



гидродинамического сопротивления, выталкивающей силы воды и деформации водонасыщенного грунта донного основания при движении машины вброд.

Научно-технический аспект актуальности обусловлен отсутствием комплексных моделей, интегрирующих гидродинамику частичного погружения машины, тягово-динамические возможности шасси и механику донной грунтовой среды, а также крайне ограниченным использованием потенциала современных инструментов имитационного моделирования для прогнозирования экстремальных режимов движения. Таким образом, разработка научно обоснованного метода оценки бродоходимости является стратегически важной задачей для повышения безопасности и эффективности транспортно-технологических средств в экстремальных условиях их применения при освоении труднодоступных регионов РФ и предупреждении, и ликвидации последствий негативных гидрологических явлений - паводков, наводнений и т.п.

## **2. Конкретное личное участие автора в получении результатов диссертации**

В диссертации Магдиной Е.Р. проведен критический анализ научных источников, который позволил систематизировать известные методики и аргументировать потребность в новой научно-методической базе для повышения эффективности применения машин в условиях затопленных территорий.

Лично автором разработана математическая модель движения машины при преодолении брода. Им же созданы и апробированы оригинальные методики имитационного моделирования для расчета гидростатических и гидродинамических характеристик.

Непосредственно соискателем были проведены экспериментальные исследования на физических масштабных моделях, включая обработку и интерпретацию полученных данных. Результатом работы стала разработка нового метода оценки бродоходимости, основанного на интеграции математического, имитационного и экспериментального моделирования.

Завершающей задачей, решенной автором, стало обобщение результатов, их верификация и формулировка практических рекомендаций для инженерной практики.

### **3. Связь работы с планом соответствующих отраслей науки и народного хозяйства**

Исследование находится в русле стратегических направлений развития ключевых секторов экономики и науки России. Работа непосредственно поддерживает реализацию государственных программ, ориентированных на технологический суверенитет и модернизацию транспортного комплекса. В части промышленной политики она соответствует приоритетам Минпромторга РФ в области создания конкурентоспособных образцов спецтехники с повышенной проходимостью, что критически важно для замещения импортных аналогов в условиях санкционного давления. Для лесопромышленного комплекса разработка метода решает актуальную задачу обеспечения безопасной трелевки леса в заболоченных районах и при преодолении водных преград, закрепленную в отраслевых программах развития лесной инфраструктуры Северо-Запада и Сибири. В контексте национальной безопасности результаты диссертации отвечают задачам МЧС России по оснащению аварийно-спасательных формирований техникой, способной эффективно действовать в зонах наводнений и паводков, что отражено в госпрограмме "Защита населения от ЧС". Для агропромышленного сектора метод предоставляет инструментарий для оценки возможностей сельхозмашин при работе на мелиорированных землях и в условиях подтопления. В научно-технической сфере работа интегрирована в Федеральную научно-техническую программу "Развитие авиационно-транспортной техники", конкретно – в разделы, посвященные повышению эксплуатационных свойств машин для экстремальных сред. Таким образом, диссертация вносит вклад в решение практических задач, сформулированных в документах стратегического планирования отраслей реального сектора экономики и национальной инфраструктуры.

#### **4. Научная новизна положений, сформулированных в диссертации**

Научная новизна работы выражается в трех взаимосвязанных достижениях. Во-первых, разработана комплексная математическая модель движения ТТМ вброд, впервые интегрирующая гидродинамику частичного погружения корпуса, взаимодействие колес со слабodeформируемым грунтом и динамику машины в единую систему. Во-вторых, предложены адаптированные методики гидростатических и гидродинамических испытаний масштабных физических моделей ТТМ, в том числе в аэродинамической трубе, для определения гидродинамических характеристик (объемного водоизмещения и коэффициентов сопротивления), что обеспечило верификацию гидродинамических расчетов. В-третьих, на этой основе создан метод оценки бродоходимости, объединяющий данные моделирования и экспериментов, для прогноза предельной преодолеваемой глубины брода и безопасных режимов движения ТТМ в таких условиях.

#### **5. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность**

Научные положения, выводы и рекомендации диссертации обладают высокой степенью обоснованности и подтвержденной достоверностью, что достигается благодаря многоуровневой системе верификации. Теоретическая база опирается на фундаментальные законы гидромеханики и динамики движения колесных машин, с использованием обоснованных допущений. Достоверность результатов вычислительной гидродинамики обеспечена строгим анализом сходимости сетки, обоснованным выбором моделей турбулентности (SST  $k-\omega$  для зон отрыва потока) и верификацией на тестовых задачах (частично погруженный параллелепипед). Ключевые гидродинамические характеристики (коэффициенты сопротивления, объемное водоизмещение) подтверждены независимыми экспериментами в аэродинамической трубе, показавшими удовлетворительное расхождение с расчетными данными в пределах 5-12%. Взаимная согласованность результатов, полученных различными методами, подтверждает надежность выводов.

**6. Достоверность исследования обеспечивается** комплексным подходом на всех его этапах. На начальной стадии она заложена корректной постановкой задач, вытекающих из анализа актуальных проблем, и применением современных, научно обоснованных методов математического и имитационного моделирования. Далее достоверность подтверждается данными эксперимента на физической масштабной модели, проведенного в контролируемых условиях аэродинамической трубы, с последующей статистической обработкой полученных результатов. Окончательное обоснование достоверности обеспечивается процедурой верификации, показавшей хорошую сходимость расчетных данных с экспериментальными значениями.

#### **7. Научная значимость для науки и практики выводов и рекомендаций диссертации**

Научная ценность работы выражается в конкретном вкладе в теорию транспортного машиностроения: разработаны новые подходы к моделированию многофизических систем, сочетающих гидродинамику частичного погружения, механику слабдеформируемого грунта и динамику ТТМ; предложена апробированная методика верификации CFD-расчетов через адаптированные аэродинамические испытания; сформирован метод комплексной оценки эксплуатационных свойств на стыке численных и экспериментальных методов.

Для практики значимость подтверждается решением критических отраслевых задач. В области безопасности метод позволяет разрабатывать объективные нормативы преодоления водных преград (максимальная глубина/скорость течения) для конкретных ТТМ, создавая основу для детальных инструкций водителям с картами допустимых режимов, что снижает риски аварий. При проектировании техники результаты дают конструкторам инструмент для обоснования компоновок машин и их архитектуры по критерию бродоходности.

Экономический эффект проявляется в сокращении простоев строительной, лесозаготовительной и аграрной техники в паводковый период, в уменьшении затрат на ее ремонт за счет исключения критических режимов эксплуатации, а

также в обоснованном выборе техники при госзакупках для комплектации аварийно-спасательных служб МЧС.

## **8. Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационного исследования**

Результаты и выводы диссертационного исследования рекомендуется использовать для повышения эффективности проектирования и эксплуатации колесных транспортно-технологических машин. Разработанный метод оценки бродоходимости целесообразно внедрить в практику инженерных расчетов конструкторских бюро, специализирующихся на создании машин повышенной проходимости. Это позволит на этапе проектирования оптимизировать параметры ходовой части и корпуса машины для обеспечения требуемых характеристик при форсировании водных преград. Кроме того, методика может быть положена в основу создания специализированного программного обеспечения для автоматизированной оценки возможностей конкретных моделей техники, что актуально для логистических и аварийно-спасательных служб.

## **9. Общая оценка структуры и содержания диссертации**

Достоинства работы проявляются в ее высокой методологической целостности и соответствии академическим стандартам. Содержательная глубина исследования обеспечивается комплексным подходом, объединяющим теоретическое моделирование, вычислительную гидродинамику и экспериментальные методы, что позволяет получить взаимопроверяемые результаты. Логичность структуры подчеркивается последовательным движением от анализа литературы (Гл. 1) через разработку модели (Гл. 2) и ее верификацию (Гл. 3) к созданию практического метода (Гл. 4). Оформление диссертации соответствует требованиям ВАК: объем (218 с.) оптимален для раскрытия темы; графические материалы (81 рисунок, включая 3D-визуализации потоков, схемы экспериментальных установок и сравнительные графики) отличаются информативностью и технической точностью; 42 таблицы систематизируют расчетные и экспериментальные данные, обеспечивая наглядность. Полное соответствие паспорту специальности 2.5.11 (пп. 1, 3) подтверждается целевой

направленностью исследования на теорию, эксплуатационные свойства и методы оценки ТТМ.

## **10. Соответствие диссертации и автореферата установленным требованиям**

Диссертация и автореферат полностью соответствуют нормативным требованиям, что проявляется в трех аспектах. Во-первых, соблюдены формальные критерии ВАК и ГОСТ: объем диссертации и автореферата укладываются в нормативно установленные рамки; структура включает все обязательные разделы; оформление текста, формул, таблиц и рисунков единообразно и соответствует ГОСТ Р 7.0.11-2011. Во-вторых, содержание работы строго отвечает паспорту специальности 2.5.11: разработка математической модели движения (п. 1), исследование эксплуатационного свойства "бродоходимость" (п. 3). В-третьих, автореферат адекватно отражает суть диссертации: цели, методы, научную новизну (4 положения), ключевые результаты и выводы представлены без искажений; данные о 10 публикациях по теме исследования (в том числе 5 в журналах из перечня ВАК) идентичны в обоих документах; иллюстративный материал автореферата отражает основные доказательства положений, выносимых на защиту.

## **11. Замечания и недостатки**

1. В исследовании рассматривается движение машины по слабodeформируемому донному основанию, что не всегда соответствует реальным условиям. Для универсализации метода требуется углубленный анализ влияния разнородных типов донных грунтов (илистые, песчаные, глинистые) на точность прогноза, поскольку предложенная модель слабо учитывает специфику их водонасыщения и реологических свойств.

2. Математическая модель отображает только прямолинейное движение экскаватора-погрузчика. Не ясно, насколько применим предлагаемый метод для случая криволинейного движения машины в процессе маневрирования.

3. При переходе от расчетно-допустимых параметров бродоходимости (1,1 м для JCB 4CX) к рекомендуемым эксплуатационным нормам закладывается ли

коэффициент запаса, учитывающий неидеальность реальных условий движения, например, неровности дна, наличие подводных препятствий и т.п.)? Если да, то каков принцип его обоснования?

4. В исследовании не рассмотрены переходные режимы движения, характерные для случаев входа в воду и выхода из воды. При определенном сочетании рассматриваемых внешних воздействий на машину они могут стать существенными ограничивающими факторами.

5. Практический потенциал метода мог бы быть усилен разработкой конкретных инженерных рекомендаций по оптимизации конструктивных элементов ТТМ (например, геометрии колесных арок, формы днища или применения съемных обтекателей). Используемые в исследовании методы компьютерного моделирования обеспечивают такую возможность.

6. Ограниченное количество примеров применения метода для разных видов техники (тягачи, трелевочники, аварийные машины и т.п.) сужает демонстрацию его универсальности.

7. В тексте диссертации имеются случаи дублирования информации. Описание параметров водной преграды в таблицах 2.4 и 2.9 частично повторяет информацию из раздела 1.6 Обоснование выбора экскаватора-погрузчика как объекта исследования представлено как в разделе 1.5, так и в разделе 2.1. Встречается несогласованность терминологии: в разных разделах используются варианты: "лобовое сопротивление" и "продольное сопротивление"; "число Рейнольдса" и "критерий Рейнольдса"; "бродоходимость" и "бродопроходимость".

Указанные недостатки не снижают ценности полученных результатов, носят отчасти дискуссионный или рекомендательный характер и рекомендуются к учету в дальнейших исследованиях автора.

## **12. Заключение по диссертационной работе**

В соответствии с требованиями Постановления Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, диссертационная работа Магдиной Елизаветы Ростиславовны «Метод оценки бродоходимости колесных транспортно-технологических машин» представляет собой завершенное самостоятельное

исследование. Работа выполнена на высоком научном уровне с применением современных методов математического и компьютерного моделирования и оригинальных экспериментов, что позволяет сделать вывод о ее соответствии критериям, установленным указанным постановлением для научных квалификационных работ. Диссертация полностью соответствует критериям ВАК по специальности 2.5.11 «Наземные транспортно-технологические средства и комплексы», что подтверждается ее соответствием пунктам пункту 1 - Теория рабочих процессов транспортно-технологических средств и их комплексов отраслевого назначения, включая транспорт, сельскохозяйственное, лесохозяйственное, дорожное, строительное, коммунальное, подъемно-транспортное, военное и т. д. (автомобилей, тракторов, амфибийных машин, мобильных роботов, планетоходов, подъемно-транспортных, строительных, дорожных, коммунальных машин, вспомогательного транспортно-технологического оборудования), взаимодействующих с опорной поверхностью - посредством контактных движителей и/или опорных, ходовых модулей (колесных, гусеничных, роторно-винтовых, шагающих, лыжных, воздушных подушек и др.) и с рабочими средами (объектами) – посредством навесного, прицепного и другого технологического оборудования; пункту 3 - Экспериментальные исследования и испытания транспортно-технологических средств и их комплексов, а также отдельных систем, агрегатов, узлов, деталей и технологического оборудования.

Ключевым достоинством работы является создание научного аппарата (комплексная модель движения колесной машины в водной среде с оригинальным методом оценки ее достоверности), не имеющего аналогов в отечественной практике, что подтверждено одобрением результатов исследований научным сообществом в ходе их докладов автором на многочисленных научных конференциях и в его публикациях в рецензируемых научных журналах, рекомендованных перечнем ВАК.

В целом, диссертационная работа Магдиной Елизаветы Ростиславовны, представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, является законченной научно-квалификационной работой. В исследовании решена

актуальная научная задача, связанная с развитием методов оценки и повышением эксплуатационных свойств транспортно-технологических машин, в части их проходимости, безопасности и эффективности при работе в условиях затопленных территорий и преодоления водных преград. Автор, Магдина Елизавета Ростиславовна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.11. Наземные транспортно-технологические средства и комплексы.

Отзыв на диссертацию и автореферат рассмотрен и утвержден на заседании кафедры лесного машиностроения, сервиса и ремонта ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова» «06» ноября 2025 г., протокол № 2.

Присутствовало на заседании кафедры - 10 человек.


Результаты голосования: «за» - 10, «против» - нет, «воздержалось» - нет.

Заведующий кафедрой лесного машиностроения, сервиса и ремонта,  
к.т.н., доцент



Спиридонов  
Сергей Васильевич  
«06» ноября 2025 г.

Отзыв составил:  
Доцент кафедры лесного машиностроения, сервиса и ремонта», д.т.н., доцент



Андронов  
Александр Вячеславович  
«06» ноября 2025 г.

Адрес организации:

194021, Санкт-Петербург, Институтский пер., д. 5 литер У,

тел.: +7(812) 217-92-67, сайт: [www.spbftu.ru](http://www.spbftu.ru), E-mail: [lgkm@spbftu.ru](mailto:lgkm@spbftu.ru)

