

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное  
бюджетное образовательное  
учреждение высшего  
образования  
«Санкт-Петербургский  
государственный морской  
технический университет»  
(СПбГМТУ)

Лодманская ул., д. 3, Санкт-Петербург, 190121  
Тел. (812) 714-07-61; факс (812) 713-81-09;  
e-mail: office@smtu.ru; http://www.smtu.ru  
ОКПО 02066380; ОГРН 1027810221548;  
ИНН/КПП 7812043522/783901001

30.05.2022 № 54/1416-19

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе

Д.т.н., доцент



Д.В. Никущенко

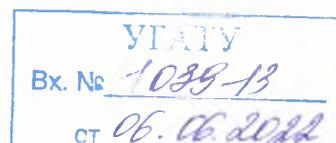
2022 г.

### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Санкт-Петербургского государственного морского технического университета на диссертационную работу Рахматуллина Радмира Рифовича на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.04.13 «Гидравлические машины и гидропневмоагрегаты» на тему «Моделирование и исследование рабочих процессов водоходных движителей самоходных паромов»

Задача создания специальной техники, предназначенной для форсирования водных преград и перемещения по бездорожью, всегда актуальна в России. Такая техника остро необходима для освоения районов Сибири и крайнего севера, исследований проводимых в Арктике и Антарктике, она так же бывает востребована в условиях весеннего половодья или осенней распутицы. Подобные машины состоят на вооружении геологических партий, научных экспедиций, ремонтных и спасательных служб, в последнее время они стали использоваться туристами, охотниками и рыбаками. Безусловно, машины подобного класса широко востребованы так же Вооруженными силами РФ.

Традиционно разработкой специальной амфибийной техники занимаются специалисты в области автомобильного транспорта, которые не всегда уделяют внимание совершенствованию характеристик водоходных движителей. В результате, создаваемые машины отличаются хорошими качествами при движении по твердой поверхности, а при перемещении в воде их характеристики заметно снижаются. Во многих случаях этого можно было бы избежать, внедряя современные разработки в области судовых и водоходных движителей.



Рассматриваемая диссертация своей целью ставит решение данной проблемы. Хотя, представленное в работе исследование ограничено самоходными паромовыми, его результаты можно в дальнейшем распространить на различные образцы указанной выше амфибийной техники. Таким образом актуальность и своевременность поставленной в работе задачи не вызывает сомнений.

По своей структуре, диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 80 наименований и нескольких приложений. В первой главе диссертации дан обзор и приведена классификация технических средств, используемых для преодоления водных преград. Схемы, иллюстрирующие предложенную автором классификацию, приведены в приложении к работе. Следует отметить детальный анализ существующих технических средств преодоления водных преград, интересную и продуманную схему их классификации. Значительное место в обзоре занимает анализ зарубежных средств, в том числе военного назначения. В данной главе приведена так же предложенная автором классификация водоходных движителей. Следует обратить внимание, что термин «водоходный движитель» не является общепринятым и вызывает определенные нарекания со стороны специалистов в области теории корабля и судовых движителей. Под водоходным движителем автор объединяет различные типы движителей, находящие применение на амфибийных транспортных средствах при их движении в воде. К водоходным движителям им отнесены, в том числе гребные винты и водометные движители, которые мало отличаются по своей конструкции от обычных судовых движителей. В то же время, в число водоходных движителей входят движители нетрадиционных типов, такие как гусеничный и колесный движитель. В последнее время в отечественных и зарубежных исследованиях наблюдается повышенный интерес к новым разработкам в этом направлении. К сожалению, в диссертации исследование движителей нетрадиционных типов не проводилось.

Помимо обзора и классификации, в главе 1 автор работы сформулировал цели и задачи диссертационного исследования. Цель работы, в диссертации сформулирована как «совершенствование рабочих процессов и повышение эффективности водоходных движителей самоходных паромов», что соответствует представленным в ней результатам. Решаемые в работе задачи рассматриваются в последующих главах диссертации. В целом можно констатировать точность и логичность формулировки цели и задач диссертационного исследования.

Вторая глава диссертации посвящена численному моделированию работы водоходных движителей. В начале главы дается краткий анализ совместной работы движителей различных типов и их сопоставление по критерию нагрузки по упору. К сожалению в дальнейших исследованиях это направление не получило развития. Таким образом, первый параграф безусловно интересен и важен, но несколько выбивается из общей направленности второй главы.

В основной части второй главы дается последовательное изложение численной модели работы движителя типа гребной винт в насадке, установленного на самоходной гусеничной паромно-мостовой машине с водоизмещающим корпусом. Автор уделил большое внимание процессу конструирования машин данного класса выбору места расположения и параметров водоходного движителя для них. В работе

убедительно обосновывается необходимость специальных исследований буксировочного сопротивления плохообтекаемых корпусов подобных машин. В частности автором показано, что расчетные оценки буксировочного сопротивления по разным методикам могут отличаться в разы. Эмпирические формулы, применяемые в судостроении, в данном случае оказываются неприемлемы. Таким образом, использование CFD-моделирования обтекания корпусов самоходных паромов является наиболее<sup>3</sup> логичным, но не единственным способом оценки их буксировочного сопротивления и исследования взаимодействия движителя с корпусом. В качестве альтернативного варианта существует возможность проведения модельных испытаний корпусов. Учитывая сложность построения расчетной сетки вокруг корпуса сложной формы, а так же трудоемкость и длительность CFD-расчетов, необходимых для достоверного моделирования отрывного обтекания таких корпусов, экспериментальное моделирование может оказаться менее трудоемким и экономически оправданным. Более того, проведение модельных испытаний позволило бы получить эталонные данные, на основе которых могла быть проведена верификация математической модели, а так же определена необходимая степень детализации геометрии, используемой в расчете. К сожалению, автор работы не обратил внимания на этот способ исследования.

В то же время, автор уделил большое внимание описанию геометрии выбранного им в качестве движителя комплекса гребной винт в пропульсивной насадке. В работе представлены варианты семи сеточных моделей с последовательно возрастающим числом ячеек от 7 до 21 млн, что позволило автору убедительно подтвердить сеточную сходимость разработанной численной модели. Сетки строились в среде AnsysMesh и AnsysTurboGrid, использовалась технология подвижных сеток, CFD-расчеты выполнялись в пакете Ansys-CFX. Таким образом, построение численной модели выполнено на хорошем техническом уровне. К сожалению, автор не уделил внимания верификации разработанной численной модели, что можно было легко сделать на базе многочисленных опубликованных результатов для судовых движителей. Такая верификация была тем более необходима, поскольку работа движителя происходит в диапазоне умеренных чисел Рейнольдса, при которых возможно существенное влияние ламинарно-турбулентного перехода на их характеристики. Абсолютно отсутствует в работе верификация моделирования процессов кавитации, хотя именно эти процессы вызывают наибольшие сложности в численных исследованиях. Отсутствие подобных исследований снижает научную ценность полученных автором результатов. Можно говорить о вероятном выходе расчетных оценок за диапазон 3% погрешности (такой диапазон является нормой для расчета судовых движителей). В то же время, такая погрешность может быть допустима для практических целей, поставленных в работе.

В завершение главы 2 автором предложена новая форма лопастей гребного винта движительного комплекса. Выполненные в работе расчеты и натурные испытания показывают, что в целом новая геометрия лопастей обеспечивает существенно лучшие пропульсивные характеристики движителя при его установке на конкретном пароме, по сравнению с исходной типовой геометрией. Таким образом, можно согласиться с тем, что автор правильно осуществил отработку

новой геометрии движителя и добился желаемого улучшения его характеристик. В то же время, необходимо отметить, что методика проектирования лопастной системы гребного винта под конкретный корпус судна является рутинной хорошо отработанной процедурой в области проектирования судов. Более того, в настоящее время в задачах судостроения принято оптимизировать не только геометрию лопастей гребного винта, но и менять форму кольцевой насадки, добиваясь наилучших характеристик системы гребной винт – кольцевая насадка – корпус в целом. Возможно, что если бы автор работы использовал подобную методику, он мог бы достичь еще лучших результатов.

В третьей главе диссертации представлена методика натуральных экспериментальных исследований работы водоходного движителя на самоходном пароме. Данная методика представляется одним из наиболее интересных и полезных достижений автора работы. Испытательный стенд оборудован на базе паромно-мостовой машины ПММ-2П и представляет собой пару опор-дейдвудов с карданными валами и установленными на них движителями. В состав стенда входят так же вторая машина и набор средств измерения. Автором разработана программа испытаний с использованием данного стенда, приведены требования и порядок оборудования акватории для проведения испытаний. Измерения тяги, создаваемой движителями, осуществляется с помощью второй машины, надежно застопоренной на берегу. Результаты испытаний оформляются в виде таблиц и графических зависимостей силы тяги и скорости хода машины от числа оборотов валов движителей. Кроме того, в процессе испытаний осуществляется контроль геометрии лопастей гребного винта.

Проведенные в работе исследования убедительно подтвердили эффективность выполненного совершенствования геометрии лопастей гребного винта. Показано, что в результате применения винтов с новой геометрией тяга движителя увеличилась почти в два раза, а скорость перемещения парома возросла на 30% при перемещении по течению и почти в два раза при движении против течения. Последний результат особенно важен для практики, поскольку позволяет эксплуатировать паромно-мостовую машину на реках с быстрым течением. Проведенное в работе сопоставление расчетных исследований с результатами испытаний позволило подтвердить правильность разработанных технических решений.

В целях совершенствования процесса проектирования водоходных движителей автором разработана методика моделирования рабочего процесса совместной работы водоходного движителя и корпуса самоходного парома, представленная в главе четыре. Методика включает в себя следующие этапы: выбор и обоснование компоновки и размеров парома, разработку численной модели парома и движителя, собственно процесс численного моделирования, анализ полученных результатов и выработку рекомендаций по совершенствованию движителя. Основные результаты работы представлены в заключении.

В целом работа является законченным научным исследованием. Цели и задачи последовательно и четко раскрываются в содержании ее глав. В конце каждой главы сформулированы основные достигнутые в ней результаты. Выводы, приведенные в заключении раскрывают основные научные и практические результаты, полученные

в работе. Содержание диссертации корректно и полно отражено в тексте автореферата. Основные результаты диссертации отражены в работах опубликованных ее автором в ведущих научных изданиях из перечня определенного ВАК (4 публикации), результаты работы неоднократно докладывались на всероссийских научных и научно-практических конференциях.

Таким образом, можно констатировать, что **научная новизна** работы состоит в:

- Разработке системы классификации технических средств преодоления водных преград и используемых для этих целей водоходных движителей
- Разработке рекомендаций по построению численных моделей работы водоходных движителей в составе водоходных паромов
- Разработке методики моделирования рабочего процесса совместной работы водоходного движителя и корпуса самоходного парома
- Разработке методики натуральных экспериментальных исследований водоходного движителя

**Практическая значимость** работы состоит в:

- Разработке улучшенной геометрии лопастей водоходного движителя типа гребной винт в насадке, позволившей обеспечить существенное улучшение характеристик движения самоходного парома в водной среде
- Создании испытательного стенда на базе паромно-мостовой машины ПММ-2П, который может использоваться в дальнейшем для исследования и отработки водоходных движителей

На основании представленной в диссертации и автореферате информации, по работе можно сделать следующие **замечания**:

1. Несмотря на подразумеваемое, исходя из названия работы, исследование водоходных движителей различных типов, в работе исследуется один тип движителей – классический гребной винт в пропульсивной насадке. Исследование нетрадиционных типов движителей, а так же 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 так же 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.

Сделанные замечания не опровергают научной значимости диссертационной работы. Содержание автореферата работы соответствует паспорту специальности 05.04.13 «Гидравлические машины и гидропневмоагрегаты». Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения в области разработки водоходных 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».

Отзыв подготовил:

Заведующий кафедрой  
Гидроаэромеханики и морской  
акустики, д.т.н., доцент



Яковлев А.Ю.

*Заслуженный профессор Яковлев А.Ю. заверяю*

НАЧАЛЬНИК  
ОТДЕЛА КАДРОВ  
Е.Ю. ДЕМИДОВА



Диссертационная работа Рахматуллина Радмира Рифовича на тему «Моделирование и исследование рабочих процессов водоходных движителей самоходных паромов» заслушана и обсуждена на заседании научно-технического семинара «Моделирование процессов в современных морских транспортных системах» в СПбГМТУ, протокол № 22/06 от 26.04.2022.

Яковлев Александр Юрьевич, доктор технических наук, доцент. Защитил докторскую диссертацию по специальности 05.08.01 - Теория корабля и строительная механика.