

В диссертационный совет 24.1.075.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А. А. Благонравова Российской академии наук

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента на диссертационную работу Хрестиной Арины Артуровны «Синтез и анализ сферических механизмов параллельной структуры с линейными приводами», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности

2.5.2. Машиноведение.

### **Актуальность темы диссертации.**

Среди механизмов параллельной структуры широкое распространение имеют сферические механизмы, реализующие только вращательные движения выходного звена. Подавляющее большинство подобных механизмов имеет вращательный тип привода. В то же время, перспективным представляется применение в подобных механизмах линейного привода, позволяющего развивать большие нагрузки без необходимости использовать массивные редукторы, а также имеющего большую точность позиционирования. Несмотря на указанные возможные преимущества, в настоящее время не существует целостного подхода к синтезу сферических механизмов параллельной структуры с линейными приводами. В этой связи, диссертационная работа Хрестиной Арины Артуровны, посвященная вопросам синтеза и анализа таких механизмов, является актуальной.

### **Структура и содержание работы.**

Диссертационная работа, изложенная на 122 страницах, состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 112 наименований и 1 приложения.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации и дается общая характеристика работы, включающая цель работы и решаемые задачи, научную новизну, положения, выносимые на защиту, практическую

значимость работы, методы исследований и достоверность полученных результатов, а также приводятся сведения об апробации, реализации результатов и публикациях по теме диссертации, личном вкладе автора

В первой главе проведен обзор научных исследований и практических применений сферических механизмов параллельной структуры. При этом анализируются существующие образцы подобных механизмов с линейными приводами.

Во второй главе описан метод структурного синтеза кинематических цепей со сферическим движением выходного звена, приводимых в движение активной призматической парой. Метод основан на анализе возможных решений винтового уравнения скоростей. После определения всех подходящих вариантов структуры цепи проведен анализ условий попадания синтезированных цепей и механизмов, составленных из них, в различные типы особых положений. Это, в свою очередь, позволило определить три возможных структуры цепи, минимизирующих шанс попадания в особое положение.

В третьей главе получены аналитические уравнения связей и решена обратная задача кинематики (по положениям). С использованием винтовых уравнений скоростей решена прямая и обратная задачи о скоростях. Кроме того, определены форма и размеры рабочей зоны механизма, а также проведен скоростной и силовой анализ, позволяющий определить скорости и усилия на приводах, необходимые для реализации требуемых скоростей выходного звена, а также восприятия заданной внешней нагрузки. Также в данной главе проведен итерационный анализ особых положений, результаты которого подтверждают выводы, полученные в предыдущей главе.

В четвёртой главе описан процесс разработки твердотельной модели механизма в КОМПАС-3D. Представлены основные конструктивные элементы механизма, которые затем были изготовлены с помощью 3D-печати или закуплены в готовом виде (стандартные узлы). На основе указанной модели осуществлена сборка и отладка физического прототипа. С использованием указанного прототипа было проведено экспериментальное исследование, подтвердившее работоспособность приложенного механизма.

В заключении сформулированы основные результаты работы и выводы по диссертации.

В приложении содержится информация о практическом использовании результатов диссертации.

### **Научная новизна работы.**

В качестве научной новизны выделено следующее:

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.

### **Практическая значимость работы.**

Практическую значимость представляют программные реализации математической модели механизма, а также конструкция физического прототипа. Потенциальные применения механизма включают системы ориентации антенн, лабораторное оборудование, включая системы для динамических испытаний, и реабилитационные устройства. В работе имеются подтверждающие практическую значимость производственные акты внедрения от АО «Концерн «Моринсис-Агат» и МГТУ им. Н. Э. Баумана.

### **Обоснованность и достоверность полученных результатов.**

Достоверность полученных результатов обусловлена использованием общепринятых в области теоретической механики и теории механизмов и машин расчетных методик и допущений, применением современного программного обеспечения, а также проверкой теоретических результатов компьютерным моделированием и физическим экспериментом.

### **Апробация работы и публикации.**

По теме диссертации опубликовано 8 научных работ, среди которых три публикации в периодических изданиях, включенных в Перечень ВАК РФ, две статьи в изданиях, индексируемых в базах Scopus и Web of Science, а также три работы, индексируемые в РИНЦ. Результаты прошли апробацию на двух международных и одной всероссийской научных конференциях

### **Замечания.**

1. Во второй главе (стр. 35) утверждается, что если через точку  $O$  не проходит ни одна из осей вращательных пар, либо проходит ось только одной такой пары, то моментная часть уравнения скоростей в общем случае не может быть обращена в тождество. Данное утверждение никак не обосновывается.

2. Во второй главе (стр. 48) указано: «Вне зависимости от типа выбранной диады и ее расположения в цепи, избежать возможности попадания механизма в особое положение типа «ПС» невозможно при условии, что отсутствуют конструктивные ограничения, не допускающие сингулярных ориентаций выходного звена». Автор не поясняет о каких именно конструктивных ограничениях идет речь.

3. В четвертой главе при описании конструкции основания (стр. 93) указывается, что центрирование фланцев опорных стаканов приводных диад кинематических цепей осуществляется по трем сторонам. Это требует более точного изготовления и подгонки деталей, поэтому было бы логичней применить центрирование по двум смежным сторонам.

4. В четвертой главе при описании различных вариантов исполнения звена  $A_iB_i$  (стр. 94 – 96) не указывается, будет ли форма этого звена и отличие его конфигурации в начальном положении от таковой в примере, рассмотренном в предыдущей главе, негативно сказываться на размерах рабочей зоны и показателях близости к особым положениям.

5. Также в четвертой главе при обсуждении результатов эксперимента (стр. 104) целесообразно было бы указать возможные способы повышения жёсткости механизма и, как следствие, уменьшения погрешности позиционирования;

Указанные замечания носят рекомендательный характер и не снижают научной и практической значимости диссертации.

### Заключение.

Диссертационная работа Хрестиной Арины Артуровны на тему «Синтез и анализ сферических механизмов параллельной структуры с линейными приводами» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой на основании проведенных автором исследований изложены новые результаты и решены актуальные задачи.

Считаю, что диссертационная работа по актуальности, новизне и практической значимости, а также объему выполненных исследований соответствует критериям, изложенным в пунктах 9 – 11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (ред. от 01.01.2025), 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.

Официальный оппонент:

Заведующий кафедрой механики,

мехатроники и робототехники

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный

университет», доктор технических наук (специальность

01.02.06. Динамика и прочность машин), профессор

/  / Яцун Сергей Фёдорович

Дата 16.06.2026

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Юго-Западный государственный университет»

Адрес: 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

Телефон: +7 (4712) 50-48-00

E-mail: [rector@swsu.ru](mailto:rector@swsu.ru)







