

В диссертационный совет 24.1.075.01
ФГБУН «Институт машиноведения
им. А.А. Благонравова РАН»

**ОТЗЫВ
ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

на диссертационную работу Ларюшкина Павла Андреевича «Синтез и анализ механизмов параллельной структуры с использованием технически обоснованных условий близости к особым положениям», представленную в диссертационный совет 24.1.075.01 при ФГБУН «Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН» на соискание ученой степени доктора технических наук по научной специальности 2.5.2 – Машиноведение.

Актуальность работы. Разработка и совершенствование современных информационно-измерительных систем, средств автоматизации и роботизации способствуют скорейшей цифровизации производства и росту его общего организационно-экономического уровня за счет увеличения производительности оборудования и повышения качества выпускаемой продукции. Данная работа является актуальной, так как посвящена разработке общих методов синтеза и анализа механизмов параллельной структуры, учитывающих наличие у них особых положений. Указанные механизмы показывают большую работоспособность, производительность и точность, чем механизмы последовательной структуры, однако наличие упомянутых особых положений может накладывать существенные ограничения на их применение. Поскольку механизм может потерять работоспособность не только в таком положении, но и в некоторой его окрестности, важно учесть вероятность возникновения подобной ситуации еще на этапе его синтеза и проектных расчетов и предусмотреть меры по ее предотвращению.

Оценка содержания и оформление диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, восьми глав, заключения и списка

использованных источников. Работа имеет строгую последовательную структуру, целостный и законченный характер, написана грамотным научным языком.

Введение дает представление об актуальности работы, а также содержит основные сведения о ней, такие как цель и задачи работы, научная новизна и практическая значимость, информация об апробации и реализации результатов и т.д.

Первая глава носит достаточно широкий и полный обзорный характер. Глава посвящена анализу конструкций и применений механизмов параллельной структуры, современному состоянию исследований особых положений и путей их избегания. В главе использовано большое количество литературных источников, в частности статей в известных научных журналах, пользующихся уважением научного сообщества.

Вторая глава посвящена описанию новой классификации особых положений, а также критериев близости к особым положениям и различных способов и особенностей их расчета. Материалы главы формируют теоретический фундамент для расчетов, демонстрируемых в следующих главах. Также основная часть научной новизны всей работы приходится именно на данную главу.

В третьей главе рассмотрен пример расчетов механизмов типа Delta с линейными приводами. Проанализированы структура, подвижность, кинематика, рабочая зона, особые положения и близость к ним. Рассмотрено два механизма, один из которых имеет шесть степеней свободы, а второй – четыре. Последний механизм, при этом, является новым.

Четвертая глава имеет аналогичную структуру, но посвящена запатентованному автором механизму с тремя степенями свободы и поступательно-направляющим типом движения. Особенностью механизма является возможность вырождения связей. Исследование близости к особому положению, связанному с данным явлением, имеет свои особенности, которые наглядно демонстрируются в главе.

Пятая глава также имеет структуру, аналогичную двум предыдущим главам. Объектом исследований в данной главе является новое семейство сферических механизмов с круговой направляющей. Главной особенностью расчетов является необходимость перехода от производных углов поворота к угловым скоростям выходного звена. Наглядно показаны сопутствующие данной операции проблемы и пути их решения.

Шестая глава также посвящена примеру расчетов механизмов. В данном случае – плоских: пятизвенника и механизма 3-RRR. Структура главы аналогична структуре третьей, четвертой и пятой глав.

В седьмой главе описывается методика проведения эксперимента, и его результаты. Описание экспериментальной установки и методики проведения исследований достаточно подробное, полученные результаты не вызывают сомнений. В частности, наиболее любопытным является установленный факт обратной зависимости между изменением жесткости механизма и погрешностью теоретических расчетов относительно экспериментальных данных, который к тому же оценен численно с использованием коэффициента корреляции.

Восьмая глава имеет завершающий характер, поскольку все продемонстрированные методы и алгоритмы используются по прямому назначению, а именно для проектных расчетов и конструирования реального механизма, требования к которому заданы параметрами технического задания заказчика. Данная глава может служить в качестве своеобразных методических указаний по применению предложенных в работе методик на практике. Весь порядок приведенных проектных и проверочных расчетов изложен логичным и доступным образом.

В заключении приведены основные выводы по результатам работы. При этом имеются также выводы по соответствующим главам.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

— предложена новая классификация особых положений, в основе которой лежит характер изменения подвижности механизма;

— сформулированы новые критерии и условия близости к особым положениям, а также методы вычисления численных значений указанных критериев;

— дано обоснование использования математического аппарата линейной алгебры для проведения промежуточных расчетов при использовании винтового исчисления;

— разработаны математические модели различных механизмов параллельной структуры;

— предложены новые структурные схемы механизмов параллельной структуры.

Степень обоснованности и достоверности результатов.

Достоверность полученных результатов обеспечивается корректностью математических выкладок, использованием аналитических и численных методов решения, математического и компьютерного моделирования, методов теоретической механики и теории механизмов и машин, а также проверкой результатов вычислений, в том числе с помощью натурального эксперимента.

Представленные в диссертационной работе результаты научных исследований прошли всестороннюю апробацию на ведущих российских и международных конференциях в области мехатроники, робототехники и теории механизмов, подтверждены патентами РФ на изобретение и полезную модель, а также свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ. Основные результаты внедрены в профильных организациях и предприятиях.

Практическая значимость. В процессе диссертационных исследований созданы прикладные алгоритмы и программы, позволяющие моделировать определенные характеристики различных механизмов параллельной структуры и проводить вычисления значений критериев близости к особым положениям, предложенных автором работы. Также

созданы два действующих прототипа механизмов. Первый использован для экспериментальных исследований, в которых также получены результаты, имеющие значимость для практики. Второй прототип внедрен в качестве исполнительно механизма перемещения устройства для 3D печати. Автором получено 5 патентов РФ на изобретения и полезные модели, а также 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

По диссертации и автореферату имеются следующие **замечания**:

1. В первой главе, при обзоре литературных источников, большинство ссылок приходится на работы зарубежных авторов, что может создавать ложное впечатление об отсутствии исследований данной проблемы отечественными учеными.

2. Во второй главе вызывают некоторую сложность восприятия отдельные формулы и математические выражения ввиду использования большого количества верхних и нижних индексов. Также термин «Плюккерovy координаты» следует писать с маленькой буквы.

3. В третьей главе, при рассмотрении примеров механизмов, приводится процент потери объема рабочего пространства из-за особых положений. При этом не совсем понятно, почему автор указывает результаты для наклона платформы в 45 градусов, а не для максимального исследованного в главе значения, равного 60 градусам (стр. 128 и стр. 143).

4. В четвертой главе при анализе возможности вырождения связей на примере разработанного автором механизма с тремя степенями свободы и поступательно-направляющим типом движения следовало бы учесть, что большинство его промежуточных звеньев скорее всего испытывают изгибающую нагрузку. Данный недостаток, однако, не снижает научной ценности рассмотрения подобного механизма в рамках исследования явления вырождения связей.

5. В пятой главе при описании рисунка 5.19 (стр. 203) говорится о некоторых «отдельных» точках и о том, что можно видеть, что это точки

особых положений типа «ПУ», но при этом не совсем понятно о каких именно точках речь, и как можно это видеть.

6. В тексте шестой главы было бы уместнее придерживаться авторской классификации особых положений, а не прибегать к одной из известных классификаций, а именно Анджелеса-Госслена.

7. В седьмой главе особое внимание уделяется чистоте эксперимента и мерам по снижению соответствующих погрешностей, однако погрешность измерений динамометра и то, как она влияет на результаты измерений нигде не приводится.

8. В восьмой главе, на стр. 256 указано, что размеры рабочей зоны составляют $300 \times 300 \times 300$ мм при диаметре буртика, равном 7 мм. Вызывает определенные сомнения точность размеров рабочей зоны вплоть до 1 мм.

Приведенные замечания не носят принципиального характера и не снижают значимости представленной диссертации, не влияют на общее положительное впечатление о работе.

Автореферат и список публикаций достаточно емко отражают содержание диссертации и в полной мере характеризуют результаты проведенных исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация Ларюшкина Павла Андреевича «Синтез и анализ механизмов параллельной структуры с использованием технически обоснованных условий близости к особым положениям» является целостной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных исследований изложены новые научно обоснованные решения в области синтеза, анализа и проектирования современных робототехнических устройств на базе механизмов параллельной структуры.

Диссертация написана автором самостоятельно, обладает научной новизной и практической значимостью. Полученные результаты и положения, выносимые на защиту, представляют существенную ценность как для науки, так и, потенциально, для хозяйственной деятельности.

Основные результаты опубликованы в виде 47 статей, в том числе 35 в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК, либо приравненных к ним, а также получено 5 патентов РФ и одно свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Диссертация полностью отвечает требованиям п. 9 – 11, 13 и 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013, устанавливающих требования к докторским диссертациям, а ее автор Ларюшкин Павел Андреевич заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.2 – Машиноведение.

Заведующий кафедрой машиностроения
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский
государственный университет
промышленных технологий и дизайна»
доктор технических наук, профессор



Марковец А.В.

28.09.2023

Адрес: 191186, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 18

Тел. (812) 310-35-05

E-mail: mash@sutd.ru

