

ОТЗЫВ

официального оппонента к.т.н., доцента Ермолаева Михаила Михайловича на диссертацию Мухина Кирилла Сергеевича «Разработка и исследование механических систем относительного манипулирования с применением механизмов семейства «Дельта»», представленную в диссертационный совет 24.1.075.01 по специальности 2.5.2. Машиноведение.

Актуальность темы диссертации

В связи с увеличивающейся сложностью геометрических форм современных деталей машиностроения все более востребованными становятся механизмы, способные обеспечить их изготовление и контроль за один технологический установ. Для этого создается оборудование, которое может осуществлять относительное движение инструмента и заготовки по шести степеням свободы. Не всегда рациональным является использование одного механизма, который способен обеспечить шесть степеней свободы только инструменту ввиду технологических особенностей той или иной операции или заготовки, в связи с чем возникает необходимость использования двух модулей, которые в паре работают над выполнением одной операции.

Использование механизмов семейства «Дельта» в системах относительного манипулирования позволяет увеличить скорость выполнения таких операций и повысить точность их позиционирования, увеличить рабочую зону механизма при сохранении габаритных размеров оборудования, ввиду чего применение механизмов семейства «Дельта» в таких системах является весьма перспективным.

Кроме того, модульный принцип формирования систем относительного манипулирования позволяет быстро синтезировать новые механизмы для реализации различных задач современного машиностроения от формообразующих до вспомогательных операций и уменьшить продолжительность технологической подготовки производства к выпуску той или иной продукции.

Также анализ современных исследований в данной области показывает, что число работ, посвященных синтезу, проектированию и исследованию шестиподвижных систем относительного манипулирования невелико, хотя потенциал их внедрения в машиностроение весьма высок. В связи с этим проблема разработки и исследования механических систем относительного манипулирования с шестью степенями свободы и применением механизмов семейства «Дельта» в качестве одного из модулей является актуальной, а ее решение способствует сокращению сроков технологической подготовки производства и повышению эффективности технологического оборудования для различных задач машиностроения.

Оценка структуры и содержания работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных результатов и выводов, списка литературы из 120 наименований. Работа изложена на 184 листах машинного текста, содержит 70 рисунков и 14 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель, задачи, научная новизна, практическая значимость работы и основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена анализу известных систем относительного манипулирования, приведена возможная классификация двухмодульных систем относительного манипулирования, продемонстрированы примеры структурных схем и прототипов трехподвижных, четырехподвижных, пятиподвижных и шестиподвижных комбинаций механизмов для различных отраслей экономики. Проведен обзор известных методов кинематического анализа, а именно: методов решения прямой и обратной кинематических задач, методов построения рабочей зоны, методов анализа скоростей. Формируется вывод об актуальности и практической применимости исследования.

Вторая глава посвящена непосредственной разработке шестиподвижных механических систем относительного манипулирования с применением механизмов семейства «Дельта». Осуществляется выбор типа механической системы для разработки и дальнейшего исследования, рассматриваются

случаи $(5 + 1)$, $(4 + 2)$ и $(3 + 3)$, где в результате анализа выбирается комбинация $(4 + 2)$. Для выбранной комбинации обосновывается выбор четырехподвижного механизма параллельной структуры семейства «Дельта» с возможностью поворота вокруг горизонтальной оси. Обосновывается выбор нескольких вариантов нижних двухподвижных механизмов для обеспечения шести подвижностей механической системы в сочетании с верхним модулем. Приводятся несколько конструктивных исполнений исследуемых шестиподвижных механических систем относительного манипулирования с четырехподвижным верхним модулем типа «Дельта» и нижними двухподвижными модулями 2-RRRRR/1-U и 2-RUU/1-U с круговой направляющей, дающей возможность неограниченного вращения вокруг вертикальной оси.

В третьей главе предлагаются оригинальные алгоритмы анализа обратной кинематической задачи и алгоритмы расчета скоростей для синтезированных систем относительного манипулирования, которые учитывают относительное движение выходных звеньев верхнего и нижнего модулей. Приведен подробный алгоритм расчета рабочей зоны механической системы относительного манипулирования с учетом ограничений в шарнирах и пересечения звеньев механизмов верхнего и нижнего модулей. Представлены численные примеры расчетов обратной кинематической задачи для двух синтезированных механических систем для движения по поверхности сферы, численные примеры расчетов скоростей с верификацией предложенного алгоритма численным дифференцированием, а также проведена верификация размеров рабочей зоны при помощи моделирования в САПР.

В четвертой главе описывается разработка виртуального прототипа механической системы, проработка узлов и сопряжений, описывается процесс изготовления и сборки физического прототипа. Проводятся экспериментальные исследования разработанной механической системы

относительного манипулирования по оценке повторяемости ориентации выходного звена.

В заключении сформулированы основные выводы и результаты диссертации, полностью соответствующие задачам исследования.

По объёму и структуре диссертация соответствует установленным требованиям ВАК РФ к кандидатским диссертациям и паспорту специальности 2.5.2 «Машиноведение». Автореферат в полном объёме отражает содержание диссертационной работы и позволяет ознакомиться со всеми основными результатами, полученными автором, а также выводами и рекомендациями, вытекающими из проведенных исследований.

Научная новизна работы, обоснованность и достоверность положений, результатов и выводов

Автор сформулировал следующие положения научной новизны:

1. Разработаны структурные и кинематические схемы двухмодульных шестиподвижных механических систем относительного манипулирования, состоящие из четырехподвижного верхнего модуля в виде механизма семейства «Дельта» и двухподвижного нижнего модуля, имеющего, в том числе, возможность неограниченного вращения выходного звена.

2. Разработаны алгоритмы аналитического решения обратной кинематической задачи о положениях и задачи о скоростях для новых механических систем относительного манипулирования, являющиеся универсальными при заданном типе движений механизмов верхнего и нижнего модулей.

3. Разработан аналитический итерационный алгоритм построения рабочей зоны, учитывающий интерференцию звеньев и ограничения в шарнирах верхнего и нижнего модулей при их совместном манипулировании.

4. Разработан алгоритм проектирования шестиподвижных систем относительного манипулирования, в которых один из модулей выполнен в виде механизма параллельной структуры семейства «Дельта».

Полученные автором диссертации результаты и научные положения, выносимые на защиту, являются оригинальными. Их обоснованность и достоверность подтверждаются проверкой разработанных аналитических алгоритмов на трёхмерных моделях в САПР при решении задач обратной кинематики и анализе рабочей зоны и непосредственным численным дифференцированием при анализе скоростей. Применяемые в работе методы не противоречат классическим положениям теории механизмов и машин и теоретической механики.

Соответствие направления и темы диссертационных исследований паспорту научной специальности

Диссертация Мухина Кирилла Сергеевича «Разработка и исследование механических систем относительного манипулирования с применением механизмов семейства «Дельта»» соответствует паспорту научной специальности 2.5.2. Машиноведение, а именно следующим пунктам паспорта специальности:

1. Синтез структурных и кинематических схем механизмов и обобщенных структурных схем машин, оптимизация параметров.
2. Теория и методы проектирования машин и механизмов, систем приводов, узлов и деталей машин.
3. Методы кинематического и динамического анализа, в том числе математического моделирования, анимационного и экспериментального исследования механизмов.

Научная и практическая значимость диссертационной работы

Научная значимость работы заключается в теоретическом обосновании алгоритмов синтеза группы новых механических систем относительного манипулирования на базе механизмов параллельной структуры, а также оригинальном подходе к определению параметров их рабочей зоны и кинематических характеристик относительного движения выходных звеньев.

Практическую значимость диссертационной работы составляет разработанная группа новых шестиподвижных механических систем

относительного манипулирования. Практическая значимость работы подтверждается внедрением её результатов в АО «НПО «Пульс»» и ООО «ТОННЕЛИОН», в учебный процесс МГТУ им. Н. Э. Баумана и в научно-исследовательскую работу сотрудников ИМАШ РАН.

Замечания

1. Во второй главе не указаны количественные критерии выбора той или иной компоновки механизма для технологического оборудования. Выбор компоновки проведен по качественным критериям. Окончательный выбор компоновок 2-RRRRR/1-U и 2-RUU/1-U требует обоснования.
2. Жёсткость нижнего модуля в обеих выбранных компоновках вызывает сомнения. Требуется либо указание на отсутствие значительных сил, опрокидывающих выходное звено, либо информация о наличии дополнительных узлов, обеспечивающих жёсткость выходного звена, не указанных на рисунках 2.4 и 2.5.
3. Эксперимент, описанный в четвертой главе, проводился на установке, кинематика которой отличается от рассчитанных ранее механизмов. Вместо нижнего модуля с параллельной кинематикой в ней использован глобусный стол. Требуется обоснование допустимости такой замены и её целесообразности.
4. В главе 4 приведены данные о разбросе значений угла ориентации выходного звена, но не приведены результаты сравнения измеренных значений с теоретическими, что позволило бы верифицировать ранее предложенную расчетную модель.
5. В четвертом выводе работы указано, что результаты исследования изготовленного прототипа подтвердили наличие особых положений, в которых механическая система теряет заявленное число подвижностей, однако результаты эксперимента, подтверждающего данное утверждение, в работе не приведены.

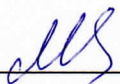
Заключение по диссертационной работе

Отмеченные замечания не снижают достоинств рецензируемой работы и достоверности полученных результатов и выводов. Основные результаты опубликованы Мухиным К. С. в семи научных работах, шесть из которых опубликованы в журналах, входящих в перечень ВАК РФ, в том числе четыре проиндексированы в базах Scopus и Web of Science, одна работа в издании, индексируемом в базе РИНЦ.

Диссертационная работа соответствует критериям, изложенным в пунктах 9-11, 13, 14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842, а ее автор Мухин Кирилл Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.2. Машиноведение.

Официальный оппонент:

Кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры «Основы конструирования машин»
ФГАОУ ВО Московского государственного технического университета
им. Н. Э. Баумана

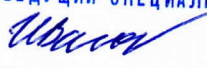
/  /

Ермолаев Михаил Михайлович

Дата « 25 » августа 2026 г.



Подпись 

ЗАВЕРЯЮ
ВЕДУЩИЙ СПЕЦИАЛИСТ ПО ПЕРСОНАЛУ
 ШАГАБУТДИНОВА И. В.
ОТДЕЛ ПО ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ
ЕДИНОЙ ПРИЁМНОЙ
УКСА
МГТУ ИМ. Н. Э. БАУМАНА