

**ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
Гарбуза Михаила Андреевича
на тему: «Динамика механических систем, способных перемещаться в
произвольном направлении за счёт преобразования энергии потока среды»
по специальности 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин**

На основании изучения диссертации и работ соискателя Гарбуза М.А., в которых излагаются основные научные результаты диссертации «Динамика механических систем, способных перемещаться в произвольном направлении за счёт преобразования энергии потока среды», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, следует, что работа относится к области исследований по решению прямых и обратных задач динамики. Работа представляет сочетание теоретического и экспериментального исследования, посвящена разработке новых моделей движителей применительно к водным типа катамаранов и стопоходящим устройствам, движущимся в воздушной среде против ее потока и использованию энергии ветра для решения задач управления динамикой механизма.

Актуальность избранной темы.

Проектирование транспортных систем характеризуется возрастающими требованиями к энергоэффективности, надёжности и способности к безопасному взаимодействию с внешней недетерминированной средой.

В условиях усложняющейся механики, появляющихся новых материалов для исполнительных механизмов, новых методов управления, наступающего дефицита энергоресурсов, необходимость создания движителей для транспортных устройств, не требующих электрической либо энергии ископаемого топлива при перемещении в пространстве, имеет важное значение.

Проблема синтеза механизмов с гарантированным целенаправленным перемещением в пространстве за счёт преобразования энергии потока среды, при контакте с объектами окружающего мира, является актуальной ввиду её прямого влияния на устойчивость, предсказуемость и безопасность развития человеческой

цивилизации за счет максимально широкого использования возобновляемых источников энергии в транспортных системах.

Методы, обеспечивающие синтез таких систем в различных средах и способах контакта с окружающими объектами, востребованы как в прикладных инженерных задачах, так и в фундаментальных исследованиях в области механики и управления.

Диссертационная работа направлена на формирование универсального подхода к оптимизации геометрии механических и управляющих параметров в едином подходе дружелюбия к природе, что соответствует современным мировым тенденциям в области машиностроения и определяет актуальность данного исследования.

Структура и содержание работы.

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы из 111 наименований, списка рисунков и списка таблиц.

Во введении сформулированы актуальность темы исследования, цель и задачи работы, методы исследования, новизна и практическая ценность полученных результатов, положения, выносимые на защиту, обоснована достоверность результатов, информация о публикации результатов и их апробации, проведен обзор литературы, описаны основные модели устройств, движущиеся в водной и наземной среде за счет преобразования энергии ветра.

В первой главе рассмотрено движение по воде против ветра за счёт энергии ветра применительно к модели катамарана с пропеллером и гребным винтом. С использованием уравнений Лагранжа второго рода записана математическая модель рассматриваемого механизма. Описана кинематика вращения пропеллера и гребного винта. Изучены стационарные режимы движения катамарана. Рассмотрены условия реализации и устойчивости таких режимов. Осуществлен анализ скорости корпуса катамарана в зависимости от параметров рассматриваемой модели. Проведено аналитическое и численное исследование полученной математической модели. Предложена новая модель катамарана с двумя противовращающимися пропеллерами и винтами на вложенных осях. Созданы тестовые прототипы. Представлены

результаты экспериментов с ними. Установлена возможность движения в воздушной среде за счет потока набегающего воздуха против него и показаны преимущества модели с двумя пропеллерами и винтами.

Во второй главе создана модель механизма, содержащего четыре подвижных абсолютно твердых ноги в пространстве. Шагающий аппарат создан на базе стопоходящей машины Чебышёва. Движение механизма рассматривается на горизонтальной плоскости против ветра, энергия которого преобразуется при помощи пропеллера в энергию поступательного движения стопоходящего устройства. Механизм имеет одну степень свободы, движение всех звеньев определяется углом поворота кривошипа. Управлением в системе является крутящий момент, передаваемый на ведущий вал от пропеллерной ветротурбины, посредством передачи, позволяющей изменять передаточное число. Для описания модели составлены дифференциальные уравнения движения в безразмерном виде с использованием функции Гамильтона. Получены достаточные условия существования периодических движений механизма против ветра. Для развития максимальной скорости механизмом, найдены оптимальные значения коэффициента передачи. Для проверки теории практикой создан экспериментальный образец. В экспериментах наблюдался стабильный режим движения стопоходящего механизма против потока ветра, что доказывает теоретические модели, созданные в данной главе.

В третьей главе рассмотрена, аналогично первой главе, модель катамарана, движущегося против потока ветра, отличающаяся использованием другого типа преобразователя энергии ветра – ротора типа Савониуса с вертикальной осью вращения. Вращение ротора через редуктор преобразуется во вращение гребного винта. Модель имеет две обобщенные координаты – угол поворота ротора Савониуса и положение центра масс. Составлена система уравнений динамики, описывающая поведение предложенной модели. Проведен численный анализ. Определен оптимальный угол движения корпуса к направлению навстречу ветру, при котором скорость катамарана достигает своего наибольшего значения.

В заключении сформулированы полученные результаты диссертационной работы, намечены пути дальнейших исследований и развития темы.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в развитии моделей механики, взаимодействующих с окружающей средой и движущихся за счет использования энергии потока ветра. Новыми являются результаты аналитических и численных исследований моделей со способом реализации ветроприёмным пропеллером и ротором Савониуса с вертикальной осью вращения преобразования поступательного движения встречного потока ветра во вращательное движение гребного винта или приводного вала в моделях катамаранов и стопоходящего механизма Чебышёва. Автором предложены математические модели рассмотренных механизмов в виде систем дифференциальных уравнений движения. Такой подход обеспечивает системное решение задачи взаимодействия механизма с окружающей средой, позволяя использовать энергию ветра в качестве полноценного источника энергии для механического движения системы.

Разработанные математические модели являются новыми, оригинальными, опираются на строгую математическую постановку, включают согласованный поиск кинематических, динамических и управляющих параметров и применимы к широкому классу устройств, реализующих свои локомоции как по твердой опорной поверхности, так и по воде. Новизной также является теоретическое доказательство и экспериментальная демонстрация возможности организации движения катамарана и шагающего аппарата против ветра за счёт энергии ветра.

Практическая значимость результатов подтверждается демонстрацией работы созданных лабораторных макетов катамарана и шагающего аппарата с пропеллерной ветротурбиной. Разработанные модели снижают степень зависимости транспортных систем от ископаемых видов топлива, и повышает конкурентоспособность решений основанных на энергии ветра, формируя предпосылки для дальнейшего массового проектирования экологически чистых транспортных систем нового поколения.

Обоснованность положений, научных выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации и выносимых на защиту

Положения, выносимые автором на защиту, изложены последовательно и в полном объёме, снабжены строгими формулировками и развёрнутыми аргументами. Их корректность и применимость подтверждаются комплексом численных и натурных экспериментов, выполненных в различных постановках задач оптимизации транспортных систем, что соответствует современным подходам и методам теоретической механики.

Достоверность полученных результатов опирается на использование признанных и широко применяемых инструментов теоретической механики, математического анализа, вычислительного моделирования. Аналитические преобразования и численные исследования выполнялись с использованием системы компьютерной математики Wolfram Mathematica. Применение данного пакета гарантирует воспроизводимость расчётов и корректность численных процедур.

Достоверность подтверждается также экспериментальной проверкой на созданных прототипах для исследования основных математических моделей, предложенных работе.

Дополнительным подтверждением надёжности и научной состоятельности полученных результатов являются публикации автора в рецензируемых журналах и представление материалов исследования на ведущих международных конференциях по механике и робототехнике.

Общая оценка работы

Представленная диссертация является завершённым научно-квалификационным трудом, в котором автору удалось соединить содержательную теоретическую проработку с убедительной практической ориентированностью и экспериментальной доказательностью теоретических результатов.

Исследование выстроено последовательно и аккуратно структурировано; основные выводы подкреплены наглядными материалами, экспериментальными примерами и корректными интерпретациями данных.

Содержание автореферата **соответствует основным положениям диссертационной работы.**

Вопросы и замечания

1. В работе приведен обзор методов и подходов проектирования механических систем, движущихся за счет энергии окружающей среды. Однако, диссертация практически не содержит анализа, позволяющего сравнить эффективность предложенных конструкций и способов преобразования энергии ветра с ранее разработанными методами и подходами. Кроме того, отсутствие качественного или количественного сопоставления каждой модели катамаранов, стопоходящего механизма с родственными конструкциями затрудняет оценку того, насколько предложенные решения превосходят или дополняют существующие практики проектирования экологически ориентированных транспортных систем.

2. В диссертации предлагаются модели, движущиеся по горизонтальной плоскости. При этом, например, звенья стопоходящего механизма, совершают плоскопараллельное движение. Аналогично и катамараны могут двигаться только вдоль прямой. При этом в тексте говорится о широких перспективах применения таких аппаратов в реальных аспектах человеческой деятельности. В связи с этим остаётся неясным, в полной ли мере представленная методика преобразования энергии ветра в поступательное движение механизма обобщается на управляемые повороты механизмов в пространстве, и какие ограничения могут возникать при таком расширении области управления.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.1.7. Теоретическая

механика, динамика машин (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Гарбуз Михаил Андреевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,
профессор кафедры высшей математики Филиала Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Национальный исследовательский университет "МЭИ" в г. Смоленске

Борисов Андрей Валерьевич

19.02.2026

Контактные данные:

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:
01.02.01 Теоретическая механика

Адрес места работы:

214013, г. Смоленск, Энергетический проезд, 1
Филиал "НИУ "МЭИ" в г. Смоленске, кафедра высшей математики
Тел.: +7(4812)65-14-61; e-mail: mail@sbmpei.ru

Подпись А. В. Борисова, профессора кафедры высшей математики филиала ФГБОУ ВО
«Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске
заверяю

Ученый секретарь филиала ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске

д.э.н., доц. Е.А. Кириллова