с плавными обводами, для плохообтекаемых тел подобные методики отсутствуют; обозначения скорости сохранены оригинальными, как в источнике. В тексте идут ссылки на источник, откуда взята формула; обозначения ζ и C сохранены оригинальными из источника; формула (1.13) взята из источника неизменной; коэффициенты взаимодействия есть для судов, их нет для машин подобного класса. Если и есть, то они эмпирические для определённой выборки амфибийных машин. Тут имелось в виду, что для подобных машин считать отдельно винт/отдельно корпус не корректно; тип расчетов – совместный.

На заседании 17.06.2022 г. диссертационный совет принял решение за разработку методики моделирования рабочих процессов водородных двигателей самоходных паромов, имеющих существенное влияние для развития отечественного машиностроения, присудить Рахматуллину Радмиру Рифовичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 18, против – 0.

Председатель совета



Ахмедзянов Дмитрий Альбертович

Ученый секретарь совета

Месропян Арсен Владимирович

17 июня 2022 года