

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе,  
д.т.н., профессор Национального  
исследовательского университета «МЭИ»



*В.К. Драгунов*  
Драгунов В.К.

« 17 » *декабря* 2017 г.

## О Т З Ы В

ведущей организации

на диссертационную работу Скворцова Сергея Александровича «Разработка и анализ механизмов параллельной структуры с круговой направляющей», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.18 – Теория механизмов и машин

### Актуальность работы

В современных отраслях машиностроительной, авиационной и космической техники широкое применение находят тренажеры позволяющие повысить качество и обеспечить безопасность вождения транспортных средств, пилотирования воздушных судов. Тренажеры, применяемые для этих целей, как правило, построены на основе механизмов параллельной структуры, воспринимающих нагрузку подобно пространственным фермам, при этом это обстоятельство обуславливает высокую эффективность данных механизмов в смысле их грузоподъемности и точности имитирования различных дорожных условий. Однако, существующие тренажеры зачастую обладают существенным недостатком, связанным с недостаточными двигательными возможностями, в частности отсутствием возможности полного оборота вокруг вертикальной оси, они не позволяют воспроизводить достаточно полно динамические нагрузки возникающие в реальных условиях движения транспортных средств.

В диссертационной работе Скворцова С. А. рассмотрены вопросы структурного синтеза и кинематического анализа структурных схем пространственных механизмов параллельной структуры с круговой направляющей и создание на их основе тренажеров с расширенными функциональными возможностями для автомобильной и авиационной техники. Нагрузки в таких механизмах воспринимаются и распределяются по звеньям подобно пространственным фермам. Механизмы параллельной структуры с круговой направляющей обеспечивают точность позиционирования, нагрузочную способность и быстродействие, совмещают преимущества традиционных механизмов и пространственных ферм.

В связи с этим исследование свойств механизмов параллельной структуры с круговой направляющей и создание на их основе тренажеров с расширенными функциональными возможностями является актуальной и практически значимой научной задачей.

#### **Основное содержание диссертации.**

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографического списка из 123 наименований. Работа изложена на 118 страницах, содержит 58 рисунков, 1 таблицу.

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, показана научная новизна и практическая значимость выполненной работы.

**Первая глава** посвящена обзору современного состояния тренажеров в мировой практике и анализу известных механизмов параллельной структуры с различным числом степеней свободы и разным числом кинематических цепей. Автор рассматривает важнейшие результаты, полученные учеными разных стран мира, связанные со структурным и параметрическим синтезом, кинематическим и динамическим анализом, точностью и управлением. Это дало возможность заняться разработкой и исследованием механизмов с повышенными функциональными возможностями.

**Во второй** главе автором достаточно подробно рассмотрен подход к структурному синтезу и анализу механизмов параллельной структуры с круговой направляющей. Он включает в себя разработку механизмов с

разным числом кинематических цепей. При этом, что бы определить количество степеней свободы, применялась формула Сомова–Малышева. Рассматривалось несколько разработанных структурных схем пространственных механизмов параллельной структуры с круговой направляющей, которые позволяют расширить функциональные возможности вновь созданных тренажеров, используя метод винтового исчисления.

Важным результатом является предложенный автором алгоритм синтеза, который позволяет создавать структурные схемы механизмов параллельной структуры с круговой направляющей и различным числом кинематических цепей.

**В третьей** главе предложен метод кинематического анализа механизмов параллельной структуры с круговой направляющей и различным количеством кинематических цепей. Решены важнейшие задачи синтеза и анализа, задачи о положениях, прежде всего обратные задачи.

Решение обратных задач заключалось в том, что задавалось положение выходного звена и определялись обобщенные координаты – положения кареток на круговой направляющей.

Решая задачи о положениях, определялись границы рабочей зоны, полученные в результате сканирования положения выходного звена по шести координатам, с учетом геометрических ограничений:

- ограничения длин соединительных штанг;
- минимальный и максимальный угол расположения соседствующих кареток;
- не пересечение соединительных штанг;
- минимальный угол наклона соединительных штанг по отношению к нормали выходного звена и основанию;
- близость или равенство нулю определителя матрицы плюккеровых координат ортов осей штанг (близость к особому положению, т. е. теряется управляемость механизма);
- недопустимость расположения проекции центра масс выходного звена вне шестигранника основания.

Соответствующие ограничения были сформулированы математически и учтены при определении рабочей зоны.

Новизну данной главы выражает постановка и решение обратной задачи о положениях, определение границ рабочей зоны с учетом конструктивных ограничений для механизмов параллельной структуры с круговой направляющей.

**В четвертой главе** решены задачи о скоростях и прямые задачи о положениях для механизмов параллельной структуры с круговой направляющей. Для решения задачи о скоростях использовано решение обратной задачи о положениях. Были записаны уравнения связей в виде неявных функций, описывающих положения штанг. Применен метод Анжелеса-Госслена основанный на дифференцировании уравнений связей. Получены линейные соотношения для скоростей в матричной форме. Определяя частные производные от неявных функций по абсолютным и обобщенным координатам для каждой кинематической цепи получено решение задачи.

Зная координаты выходного звена и обобщенные координаты кареток решалась прямая задача о положениях итерационным методом. Задавая приращение обобщенных координат, были найдены приращения абсолютных координат.

Новизной данной главы является постановка и решение задачи о скоростях и прямой задачи о положениях итерационным методом для механизмов параллельной структуры с круговой направляющей.

**В пятой главе** рассмотрено обоснование выбора схемы натурной модели механизма параллельной структуры с круговой направляющей и работоспособности, применив метод винтового исчисления. Для каждой кинематической пары задавались единичные вектора, определялись плюккеровы координаты и на основании этого выявлялось отсутствие внутренней подвижности в каждой кинематической цепи, что влияет на работоспособность механизма. С другой стороны рассматривались силовые винты, которые передаются с кинематических цепей на выходное звено, необходимо было определить, что они не являются вырожденными (это

свидетельство об особом положении). В результате этого было установлено, что синтезированные схемы механизмов являются работоспособными.

Новизну данной главы выражает обоснование работоспособности структурной схемы натурной модели механизма параллельной структуры с круговой направляющей с учетом силовых винтов, когда определяются особые положения, потеря степени подвижности и неуправляемые подвижности.

**Целью диссертационной работы** является разработка структурных схем и исследование кинематических характеристик новых пространственных механизмов параллельной структуры с круговой направляющей и различным числом кинематических цепей для тренажеров, связанных с имитацией движения транспортных средств для предприятий автомобильной и авиационной промышленности.

**Научная новизна работы** заключается в том, что разработаны основы структурного синтеза механизмов параллельной структуры с круговой направляющей, а также выявлены геометрические особенности построения этих устройств при разном количестве и виде кинематических цепей; разработаны методики решения обратных задач о положениях механизмов параллельной структуры с круговой направляющей и различными кинематическими цепями, а также найдены рабочие зоны этих устройств с учетом конструктивных параметров; разработаны методики итерационного решения прямых задач о положениях механизмов параллельной структуры с круговой направляющей на основе дифференцирования уравнений связей и решения задачи о скоростях этих устройств; проведено теоретическое обоснование расположения кинематических цепей механизма, для исключения особых положений, и изготовлен натурный образец и определены его функциональные возможности.

Наиболее существенными являются следующие научные результаты, полученные автором лично:

1. Установлено, что применение механизмов параллельной структуры с круговой направляющей в тренажерах существенно расширяет их функциональные возможности.

2. Предложены и проанализированы (исследованы) новые структурные схемы пространственных механизмов параллельной структуры с круговой направляющей и четырьмя кинематическими цепями.

3. Разработаны методики решения задач о положениях и построения рабочих зон механизмов параллельной структуры с круговой направляющей с учетом конструктивных ограничений.

4. Разработан алгоритм решения задач о скоростях и положениях механизмов параллельной структуры с круговой направляющей.

5. Обосновано расположение кинематических цепей, обеспечивающее отсутствие особых положений, выбрана структурная схема механизма, и на этой основе изготовлен натурный образец.

### **Достоверность результатов исследований**

Научные результаты диссертационной работы Скворцова С. А. достоверны и обоснованы. Достоверность полученных результатов и обоснованность положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе, определяется использованием общепринятых допущений, корректным использованием научных положений системного подхода, методов аналитической, вычислительной геометрии и теории винтов, теории дифференциальных уравнений, линейной алгебры, вычислительной математики, строгостью математических выкладок, основанных на фундаментальных законах механики и теории механизмов, машиноведения. Теоретические результаты подтверждены натурными и численными экспериментами.

### **Практическая значимость результатов работы**

Разработанная методика структурного синтеза и исследования кинематических свойств механизмов параллельной структуры с круговой направляющей, позволит расширить функциональные возможности создаваемых тренажеров на основе новых синтезированных механизмов.

Результаты работы в виде методики применялись в учебном процессе в МГТУ им. Баумана на кафедре РК-9 в курсе лекций «Теория роботов и манипуляторов».

Результаты исследований, полученные в диссертационной работе,

приняты к разработке перспективных моделей тренажеров в ПФ «ЛОГОС», подтверждены справкой о внедрении.

**По работе сделаны следующие замечания:**

1. В работе не рассмотрены вопросы выбора геометрических размеров звеньев из условий прочности, жёсткости.
2. Не рассмотрены вопросы углов давления в предлагаемых механизмах.
3. Не рассмотрены динамические свойства механизмов.

**Заключение**

Отмеченные замечания не снижают общего положительного мнения о диссертационной работе.

Диссертационная работа Скворцова Сергея Александровича является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработана методика структурно-геометрического синтеза механизмов параллельной структуры с круговой направляющей; разработаны алгоритмы и программы решения обратных задач о положениях и построения рабочих зон механизмов параллельной структуры с круговой направляющей с учетом конструктивных ограничений; выполнен кинематический анализ, включая решение задачи о скоростях и итерационное решение прямой задачи о положениях; разработан натурный образец механизма для тренажера (испытательного стенда) и исследован с точки зрения его работоспособности и функциональных возможностей.

Диссертация написана хорошим научно-техническим языком, структурирована и оформлена. Материал изложен последовательно и логично.

Цели и задачи, определенные в работе, выполнены в полном объеме. Библиографический список научно-технической литературы достаточен, обращение к ней обосновано и свидетельствует о научном кругозоре диссертанта.

Основные результаты диссертации опубликованы в 12 печатных работах, в том числе 4 статьи в журналах из перечня периодических изданий, рекомендованных ВАК РФ, получены 5 патентов.

Публикации в достаточной мере отражают основные научные результаты соискателя. Автореферат соответствует содержанию диссертации. К диссертации приложены документы, подтверждающие практическую значимость выполненной работы.

Представленная работа соответствует требованиям ВАК Российской Федерации, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук (п. 9 Положения ВАК), и соответствует специальности 05.02.18 – Теория механизмов и машин.

Автор работы Скворцов Сергей Александрович заслуживает присвоения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.02.18 – Теория механизмов и машин.

Отзыв на диссертационную работу обсужден и одобрен на заседании кафедры «Автоматизированные электротехнологические установки и системы» (АЭТУС) Национального исследовательского университета «МЭИ» «15» декабря 2016 г., протокол № 19.

Заведующий кафедрой «Автоматизированные  
электротехнологические установки и системы», к.т.н.

Щербаков А.В.

Доктор технических наук, профессор  
кафедры «Автоматизированные  
электротехнологические установки и системы»

Рубцов В.П.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский Энергетический Институт»

Адрес: 111250, Россия, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 17,

<http://mpei.ru/>