

УТВЕРЖДАЮ:  
Проректор по науке  
ФГБОУ ВО «Российский государственный  
университет им. А.Н. Косыгина  
(Технологии, Дизайн, Искусство)»,  
д.э.н., проф.  А. В. Силаков

2021 г.

## ОТЗЫВ

### ведущей организации

на диссертационную работу Рашояна Гагика Володяевича «Структурный синтез и кинематический анализ новых  $l$ -координатных механизмов и информационно-измерительных систем», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.18 - Теория механизмов и машин

#### **Актуальность работы.**

Технический прогресс в машиностроении во многом связан с созданием новых механизмов и машин. Важное место в развитии современного уровня науки и практики занимают механизмы параллельной структуры. Среди многообразия данных механизмов особый интерес представляют  $l$  – координатные механизмы, в которых для перемещения выходного звена, в качестве приводов используются только линейные двигатели, размещенные между основанием и выходным звеном. За счет условно параллельных кинематических цепей, которыми выходное звено механизма соединяется с основанием, внешняя нагрузка достаточно равномерно может распределяться по кинематическим цепям, и в квазистатическом состоянии  $l$  – координатный механизм можно принимать как пространственную ферму и обладающую высокими показателями по точности позиционирования.

Уникальность свойств  $l$  – координатных механизмов обеспечивает широкое применение в технологическом оборудовании, при манипуляционных операциях, в измерительных и обучающих системах, а также в медицинских и реабилитационных робототехнических системах.

Область возможных приложений данных механизмов еще до конца не сформулирована, так как идет естественный процесс исследования функциональных возможностей данных механизмов. Как показывает практика, класс  $l$  – координатных механизмов может быть расширен.

В диссертационной работе Г.В. Рашояна решается актуальная научная проблема, связанная с созданием и классификацией новых  $l$  – координатных механизмов, изучением их кинематических свойств, рабочей зоны, углов давления в кинематических цепях, особых положений механических, а также применительно к  $l$  – координатным информационно-измерительным системам.

Актуальность темы исследования подтверждается многочисленными публикациями, посвященными тематике пространственных механизмов параллельной структуры для манипуляционных операций различного типа. В настоящее время эта проблема в значительной мере затронула хирургию, аэрокосмическую отрасль и прецизионную метрологию. Все больше появляется современных многомерных принтеров, в которых механические перемещения в пространстве осуществляются с помощью  $l$  – координатных механизмов.

Исходя из изложенного, тема данной работы, связанная с расширением класса  $l$  – координатных механизмов, выявлением их общих свойств, определением их области технических приложений, представляется весьма актуальной.

**Целью исследования** является существенное расширение класса  $l$  – координатных механизмов для эффективного решения технических задач, связанных с манипуляционными, измерительными, тестирующими операциями.

Цель диссертационной работы достигается с помощью предлагаемого автором метода переноса крепления приводов из основания и выходного звена на одно из промежуточных звеньев: поршень или цилиндр привода, а также выводом приводов из рабочей зоны механизма.

**Научная новизна заключается в следующем:**

1. Доказана эффективность применения предложенной автором новой методики, с помощью которой им разработаны новые схемы механизмов, путем изменения положения точек крепления приводов, а также расположения точек креп-

ления приводов вне рабочей зоны. Это позволило существенно расширить известный класс  $l$  – координатных механизмов.

2. В работе автором изложены условия наличия аналитического решения задач о положениях применительно к традиционным  $l$  – координатным механизмам, а также к модифицированным механизмам, полученным перенесением точек крепления приводов. Для решения задач кинематического анализа  $l$  – координатных механизмов эффективно использован метод винтового исчисления.
3. Изучены свойства и получены (описаны) математические зависимости для обычных  $l$  – координатных механизмов и модифицированных механизмов, полученных путем перенесения точек крепления приводов и расположения приводов вне рабочей зоны и установлены взаимосвязи между их свойствами.
4. Получен расширенный класс  $l$  – координатных механизмов, эффективно решающий новые технические задачи в технологических, измерительных, манипуляционных системах.

Таким образом автором решена научная проблема создания новых  $l$  – координатных пространственных механизмов параллельной структуры с шестью степенями свободы для решения широкого круга технических задач, имеющая важное хозяйственное значение.

**Теоретическая значимость.** В работе расширен класс  $l$  – координатных механизмов, разработана методология для определения основных функциональных возможностей данных устройств, связанная с близостью к особым положениям, видам зон сингулярности, точности, формы рабочих зон.

**Практическая значимость** заключается в расширении класса  $l$  – координатных механизмов и их классификации и алгоритмическом обеспечении кинематического анализа рабочей зоны нового класса  $l$  – координатных механизмов и информационно-измерительных систем, которые могут быть использованы при проектировании современных технологических машин – роботов и манипуляторов. Практическая значимость полученных в диссертации результатов подтверждается реализацией и внедрением в ООО ПФ «Логос», АО «ЦНИИмаш», а также актом о внедрении в учебный процесс кафедры РК-9 МГТУ им.

Э.Н. Баумана. Практическая ценность диссертационной работы подтверждается рядом выполненных по тематике диссертации научно-исследовательских работ в рамках работы РФФИ № 15-51-06002 «Разработка топологий роботов параллельной структуры и новых методов анализа их сингулярностей».

**Методы исследования:** в работе применялись методы теории механизмов и машин, теоретической механики, методы оптимизации, аналитической геометрии, методы компьютерного моделирования, а также элементы винтового исчисления.

**Достоверность результатов диссертации** подтверждается использованием общепринятых допущений, апробированных методик структурных и кинематических исследований, а также частичной проверкой результатов на основе численных и натурных экспериментов.

**Публикации.** По теме работы опубликованы 72 научных работы, из них 26 в научных изданиях, индексируемых в международных базах данных Web of Science и Scopus, 10 – в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК РФ. Получены 15 патентов РФ на полезные модели и изобретения.

**Содержание диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, приложений. Общий объем диссертации 255 страниц, в тексте имеется 11 таблиц и 101 рисунок. Список литературы из 201 наименования представлен на 24 страницах.

**Во введении** отмечается актуальность работы, сформулированы цели и задачи работы, отмечена научная новизна и положения, выносимые на защиту. Представлены сведения об аprobации работы.

**В первой главе** выполнен анализ применения  $l$  – координатных механизмов в промышленности, непроизводственных отраслях, а также анализ и классификация особых положений пространственных механизмов. Выделен класс  $l$  – координатных механизмов и показана необходимость развития теории структурного синтеза и оптимизации параметров таких механизмов.

**Во второй главе** рассматривается решение задачи расширения и дополнения классификации  $l$  – координатных механизмов. Автором доказано, что по

сравнению с известной классификацией во вновь создаваемых структурах приводы могут располагаться не только между основанием и выходным звеном, но и между одним из этих звеньев и каким-либо промежуточным звеном, а расположение приводов вне рабочей зоны изменяет и расширяет область их применения. Эти результаты соответствуют основным положениям теории синтеза и анализа механизмов параллельной структуры.

Рассмотренный класс  $l$  – координатных механизмов расширен автором за счет того, что некоторые штоки приводов могут быть продолжены за пределами основания, либо выходного звена. При этом точки, где сходятся оси  $l$  – координат, могут находиться на выходном звене или на основании. Предложенные автором решения являются новым принципом построения  $l$  – координатных механизмов с расположением приводов вне рабочей зоны. Это обстоятельство существенно расширяет класс  $l$  – координатных механизмов.

**В третьей главе** автором представлено условие и методы расширения рассматриваемого класса  $l$  – координатных механизмов путем введения дополнительных стержней - вводов, расположенных между точками соединения  $l$  – координат между собой, с основанием и выходным звеном. В данном случае приводы также установлены вне рабочей зоны, а дополнительные стержни проходят «сквозь» основание либо выходное звено. При этом соединительный стержень подвижно соединен с основанием или выходным звеном, сферическим шарниром с расположенной внутри него поступательной парой, «сквозь» которое он проходит.

Развивая предложенный автором подход к образованию новых  $l$  – координатных механизмов, выявлено, что один из приводов, не сопряженный с другими приводами  $l$  – координатами, может быть своим штоком жестко сопряжен со стержнем-вводом так, что их оси совпадают, а число степеней свободы также равно шести.

**В четвертой главе** автором представлена новая методика решения прямой задачи о положениях пространственных  $l$  – координатных механизмов с шестью степенями свободы. Предложенный подход к решению этой задачи пул-

тем ввода дополнительных  $l$  – координат позволило получить аналитическое выражение для ряда  $l$  – координатных структур, ранее решаемых численно, с использованием итерационных процедур. Автором рассмотрены геометрические и кинематические свойства особых положений  $l$  – координатных механизмов для структур, в которых задача о положениях имеет аналитическое решение. Приводятся алгоритмы определения особых положений и расчета областей  $l$  – координат, свободных от особых положений. Решен численный пример и определен основной признак аналитической решаемости  $l$  – координатных структур: необходимо, чтобы в одной точке выходного звена сходились три линии  $l$  – координат, а во второй – две.

Предложено решение прямой задачи о положениях для  $l$  – координатного механизма, полученного из исходного путем переноса выходного звена в область, вне расположения приводов. Введены дополнительные связи, определяемые по указанной методике. В результате получены группы структур, для которых прямая задача о положениях имеет аналитическое решение, расширена.

Решена задача анализа особых положений и синтеза механизма модифицированной структуры, не имеющего особых положений.

Рассмотрен итерационный алгоритм решения задач о положениях, который может быть применен для всех  $l$  – координатных структур. Методом винтового исчисления получены уравнения связи абсолютных и обобщённых скоростей.

Автором проведены проверочные расчеты – решена прямая задача о положениях для механизма, положение которого определяется шестью расстояниями между точками платформы и основания.

**В пятой главе** автором представлен алгоритм определения углов давления в подвижных соединениях кинематических цепей и выходного звена  $l$  – координатных механизмов. Кроме того, автором рассмотрены другие факторы, влияющие на функциональные возможности механизмов и измерительных сис-

тем и предложен алгоритм корректировки траектории движения  $l$  – координатных механизмов для обхода особых положений.

Автор предложил для выявления особых положений в системе кинематического управления следить за числовым значением определителя матрицы плюккеровых координат.

Решена задача определения границ рабочей зоны  $l$  – координатного механизма с учетом особых положений и допустимых углов давления, а также предложена измерительная система, позволяющая определять пространственные траектории движения выходного звена какого-либо робота.

В качестве объекта исследования рассмотрен тренажер для подготовки экипажей транспортных средств, представляющий из себя две платформы, соединенные шестью кинематическими цепями, нижняя платформа является основанием, а верхняя платформа выходным звеном. Оценить размер и форму рабочей зоны данного механизма можно, исследуя решение обратной задачи о положениях.

### **Замечания по диссертационной работе.**

1. Можно было более полно представить разнообразные современные методы синтеза пространственных механизмов параллельной структуры (например, статьи Г. Гогу, Ж.П. Мерле, М. Чиккорелли, В. Аракеляна и др.).
2. Для некоторых вновь синтезированных структурных схем получены достаточно сложные с конструктивной точки зрения, подвижные соединения.
3. Не совсем ясно, какие рекомендации следуют из выполненных исследований для разработки конструкций  $l$  – координатных механизмов?
4. В работе отсутствует постановка и исследование задач динамического анализа механизмов в особых положениях. Вне ясен вопрос: в реальных механизмах, если учесть силы инерции, то возможен ли переход через особые положения за счет сил инерции или упругих деформаций звеньев?
5. Процедура численного решения задач о положении и определения границ рабочей зоны на компьютере мало проиллюстрированы алгоритмически в виде блок-схем.

6. В задачах точности  $l$  – координатной информационно-измерительной системы не учтены динамические характеристики тросов.

7. В тексте диссертации имеются опечатки (например, стр. 160).

Отмеченные выше недостатки не снижают качества проведенных исследований и не влияют на общую положительную оценку содержания диссертации, ее теоретической новизны и практической значимости.

### **Общая характеристика работы**

Диссертация хорошо оформлена и выполнена на высоком научно-теоретическом и практическом уровне. К числу достоинств диссертационной работы следует отнести представленные таблицы синтезированных схем механизмов, что является полезным для инженеров-конструкторов, следует почеркнуть разработанный автором оригинальный алгоритм кинематического управления выходным звеном манипулятора вблизи особого положения. Результаты исследований проиллюстрированы структурными схемами механизмов, графиками, таблицами, численными примерами. Автореферат изложен на 30 страницах и полностью отражает содержание диссертационной работы

Содержание работы соответствует п. 2 области исследования паспорта специальности 05.02.18 – Теория механизмов и машин.

### **Заключение**

Диссертационная работа Рашояна Гагика Володяевича «Структурный синтез и кинематический анализ новых  $l$  – координатных механизмов и информационно-измерительных систем» по актуальности, научной новизне и практической значимости полностью соответствует требованиям пунктов 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК Минобрнауки РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук, так как является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований предложены новые научно обоснованные технические решения в области синтеза  $l$  – координатных механизмов и их классификации, оценки работоспособности с учетом углов давления. Внедрение алгоритма создания механизмов без особых положений в рабо-

чей зоне вносит значительный вклад в развитие машиностроения и имеет важное хозяйственное значение для экономики страны в целом.

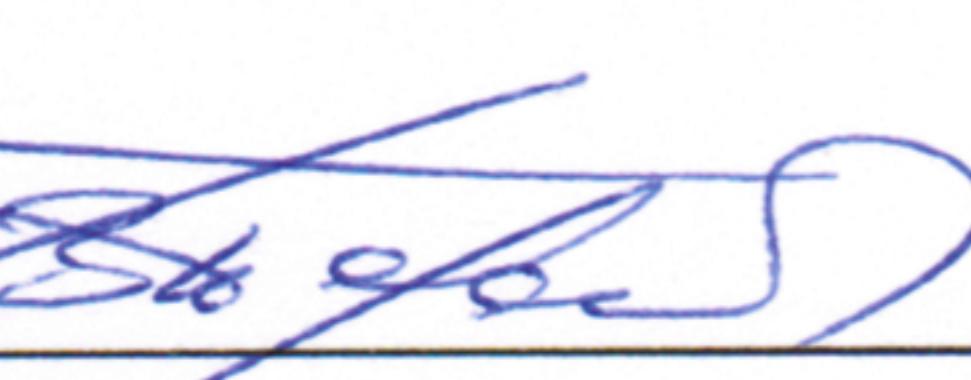
Автор диссертации, Рашоян Гагик Володяевич, безусловно, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.18 – Теория механизмов и машин.

Отзыв утвержден на НТС «Современные проблемы машиноведения» ИМиИТ ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», Протокол № 5 от 01.07.2021 г.

И.о. директора ИМиИТ  
(института мехатроники и информационных технологий)  
ФГБОУ ВО «Российский государственный  
университет им. А.Н. Косыгина  
(Технологии. Дизайн. Искусство)»  
(РГУ им. А.Н. Косыгина)  
д.т.н., проф.

 — Е.А. Рыжкова

Адрес: 119097, г. Москва,  
ул. Малая Калужская, д. 1  
Телефон: 8 (495) 811- 01-01 доб. 1303 / 1123,  
e-mail: [info@rguk.ru](mailto:info@rguk.ru)

Подлинность подписи удостоверяю  
Ученый секретарь  
Ученого совета РГУ им. А.Н. Косыгина  Парахин В.А.

