

«УТВЕРЖДАЮ»
Проректор по научной работе
ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»
д.т.н., проф.

А.В. Капитанов

« 9 » июля 2026

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу

Хрестиной Арины Артуровны

«Синтез и анализ сферических механизмов параллельной структуры с линейными приводами», представленную в диссертационный совет 24.1.075.01 на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.2.

Машиноведение

Актуальность темы диссертационной работы

Линейные приводы имеют значительный потенциал применения в сферических механизмах параллельной структуры, так как позволяют добиться большого передаточного отношения и точности перемещения при отсутствии люфтов, что критически важно при работе механизма в широком диапазоне температур. Ещё один плюс данного типа привода заключается в том, что использование линейной направляющей позволяет уменьшить длину входного звена и снизить массу консольных подвижных элементов. Однако, несмотря на указанные преимущества, проведенный обзор литературных источников показал, что существует не так много фундаментальных научных работ, посвященных синтезу и анализу сферических механизмов с данным типом привода, что делает диссертационную работу Хрестиной А. А. актуальной.

Содержание диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, включающего 112 наименований. Работа содержит 122 страницы основного текста, 63 рисунка и 1 приложение.

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы и даётся целостное представление о работе: формулируются цели и задачи исследования, его научная новизна и практическая значимость, а также перечисляются положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена обзору научных исследований и практических реализаций механизмов параллельной структуры, при этом основное внимание уделено устройствам, обеспечивающим сферический тип движения выходного звена. Кроме того, в главе рассмотрены существующие конструкции механизмов, оснащённых линейными приводами.

Во второй главе представлен метод структурного синтеза кинематических цепей со сферическим движением выходного звена, приводимых в движение активной призматической парой, в основу которого положен анализ винтовых уравнений скоростей. С применением математического аппарата винтового исчисления проведена оценка условий попадания синтезированных цепей и механизмов, из них состоящих, в различные виды особых положений. Проведенный анализ позволил определить структурную схему, для которой вероятность попадания в особые положения минимальна.

В третьей главе получены уравнения связи и аналитическое решение обратной задачи о положениях, а также задачи о скоростях. На основе этих результатов сформирована общая математическая модель, описывающая кинематику механизма. С использованием данной модели проведён итерационный анализ рабочей области, в ходе которого определены форма и размеры этой области, выполнен скоростной и силовой анализ механизма, а также исследованы особые положения.

В четвёртой главе описывается разработка твердотельной модели механизма в системе КОМПАС-3D, по которой в дальнейшем был создан

физический прототип. Для проверки принципиальной работоспособности синтезированного механизма и оценки смещения центра вращения от теоретического положения был проведён эксперимент.

В заключении обобщены результаты, полученные в работе, подведены общие итоги исследования и сделаны выводы, имеющие научное и практическое значение.

Научная новизна исследования:

1. Разработан оригинальный метод структурного синтеза, основанный на анализе винтовых уравнений скоростей, позволивший определить все возможные варианты кинематических цепей сферических механизмов параллельной структуры с линейными приводами;

2. С применением винтового исчисления впервые в общем виде решена задача определения геометрических условий попадания в особые положения сферических механизмов параллельной структуры с линейными приводами;

3. Разработана математическая модель механизма $3-(RPR)R'R'$, основанная на аналитическом решении обратной задачи о положениях и задачи о скоростях, позволяющая проводить анализ кинематики механизма, а также исследовать его рабочую зону и особые положения.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и результатов исследования обеспечивается использованием общепринятых в области теоретической механики и теории механизмов и машин расчетных методик и допущений, применением современного программного обеспечения. Верификация полученных результатов проводилась при помощи компьютерного моделирования и физического эксперимента.

Практическая значимость исследования:

1. Определены схемы сферических механизмов параллельной структуры с линейными приводами, наиболее подходящие для практической реализации ввиду минимизации возможности попадания в особые положения различных типов;

2. Разработаны прикладные программы, реализующие аналитические алгоритмы расчета кинематики и итерационные алгоритмы анализа и визуализации

рабочей зоны и особых положений механизма $3-(RPR)R'R'$, в том числе с учетом конструктивных ограничений;

3. Создан физический прототип механизма $3-(RPR)R'R'$, который может служить модельным объектом для различных экспериментальных исследований и отработки алгоритмов управления сферическими механизмами параллельной структуры с линейными приводами.

Полученные результаты исследований отражены в печатных трудах, а также докладывались на научных конференциях. Всего по теме диссертации опубликовано 8 научных работ, среди которых 3 – публикации в периодических изданиях, включенных в Перечень ВАК РФ, 2 статьи в изданиях, индексируемых в базах Scopus и Web of Science, 3 работы, индексируемые в РИНЦ.

Замечания по работе:

1. Винтовое уравнение скоростей записано для одной кинематической цепи, однако не уточняется, каким образом обеспечивается совместность движений в трех цепях одновременно. Уравнения связей между цепями выводятся только в главе 3, что затрудняет проверку корректности синтеза на этапе главы 2 (стр. 31, формула (2.2).).

2. Классификация особых положений приведена по работе Златанова и др. [111, 112], однако не пояснено, почему выбрана именно эта классификация, а не альтернативные подходы (например, Госселина-Анхелеса), что могло бы повлиять на интерпретацию результатов (стр. 45, раздел 2.3.).

3. При выборе структуры $(RPR)R'R'$ автор отвергает вариант $(RRP)R'R'$ из-за роста массо-инерционных характеристик. Однако данное решение принято без проведения количественной динамической оценки, которая могла бы подтвердить преимущество выбранной схемы (стр. 53, раздел 2.4.).

4. На рисунке 3.6 показана рабочая зона для $h = 0...2$ м, однако не уточняется, каким образом определялись границы зоны с учетом конструктивных ограничений (например, максимальных и минимальных углов в шарнирах). В тексте упоминается учет таких ограничений, но детали алгоритма не раскрыты (стр. 70, рис. 3.6.).

5. Анализ максимальных скоростей в приводах показывает рост приводных скоростей вблизи особых положений. Однако все расчеты проведены для $\varphi_c = 0$. Следовало бы также проанализировать, как наличие собственного вращения выходного звена влияет на распределение приводных скоростей и расположение особых положений (стр. 76–77, рис. 3.10–3.12).

6. Экспериментальное исследование проведено только для оценки смещения центра вращения. При этом не были проверены другие важные характеристики механизма: максимальные достижимые углы поворота, передаточное отношение в разных точках рабочей зоны, повторяемость позиционирования. Это существенно сужает объем экспериментальной верификации (стр. 100–104, раздел 4.2).

Приведенные замечания не снижают ценности выполненного исследования и полученных результатов. Замечания также не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

Заключение

Тема диссертации Хрестиной А. А. является актуальной. Полученные автором диссертации научно обоснованные результаты синтеза сферических механизмов параллельной структуры с линейными приводами, разработанная математическая модель и результаты расчетов достоверны и экспериментально подтверждены. Решенные в диссертации задачи имеют значения для развития научных методов и подходов к проектированию новых механизмов.

Диссертация «Синтез и анализ сферических механизмов параллельной структуры с линейными приводами» соответствует критериям, изложенным в пунктах 9, 10, 11, 13 и 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, которые предъявляются к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор Хрестина Арина Артуровна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.2. Машиноведение.

Диссертационная работа и отзыв ведущей организации обсуждены на заседании кафедры станков Института производственных технологий и инжиниринга ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН» 26 мая 2026 г., протокол № 7/2025-26 от 26.05.26.

Зав. кафедрой станков, д.т.н., доцент Молодцов В.В.

Доцент кафедры станков, к.т.н., доцент Соболев А.Н.

Контакты:

Адрес: 127005, г. Москва, переулок Вадковский, д. 1.

Телефон: +7 (499) 973-30-66

<https://stankin.ru/>

Эл. Почта: rector@stankin.ru