

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

В диссертационной работе М.А.Гарбуза, представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.7. "Теоретическая механика, динамика машин", изучается динамика трёх механических систем, ориентированных на использование энергии ветра для приведения в движения транспортных устройств. Первое из рассмотренных устройств — катамаран, оснащённый воздушным пропеллером для отбора энергии из ветрового потока, механической передачей и гребным винтом, обеспечивающим движение. Второе из обсуждаемых устройств — шагающий аппарат ("стопоходящая машина Чебышёва"), оснащённый ветротурбиной пропеллерного типа. Третье из устройств — вновь катамаран, оснащённый на это раз так называемым ротором Савониуса, ось вращения которого вертикальна. Понятно, что история использования энергии ветра для приведения в движение транспортных средств уходит в древность - парус испокон веку служил и служит человеку для перемещения по водным просторам. Вместе с тем, идея отбора энергии с помощью пропеллера выглядит оригинальной и заслуживает внимания. Если теория движения парусных судов в той или иной мере развита, движение транспортных устройств, на которые обратил внимание автор, такой теоретической проработки не имеет. Этим обусловлена актуальность избранной темы темы исследований.

Целью рассматриваемой работы декларирован качественный анализ динамики механических систем, способных совершать движение в горизонтальной плоскости под действием потока ветра. Предполагается, что транспортное средство оснащено ветроприёмным элементом с горизонтальной или

вертикальной осью вращения, так или иначе связанным с основным приводом. Общая задача состоит в исследовании движения перечисленных механизмов вдоль горизонтальной плоскости.

Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения, списка литературы, состоящего из 113 наименований, списка рисунков и списка таблиц и занимает 113 страниц текста, оформленного согласно предъявляемым требованиям.

Во введении даётся обзор известных технических подходов, предусматривающих использование энергии ветра для осуществления движения. В частности, обсуждаются использование паруса, особенности движения навстречу ветру, теория ветромобиля, известные шагающие аппараты с "ветровым приводом" и иные устройства, а также возможность движения произвольным курсом. Кратко описываются достижения, связанные с управлением движения буера (В.Е.Павловский и соавторы), история использования «цилиндрических парусов» (исследования А.Флеттнера) и механической и более поздние работы 1970-х годов), история движения судов против течения (в частности, «водоход Кулибина»), рассказывается о механизмах Кланна, Янсена и Чебышёва, которые могут быть использованы для построения шагающих аппаратов. Там же приводятся основные результаты, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена вопросам движения по воде против ветра за счёт его энергии. За основу рассмотрения взят катамаран с пропеллером и гребным винтом. Даётся описание модели, формулируется постановка задачи. Предлагается и исследуется некоторое упрощённое описание воздействия потока на лопасти пропеллера и гребного винта. Изучаются вопросы кинематики вращения пропеллера и гребного винта. Исследуются стационарные движения изучаемой модели. Предлагается обобщение математической модели, предусматривающее, в частности, описание воздействия среды на основе экспериментальных данных. Указываются стационарные режимы движения и условия их устойчивости. При выбранных значениях параметров задачи

показана возможность существования от одного до трёх установившихся движений. Установлено, что при наличии трёх установившихся движений два из этих движений асимптотически устойчивы. Построены элементы фазового портрета движения системы. По ним установлено, что переход в режим движения против ветра может быть обеспечен либо начальным толчком корпуса против ветра, либо начальной раскруткой вала пропеллера до некоторой угловой скорости.

Дана оценка оптимального отношения размеров пропеллера и гребного винта. Изучено влияние коэффициента передачи на скорость стационарного движения. Предложена стратегия управления коэффициентом передачи для выхода на режим движения с наибольшей скоростью. Описаны результаты экспериментального исследования, в частности, прототипы однороторного и двухроторного ветродвигателей.

Вторая глава посвящена изучению движения шагающего аппарата на основе стопоходящей машины П.Л.Чебышёва за счёт энергии ветра. Дается описание изучаемой системы, в частности, кинематики  $\lambda$ -механизма Чебышёва. Делаются выводы относительно симметрий обсуждаемого механизма (утверждение 3) и возможность его движения без проскальзывания (утверждение 4). Выписываются выражения для кинетической и потенциальной энергии, а также выражения для неконсервативных внешних сил и моментов. Также выписываются уравнения движения. В предположении о малости неконсервативных сил предлагается алгоритм исследования системы, опирающийся на метод Андронова - Понтрягина. Выводятся достаточные условия существования периодических движений механизма против ветра, осуществляется параметрический анализ режимов движения навстречу ветру. Дается оценка средней скорости машины при движении против ветра. Описан пластиковый прототип механизма и результаты его тестирования.

В третьей главе автор вновь возвращается к изучению вопросов движения по воде за счёт энергии ветра. Им осуществлено моделирование катамарана, приводимого в движение с помощью ротора Савониуса (ветряка с вертикальной

осью) и гребного винта в предположении о стационарности горизонтального потоке ветра. Предполагается, что аэродинамическое воздействие на ротор и гидродинамическое воздействие на гребной винт описываются в рамках квазистатической модели с параметрами, полученными на основе экспериментальных данных. Дано описание математической модели изучаемой механической системы. Сформулирована постановка задачи. В ходе решения задачи о движении против ветра найден диапазон параметров, при которых такое движение возможно. Выписаны уравнения установившихся движений, исследованы их решения. Построены бифуркационные диаграммы, отражающие зависимость скорости на таких режимах от радиуса гребного винта и радиуса ротора. Предложена оценка для выбора угла курса, при котором проекция приведённой скорости судна на направление, противоположное направлению ветра, максимальна.

В конце каждой из глав каждой из глав имеется Заключение, в котором кратко излагаются основные результаты, полученные в главе.

В конце текста имеется общее Заключение, в котором повторяются основные результаты, изложенные в работе. В нём также автор излагает своё видение некоторых нерешённых проблем, заслуживающих отдельного внимания в рамках развития и уточнения полученных результатов.

Работа в целом представляется, оригинальной, интересной и заслуживающей внимания. Вместе с тем по ней можно высказать некоторые замечания.

Так на странице 72 автор пишет «Будем пренебрегать вертикальным смещением платформы», но не приводит аргументов в пользу такого допущения.

При составлении литературного обзора упоминается за номером [14] работа Л.Прандтля «Эффект Магнуса и ветряной корабль» (1925), но её содержание раскрывается излишне кратко, без упоминания имени автора.

Обнаружено некоторое количество помарок. Так, например, в списке литературы в позиции [50] имеется опечатка в фамилии автора, в позициях [104],

[106], [107], [108], [109] непонятно почему ссылки на русскоязычные публикации даются на английском языке.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования.

Все положения, выносимые на защиту, научные выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, полностью обоснованы методами теоретической механики, теории устойчивости движения, теории колебаний и теории динамических систем. Эти результаты подтверждены в ходе математического и натурального моделирования изучавшихся систем и сопоставления полученных результатов. Эти результаты новы и достоверны.

Содержание диссертации соответствует специальности 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин (по физико-математическим наукам), а именно - следующим ее направлениям:

1. Классическая механика и аналитическая динамика: В работе уравнения движения систем выводятся с использованием формализма Лагранжа, выполняется кинематический анализ механизмов, что является классическим инструментарием аналитической динамики.

2. Теория устойчивости движения. Прикладные проблемы устойчивости равновесия и движения механических систем: Диссертация посвящена исследованию устойчивости стационарных и периодических режимов движения. Используются методы теории устойчивости и нелинейной динамики (включая анализ бифуркаций) для определения областей притяжения и условий существования устойчивого движения навстречу потоку за счёт энергии потока.

12. Механика робототехнических и мехатронных систем: Исследуемые автономные мобильные системы (катамаран, шагающий аппарат), преобразующие энергию среды в движение, по своей концепции и решаемым задачам (перемещение в заданном направлении) относятся к области робототехнических и мехатронных систем.

Диссертация соответствует критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова. Диссертационное исследование оформлено 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. Автореферат достаточно полно и правильно отражает содержание диссертации.

Считаю, что диссертация полностью соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук, а её автор, Михаил Андреевич Гарбуз, несомненно заслуживает присуждения ему указанной учёной степени по специальности 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник отдела 24 Федерального государственного учреждения "Федеральный исследовательский центр "Информатика и управление" Российской академии наук"

Буров Александр Анатольевич

Контактные данные:

тел.:

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:

01.02.01 Теоретическая механика

Адрес места работы:

119333, Москва, ул. Вавилова, 42,

ФИЦ ИУ РАН, отдел 24

Тел.: +7(499) 135-35-90; e-mail: aburov@frccsc.ru

12.02.2026