

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе и инновациям  
ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный  
университет»,

д-р юрид. наук, проф.

О.Г. Ларина

2019 г.



## ОТЗЫВ

### ведущей организации

на диссертационную работу Филиппова Глеба Сергеевича на тему «Научное обоснование и разработка механизмов параллельно-последовательной структуры для многокоординатных манипуляционных систем», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.18 – Теория механизмов и машин.

### Актуальность выбранной темы

Широкий спектр задач, поставленных на современном уровне развития науки и технологий, требует разработки и исследования новых механизмов. В первую очередь речь идёт о цифровом производстве, аддитивных технологиях, роботехнике, лазерных системах, создании новых двигателей для авиации. Следует отметить, что для многих технических задач необходимо иметь пять степеней свободы рабочего органа, высокую нагрузочную способность и большой диапазон рабочей зоны. Поэтому важной задачей является разработка новых механизмов параллельно-последовательной структуры, сочетающих в себе преимущества механизмов параллельной и последовательной структур.

Для решения подобных задач существуют манипуляционные системы различного назначения с применением отдельных представителей механизмов параллельно-последовательной структуры, однако отсутствует общий подход к синтезу, анализу и методам исследования таких механизмов, чему и посвящена

данная работа.

В диссертационной работе автором рассмотрены вопросы разработки нового семейства механизмов параллельно-последовательной структуры с пятью степенями свободы для решения широкого круга технических задач, связанных с многокоординатными манипуляционными системами, их структурного синтеза и анализа, классификации, методик кинематического и динамического анализа.

В связи с изложенным тема данного исследования, связанная с разработкой нового семейства многофункциональных механизмов параллельно-последовательной структуры, прежде всего с пятью степенями свободы, предназначенных для решения широкого круга технических задач, представляется актуальной.

### **Структура, содержание и оформление диссертации**

Диссертационная работа включает введение, шесть глав, заключения, списка использованной литературы из 229 наименований. Общий объем работы составляет 324 страницы машинописного текста, содержащего 4 таблицы и 205 рисунков.

Во введении обоснована актуальность рассматриваемой в диссертационной работе темы, поставлена цель и перечислены задачи, решение которых необходимо для достижения данной цели, указана научная новизна работы, приведена практическая значимость результатов исследования. Представлены сведения об апробации работы, публикациях.

В первой главе проведен обзор наиболее известных и нашедших применение отечественных и зарубежных разработок механизмов параллельной и параллельно-последовательной структур с различным числом степеней свободы и разным числом кинематических цепей. Рассмотрены особенности структуры таких механизмов и области их применения.

Вторая глава диссертационной работы посвящена решению вопросов структурного синтеза и классификации механизмов параллельно-последовательной структуры с пятью степенями свободы. Особенность используемого в работе подхода заключается в том, что изначально рассматривается последовательная кинематическая цепь с пятью степенями свободы, затем ее часть заменяется



механизмом параллельной структуры с тремя степенями свободы. Получено 78 базовых схем механизмов параллельно-последовательной структуры с пятью степенями свободы. В работе рассмотрены все варианты базовых схем.

Третья глава посвящена синтезу механизмов для решения задачи обработки объектов, имеющих протяжённость в одном из направлений. Предложены варианты механизмов параллельно-последовательной структуры. При этом движение вдоль соответствующей координаты, которая связана с большими размерами обрабатываемого объекта обеспечивается с помощью начальной поступательной парой снабжённой двигателем. Затем следует плоский частичный плоский механизм параллельной структуры с тремя степенями свободы. Присутствует пятая кинематическая пара, снабжённая приводом, для того, чтобы обеспечить ещё одно вращение. Решены задачи о положениях, рассматривались вопросы кинематического и динамического анализа. Рассматриваемые механизмы имеют перспективы приложения в аддитивных технологиях, в высокоточном оборудовании, применяемом для изготовления и обработки деталей сложной формы, а также в вертебральной хирургии.

В четвертой главе автором рассматриваются механизмы параллельно-последовательной структуры, обеспечивающих доступ к изготавливаемому или обрабатываемому объекту с разных сторон под разными углами. В них сначала расположен частичный механизм параллельной структуры с тремя степенями свободы, который является триподом, затем две последовательно расположенные поступательные кинематические пары. Данный механизм может быть использован при разработке роботов для аддитивных технологий, применяемых в изготовлении и обработке сложных деталей авиационной и космической техники с осевой симметрией. Для различных вариантов схем механизмов решены обратные задачи о положениях, задачи о скоростях. Была рассмотрена задача динамики для частичного механизма параллельной структуры. Её специфика заключается в том, что можно составить два динамических уравнения Эйлера, описывающих вращение вокруг двух осей, и уравнение Ньютона. При этом задача решалась с учётом закона управления, который минимизирует ошибки по скорости, по положению и по ускорению.

В пятой главе рассмотрены синтез и анализ механизмов параллельно-

последовательной структуры, обеспечивающих постоянство точки ввода рабочего органа, с частичным механизмом параллельной структуры, представляющим собой сферический механизм. Это важно для хирургических операций, в том числе урологических, а также для исследований свойств плазмы. Была исследована структура существующего робота daVinci, который имеет последовательное расположение звеньев. Была рассмотрена обратная задача о положениях, решены прямая и обратная задачи о скоростях. Для решения задачи управления использовались динамические уравнения Эйлера. Рассмотрены различные режимы движения механизмов, в том числе соответствующие закону колебательного движения по всем трём координатам. Исследован режим движения для случаев, когда в приводах действует сила упругости и система предоставлена самой себе, то есть происходят свободные колебания. Рассмотрен режим движения, когда колебания носят вынужденный характер, то есть основание колебалось вокруг оси механизма.

Заключение содержит главные результаты работы и выводы, сделанные автором на основе проведенного исследования.

### **Достоверность результатов исследований**

Научные результаты диссертационной работы являются достоверными и обоснованными, что определяется использованием общепринятых допущений и корректным применением методов теории механизмов и машин, теоретической механики, аналитической геометрии, матричного и дифференциального исчислений, математического моделирования. Теоретические результаты подтверждены численными и натурными экспериментами на разработанных макетах.

### **Научная новизна результатов исследований**

Научная новизна заключается в том, что впервые получено новое семейство механизмов параллельно-последовательной структуры с пятью степенями свободы, включающих частичный механизм параллельной структуры и частичный механизм последовательной структуры. Определены их кинематические и динамические свойства, связанные с конкретными техническими применениями.



### **Практическая значимость результатов работы**

Разработано семейство механизмов параллельно-последовательной структуры, которое может решать широкий круг технических задач для вертебральной и урологической хирургии, для исследования свойств плазмы, для изготовления элементов реактивных двигателей, для производственных систем, в частности аддитивной технологии. Кроме того, разработанные методики синтеза и анализа, созданные алгоритмы и программы могут найти широкое применение для многих других технических приложений.

### **Замечания по работе**

- 1) В работе не рассмотрены некоторые известные современные механизмы параллельной структуры с тремя степенями свободы и механизмы параллельно-последовательной структуры с пятью степенями свободы.
- 2) Сформулированные структурные ограничения, которые имелись ввиду при рассмотрении механизма с последовательным расположением звеньев и кинематических пар приводятся без обоснования.
- 3) В третьей главе не раскрыты условия структурного параметрического синтеза, требования к рассматриваемому механизму.
- 4) Не достаточно подробно сформулирована специфика, новизна рассмотренных задач о скоростях.
- 5) В пятой главе не обоснован принцип составления уравнений задачи динамики.
- 6) Не объяснено, чем обусловлен выбор шаговых двигателей в качестве приводов макета механизма и как влияют переходные процессы в приводах на точность движения.

### **Заключение**

Отмеченные замечания не снижают общего достоинства работы и могут быть учтены автором при дальнейших исследованиях.

Диссертация выполнена на высоком научном уровне, качественно оформлена, представляет собой самостоятельную законченную научно-квалификационную работу и содержит решение актуальной задачи, связанной с разработкой новых механизмов параллельно-последовательной структуры для

многокоординатных манипуляционных систем. Автореферат полностью отражает содержание диссертации, цель и задачи исследования, раскрывает научную новизну работы и ее практическую значимость. Список представленных диссертантом публикаций отвечает требованиям ВАК РФ.

Диссертационная работа соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, и ее автор Филиппов Глеб Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.18 – Теория механизмов и машин.

Отзыв на диссертационную работу обсужден и одобрен на заседании кафедры механики, мехатроники и робототехники ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» «02» октября 2019 г., протокол №4.

Заведующий кафедрой

Механики, мехатроники и робототехники,

д.т.н., проф., заслуженный деятель науки РФ

Яцун С.Ф.

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»

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

Телефон: +7 (4712) 22-2626

Официальный сайт: <https://swsu.ru/>

e-mail: [teormeh@inbox.ru](mailto:teormeh@inbox.ru)



Подпись  
удостоверяю  
Специалист по кадрам