

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ВолгГТУ)

Волгоград

«УТВЕРЖДАЮ»

Исполняющий обязанности ректора
федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Волгоградский государственный
технический университет»
член-корреспондент РАН
Навроцкий Александр Валентинович



августа 2026 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный технический университет» на диссертационную работу **Пикалова Руслана Сергеевича** «Динамика сближения космического буксира с крупногабаритными объектами космического мусора», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин

Общие сведения о диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы и двух приложений. Общий объём составляет 143 страницы. Работа включает в себя 85 рисунков, 12 таблиц и библиографию из 145 наименований.

Основные результаты по теме диссертационного исследования изложены в 18 печатных и электронных изданиях, среди которых 9 статей опубликованы в журналах, индексируемых базами Web of Science/Scopus, 2 – в журналах, рекомендованных ВАК РФ для представления результатов диссертационного исследования на соискание ученых степеней кандидата наук, 6 – в сборниках трудов, тезисах докладов конференций.

Содержание работы достаточно полно отражено в автореферате и научных публикациях по теме проведенных исследований. Диссертация изложена грамотным техническим языком. Следует отметить выдержанную структуру диссертационной работы.

Входящий №	206-7510
Дата	01 СЕН 2026
Самарский университет	

- Во **введении** обоснована актуальность темы, степень её разработанности и методы исследования. Приведена научная новизна и практическая значимость. Указан список публикаций и апробаций работы. Представлены цель и задачи работы.
- В **первой главе**, на основе обзора литературных источников, автором выполнена оценка современного состояния проблемы увода космического мусора. Приведена международная классификация космического мусора, разделяющая объекты по величине поперечного размера. Описаны возможные последствия столкновения и уровень опасности каждой из групп. Рассмотрены контактные и бесконтактные способы увода космического мусора, существующие и разрабатываемые на сегодняшний день. Изложена концепция увода крупногабаритных объектов мусора типа орбитальная ступень, основанная на создании жёсткой связки космический буксир - космический мусор при помощи троса.
- **Вторая глава** посвящена задаче поиска закона управления длиной троса, способного обеспечить управляемый процесс безударного сближения космического буксира с объектом космического мусора на круговых орбитах. Определены требования к манёвру сближения. Предложен нелинейный закон управления длиной троса в виде степенного ряда, обеспечивающий свёртывание в случаях неупругого и упругого троса. Проведена серия численных экспериментов с целью исследования влияния параметров закона управления на процесс свёртывания. С помощью численного моделирования показано, что предложенный закон управления обеспечивает свёртывание троса системы буксир - космический мусор в одномерном случае.
- В **третьей главе** исследовано управляемое движение связки буксир – космический мусор в случае плоского орбитального движения по круговой орбите. Свёртывание троса осуществляется по закону, предложенному во второй главе. Записаны уравнения управляемого движения рассматриваемой системы в орбитальной системе координат. Проведен анализ полученных уравнений и анализ результатов численного моделирования, в результате которого получена аналитическая зависимость частоты колебаний троса от его длины. Проведены серии численных экспериментов. Их результаты подтверждают выводы, полученные аналитически, о возникновении колебаний вследствие роста частоты при соответствующем уменьшении длины троса.
- **Четвертая глава** посвящена использованию троса для задачи управления угловым движением связки и для выравнивания скоростей

буксира и космического мусора, рассмотрена задача приведения системы в состояние, подходящее для начала манёвра сближения. При установлении механической тросовой связи между космическим буксиром и объектом увода возможно наличие относительных скоростей между рассматриваемыми телами, а, следовательно, возможна ситуация, когда орбитальная ступень будет «отлетать». Рассмотрена возможность гашения такой относительной скорости путем выпуска троса. Идея состоит в использовании введенного ранее управления, но на выпуск троса и тем самым сведение разницы скоростей к нулю. Когда относительная скорость становится равна нулю, появляется возможность приступить к выполнению манёвра сближения. Решена задача управления угловым движением связки вокруг собственного центра масс. Приведены результаты численного моделирования движения связки под действием закона управления угловым движением и без него. Результаты показывают, что предложенная схема управления позволяет избежать вращения связки.

- В **пятой главе** исследовано плоское движение космической тросовой системы с невесомым тросом переменной длины на эллиптической орбите. Предложен новый закон управления, обеспечивающий втягивание троса без увеличения амплитуды колебаний на конечном этапе. Важным отличием предложенного управления является то, что при этом не используется тяга двигателей буксира и закон управления позволяет осуществлять свёртывание на эллиптических орбитах. Доказана асимптотическая устойчивость управляемого движения на эллиптической орбите. Проводится численный анализ процесса втягивания троса. Исследовано влияние эксцентриситета орбиты на процесс втягивания.
- В **шестой главе** предложены схема и состав устройства управления длиной троса – лебёдки. Определены технические требования: основные элементы, массово-габаритные параметры и мощность сервопривода, необходимые для реализации предложенных в диссертационном исследовании законов управления длиной троса.

Цель и задачи исследования обоснованы проведенным литературным обзором, анализом существующих разрабатываемых методов увода крупногабаритных объектов космического мусора и возможностью их совершенствования.

Изложенные в заключении основные выводы по работе в целом сделаны на основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований, логичны и корректны.

Работа имеет завершённый характер, логично изложена и достаточно аргументирована. Общие выводы соответствуют заявленным цели и задачам исследования, полностью характеризуют научную новизну и практическую значимость работы. Материалы диссертации изложены последовательно, выводы и предлагаемые результаты аргументированы, оформление работы соответствуют требованиям. Автореферат диссертационной работы соответствует содержанию диссертации, дает возможность судить о целях и задачах исследования, в полной мере отражает структуру работы, научные результаты и выводы.

По объему и структуре диссертационная работа Пикалова Р.С. соответствует установленным требованиям ВАК к кандидатской диссертации по заявленной специальности 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин (технические науки).

Проведенные автором исследования выполнены на основе классических методов теоретической механики: основные теоремы динамики, уравнения Лагранжа, теорема об изменении кинетического момента, принцип Даламбера, теорема Ляпунова об устойчивости по первому приближению и численных методов решения дифференциальных уравнений.

Все вместе позволяет утверждать, что автору удалось решить все поставленные задачи диссертационного исследования.

Актуальность темы. Проблема загрязнённости околоземного космического пространства является одной из важнейших задач современной космонавтики. Неконтролируемый рост числа объектов космического мусора способен привести к синдрому Кesslera. В предельном состоянии способному привести к полной непригодности околоземного космического пространства к какой-либо человеческой деятельности.

В научной и технической литературе предлагаются различные способы решения данной задачи. Одним из вариантов выступают технологии, основанные на применении тросовых буксиров, способных производить захват и последующее удаление крупных объектов космического мусора с орбиты. Одним из слабо проработанных вопросов является задача свёртывания троса. При втягивании троса с постоянной скоростью происходит его намотка на спутник, что может привести к поломке буксира, обрыву троса, столкновению буксира с космическим мусором с последующим образованием новых обломков и, как следствие, срывом миссии по уводу. В связи с этим, вопросы разработки математических моделей, описывающих этот процесс, синтез законов управления свёртыванием троса и выработка технических требований и рекомендаций для системы захвата, и безударного сближения буксира с

крупногабаритными объектами космического мусора является актуальной для современной космонавтики.

Целью диссертационного исследования заявлена разработка математической модели, синтез законов управления и выработка технических требований и рекомендаций для системы захвата, и безударного сближения с крупногабаритными объектами космического мусора на базе космического буксира с механизмом лебёдки.

Достоверность и новизна основных научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации. Достоверность научных результатов обеспечивается корректностью физической и математической постановки задач исследования, применением апробированных аналитических и численных методов моделирования и анализа.

Это позволяет положительно оценить **достоверность** научных положений диссертационного исследования. Анализ результатов, полученных автором, дает право утверждать, что они обладают научной новизной.

Выводы по главам и работе в целом сделаны на основе логичного анализа фактического материала, соотносятся с задачами исследования, имеют теоретическое и экспериментальное подтверждение, что говорит об их достоверности.

Пункты заключения являются обоснованными, так как работоспособность полученных законов управления и функциональной зависимости для параметров системы «буксир-космический мусор» подтверждена результатами численных экспериментов. На результаты диссертационной работы получен акт о возможности использования результатов диссертационных исследований от АО «РКЦ «Прогресс»» от 21.04.2026 г. Результаты диссертации внедрены в учебный процесс кафедры теоретической механики института авиационной и ракетно-космической техники ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва» и включены в курс «Физико-механический практикум» направления подготовки 01.03.03 «Механика и математическое моделирование (Анализ и компьютерное моделирование аэрокосмических систем)» (акт о внедрении в учебный процесс от 21.03.2024 г. Результаты исследований использованы при выполнении работ, поддержанных Российским научным фондом (проект РНФ №16-19-10158, 2016-2018 гг., проект РНФ №19-19-00085, 2019-2021 гг., проект РНФ №22-19-00160).

Научные положения и выводы, сформулированные в диссертационной работе, достаточно обоснованы с научной и технической

точек зрения и подтверждаются результатами исследований. Обоснованность положений обеспечиваются использованием современных методов научного исследования.

Таким образом, анализ работы говорит, что основные научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, **достоверны и содержат научную новизну.**

Научная и практическая значимость результатов. Полученные результаты диссертационной работы могут быть использованы при подготовке миссий по активной уборке космического мусора с использованием тросовых систем и выполнению операций по свёртыванию троса.

Результаты исследований могут быть использованы: в задачах увода крупногабаритного космического мусора; в задачах обеспечения аварийной стыковки двух аппаратов; для возвращения космонавтов и оборудования на борт МКС во время их работы за бортом станции. Как известно, при выходе в открытый космос, космонавты используют страховочные системы. Предлагаемые в диссертационной работе подходы и законы управления позволяют создать на их основе аварийную систему возвращения космонавтов на борт МКС. Управляя длиной троса, можно будет остановить отдаление космонавта от станции, а далее, сворачивая трос, вернуть его на борт, в случаях нештатных ситуаций, например, потери сознания, травмах и т.п. Аналогичный подход может быть использован и для возвращения на борт МКС инструментов и оборудования, потерянного экипажем.

Соответствие специальности. Результаты работы соответствуют следующим пунктам паспорта Специальности 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин: п.1. Классическая механика и аналитическая динамика; п.2. Теория устойчивости движения. Прикладные проблемы устойчивости равновесия и движения механических систем; п.5. Управление движением, наблюдаемость и идентификация механических систем; п.10. Динамика летательных аппаратов и космических конструкций.

По работе имеется ряд **вопросов и замечаний:**

1. В качестве предложения, для развития исследований, рекомендуем рассмотреть задачу о минимизации работы силы тяги двигателя буксира в рамках классической вариационной задачи.
2. Рекомендуется рассмотреть возможность движения рассматриваемой механической системы в условиях воздействия аэродинамических сил сопротивления при входе в атмосферу с учетом того, что тросы могут работать только на расстоянии.
3. В четвёртой главе, при вращении катушки, её момент инерции рассмотрен без учёта намотки троса.

4. Не представлено сравнение с другими возможными кинематическими законами управления длиной троса, например, степенными рядами.
5. Не приведено сравнение кевлара, из которого изготовлен трос, с другими материалами.

Указанные замечания не снижают общей ценности диссертационной работы и не влияют на значимость теоретических и практических результатов исследования. Замечания носят рекомендательный характер и могут быть учтены автором при планировании дальнейших исследований.

Заключение о соответствии диссертации

1. Диссертация выполнена на актуальную тему. Научные результаты, полученные автором, вносят существенный вклад в развитие и направление совершенствования методов увода крупногабаритного космического мусора. Работу можно классифицировать как перспективное направление развития науки и техники. Выводы обоснованы. Исследование имеет характер завершенной научно-квалификационной работы, в которой содержится решение проблемы, имеющей практическое применение в современной космонавтике.
2. Автореферат корректно и полно отражает содержание диссертации.
3. Проведённые автором исследования и их результаты по содержанию, научной новизне и практической значимости соответствуют паспорту научной специальности 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин.
4. Содержание исследования достаточно полно отражено в открытой печати в опубликованных автором научных работах, в том числе, в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.
5. Соискатель продемонстрировал высокую квалификацию, глубокое погружение в предметную область и отличное понимание темы исследования, смежных с ней областей знаний.

Учитывая значимость материалов диссертации для науки и практики, актуальность тематики, личный вклад соискателя, уровень обсуждения результатов в печати и на конференциях, следует признать диссертационную работу «Динамика сближения космического буксира с крупногабаритными объектами космического мусора» по своему содержанию, объему, актуальности, научной и практической значимости, соответствующей требованиям ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, предъявляемым к кандидатским диссертациям и определенным пунктами 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г, за №842 с изменениями на 16.10.2024 г., а её автора, Пикалова Руслана Сергеевича, заслуживающим присуждения учёной степени

кандидата технических наук по специальности 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин.

Отзыв обсужден и единогласно одобрен на заседании кафедры «Динамика и прочность машин» ВолгГТУ, протокол № 1 от 31 августа 2026 г. В обсуждении работы приняли участие 15 преподавателей, в том числе 4 доктора и 9 кандидатов технических наук.

Отзыв составили:

Профессор кафедры «Динамика и прочность машин» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», доктор физико-математических наук по специальности 01.02.01 – Теоретическая механика, профессор



Брискин Евгений Самуилович

Заведующий кафедрой «Динамика и прочность машин» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», кандидат технических наук по специальности 05.02.02 – Машиноведение, системы приводов и детали машин, доцент



Шаронов Николай Геннадьевич

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет» (ВолгГТУ).

Адрес: 400005, г. Волгоград, проспект им. В.И. Ленина, д. 28.

тел.: +7(8442) 24-81-13, 24-80-99,

e-mail: dtm@vstu.ru,

сайт: <https://www.vstu.ru/>



Заведующий кафедрой Шаронов Н.Г.
31.08.2026
Фондация