

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Нелюбовой Анны Васильевны «Управление движением манипулятора параллельно-последовательной структуры на основе трипода с дополнительной геометрической связью», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.4. Роботы, мехатроника и робототехнические системы (технические науки)

Актуальность темы диссертационного исследования

Манипуляторы на основе механизмов параллельной и параллельно-последовательной структуры имеют широкие возможности для выполнения современных технологических операций. Они находят применение в конструкциях металлообрабатывающих станков, в системах позиционирования, платформах стабилизации, упаковочных системах, в авиатренажерах и в медицинских роботах. Данные механизмы обладают существенными нагрузочными способностями, повышенной жесткостью конструкции и точностью позиционирования рабочего органа. Разработка новых и совершенствование существующих механизмов манипуляторов параллельно-последовательной структуры позволит повысить эффективность современных производственных процессов.

Манипулятор-трипод на поворотном основании с дополнительным линейным приводом обеспечивает большее рабочее пространство по сравнению с манипуляторами на основе параллельных механизмов, однако обладает низкими функциональными возможностями и ограничен в применении. Усовершенствованную версию данного манипулятора представляет собой манипулятор параллельно-последовательной структуры с трехступенным захватным устройством. Недостатки механизма такого манипулятора заключаются в трудностях подвода энергии к рабочему органу и в наличии изгибающих моментов в линейных приводах при нагружении рабочего органа, что может привести к поломке исполнительных приводов. С целью совершенствования возможностей данных манипуляторов и устранения описанных недостатков представлена новая кинематическая схема механизма манипулятора параллельно-последовательной структуры на основе трипода с дополнительной геометрической связью в виде центральной трубы, которая принимает на себя основную нагрузку и может обеспечить подачу энергии к рабочему органу манипулятора.

Актуальность данного исследования заключается в необходимости разработки методов кинематического и динамического анализа, синтеза управляющих сигналов для исполнительных приводов предложенного манипулятора параллельно-последовательной структуры на основе трипода с дополнительной связью.

Краткий анализ содержания диссертации

Диссертация представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, изложенную на 148 страницах текста. Работа включает в себя введение, пять глав с подразделами, заключение, список использованной литературы из 87 источников, а также 2 приложения. В работе представлено 63 рисунка и 6 таблиц.

Во введении представлена общая характеристика работы, обоснована актуальность диссертационного исследования, сформулированы цель и основные задачи, решаемые автором. Определена научная новизна исследования и изложены сведения об апробации работы и основных публикациях.

Первая глава диссертации посвящена обзору и анализу существующих манипуляторов в зависимости от типа кинематических схем. Автором рассмотрены как российские, и так и зарубежные гибридные манипуляционные роботы для задач механической обработки, сборки, окраски, сварки. Изучены существующие подходы к проектированию таких манипуляторов и возможности обеспечения сложных видов движений его выходного звена. Подробно рассмотрены манипуляторы на базе трипода с поворотным основанием для задач сельского хозяйства. На основе проведенного анализа предложена новая кинематическая схема гибридного манипулятора параллельно-последовательной структуры с дополнительным звеном, которое позволяет компенсировать изгибающие моменты в приводах при нагрузке рабочего органа. Выдвинуты предложения по возможным вариантам применения данного манипулятора.

Вторая глава включает в себя описание структуры механизма предложенного манипулятора, расчет его степеней подвижности. Приведено решение обратной задачи кинематики с учетом геометрических параметров манипулятора, найдены аналитические зависимости значений длин исполнительных звеньев манипулятора относительно координат его точек крепления на выходном звене. Обобщенные координаты манипулятора выражены также в системе координат дополнительного звена через углы поворота подвижной системы координат относительно неподвижной с целью аналитического решения прямой задачи кинематики. Решение данной задачи позволяет построить рабочую зону механизма манипулятора с учетом максимальных и минимальных значений длин исполнительных звеньев и угла поворота поворотного основания. Задача перемещения выходного звена из одной точки в другую рассматривается как оптимизационная задача и решается с помощью критерия минимума объема движения. Рассмотрены возможности попадания механизма в особые положения, записано уравнение, связывающее скорости исполнительных звеньев механизма и вектор скоростей обобщенных координат.

Третья глава диссертации посвящена реализации движения выходного звена манипулятора по конкретно заданной траектории с учетом требуемого закона движения по этой траектории. Предложен метод кинематического

синтеза аналитических законов программных перемещений исполнительных приводов манипуляторов параллельно-последовательной структуры с избыточным числом степеней свободы, реализующих перемещение характерной точки рабочего органа по заданной траектории. Разработанный метод основан на точечной квадратичной аппроксимации искомого закона полиномом на множестве точек последовательных положений исполнительных приводов. Множество точек последовательных положений исполнительных приводов найдено путем решения оптимизационной задачи позиционирования выходного звена манипулятора. Исследуются случаи аппроксимации траектории полиномами разной степени с учетом заданных граничных условий. Результаты численного моделирования демонстрируют эффективность предложенного алгоритма по различным программным траекториям.

В четвертой главе приводится обоснование расчетной схемы динамики манипулятора. Механизм рассматривается как система, состоящая из четырех твердых тел. Уравнения динамики представлены в матричной форме и в виде уравнений Лагранжа 2-го рода с учетом обобщенных сил сопротивления. Численно решается задача нахождения требуемых усилий при реализации движения выходного звена манипулятора по траектории с учетом заданных законов изменения обобщенных координат.

В пятой главе представлены результаты экспериментальных исследований на разработанном экспериментальном образце манипулятора параллельно-последовательной структуры с дополнительной связью. Экспериментально определяется статическая характеристика линейного привода, получена зависимость между скоростью движения штока и осевым усилием линейного привода. Получены экспериментальные кривые длин исполнительных приводов манипулятора, подтвердившие достоверность предложенных аналитических моделей и эффективность алгоритмов управления в реальных условиях функционирования манипулятора.

В заключении приведены наиболее существенные научные результаты диссертационного исследования, которые получены в ходе диссертационной работы.

В приложении представлен сборочный чертеж конструкции манипулятора и акт внедрения манипулятора.

Научная новизна результатов диссертационного исследования

– Разработана новая кинематическая схема механизма манипулятора параллельно-последовательной структуры на основе трипода с дополнительной связью, позволяющая повысить жесткость механизма и увеличить число реализуемых манипулятором технологических операций.

– Предложены методы расчета прямой и обратной задачи кинематики с учетом геометрических параметров манипулятора для двух видов обобщенных координат.

– Представлены критерии близости механизма манипулятора к особым положениям, при которых происходит потеря подвижности и возникает неконтролируемое перемещение выходного звена манипулятора.

– Предложен алгоритм программного управления перемещением исполнительных приводов манипулятора методом кинематического синтеза аналитических законов их перемещений, обеспечивающем движение выходного звена манипулятора по заданной траектории по выбранному закону.

– Разработана математическая модель динамики манипулятора параллельно-последовательной структуры с дополнительной связью в виде системы четырех твердых тел, что повышает достоверность результатов решения задач динамики.

– Получены результаты экспериментальных исследований на полномасштабном экспериментальном образце манипулятора при перемещении рабочего органа манипулятора из начального положения в заданное конечное положение

Научная и практическая значимость

Основная научная значимость состоит в развитии методов формирования моделей движения манипуляторов параллельно-последовательной структуры с дополнительной связью на основе кинематического и динамического анализа его механизма.

Практическая значимость заключается в том, что манипулятор параллельно-последовательной структуры на основе трипода с дополнительной связью может быть использован в машиностроении для операций по механической обработке и сельском хозяйстве.

Степень обоснованности научных положений и результатов

В работе находят развитие методы кинематического и динамического анализа механизмов гибридных манипуляторов параллельно-последовательной структуры на основе трипода. Поставленные задачи решаются с помощью методов аналитической механики, теории машин и механизмов, вычислительной математики и математического моделирования. Разработанные методы подтверждены экспериментально на полномасштабном образце манипулятора и не противоречат теоретическим результатам и существующим исследованиям. Результаты, представленные автором, являются новыми и являются вполне достоверными.

Достоверность

По материалам диссертации опубликована 21 публикация, в том числе 8 в ведущих научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ для публикации результатов работ по диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, 1 в научных изданиях, индексируемых международными базами данных, 2 патента на полезную модель. Результаты исследования

докладывались на профильных всероссийских и международных научных конференциях.

Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК

Кандидатская диссертация и автореферат изложены в научно-техническом стиле, содержание диссертации полностью раскрывает решаемые в работе задачи и обосновывает методы исследований. Результаты, представленные автором, не вызывают сомнений в объективности.

Замечания по диссертационной работе

1. На стр. 47–48 степень подвижности манипулятора определяется по формуле Сомова–Малышева, однако для манипуляторов параллельной и параллельно-последовательной структуры её применение требует дополнительного обоснования независимости наложенных связей и отсутствия избыточных ограничений. Кроме того, приведённое далее значение маневренности манипулятора, равное 1, не сопровождается выводом и не согласуется с классическим структурным расчётом. В связи с этим остаётся неясной корректность определения структурных характеристик рассматриваемого манипулятора.

2. Во второй главе не описано, как наличие дополнительной геометрической связи влияет на ограничения рабочего пространства манипулятора по сравнению с рассмотренными аналогами и каким образом необходимо обеспечить отсутствие пересечений звеньев.

3. При решении задачи позиционирования манипулятора критерий оптимальности (2.21) на стр. 63–64 содержит весовые коэффициенты C_1 и C_4 , а в динамической модели (формула (4.26), стр. 107) используются приведённые коэффициенты сопротивления μ . Однако значения указанных коэффициентов, принципы их выбора и влияние на результаты расчётов в диссертации не исследованы. Отсутствие анализа чувствительности получаемых решений к изменению параметров снижает степень обоснованности выводов об оптимальности выбираемого угла поворота основания манипулятора и достоверности результатов динамического моделирования.

4. В разделе 2.5 анализ особых положений фактически сводится к условию, накладываемому на угол поворота основания манипулятора, и графикам аналогов скоростей на стр. 72–75, но в работе не построены карты сингулярных областей рабочего пространства и не показаны границы безопасных зон с учетом реальных ограничений приводов.

5. В работе уравнения динамики получены на основе обобщенных координат, заданных в системе дополнительного звена, однако задача кинематического синтеза в 3 главе решается исключительно для обобщенных координат в системе 1-координат, таким образом, становится неясно, как связать данные параметры и обеспечить целостность математической модели механизма манипулятора.

Заключение

Диссертационная работа Нелюбовой Анны Васильевны на тему «Управление движением манипулятора параллельно-последовательной структуры на основе трипода с дополнительной геометрической связью» является законченной научно-квалификационной работой, в которой получен ряд новых научных результатов в области управления манипуляционных систем на основе механизмов параллельно-последовательной структуры.

Работа соответствует паспорту специальности 2.5.4. Роботы, мехатроника и робототехнические системы (технические науки), в частности пунктам 4 и 5. Текст автореферата полностью отражает содержание работы.

Несмотря на указанные замечания, диссертация соответствует критериям, изложенным в пунктах 9, 10, 11, 13, 14 Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор, Нелюбова Анна Васильевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.4. Роботы, мехатроника и робототехнические системы (технические науки).

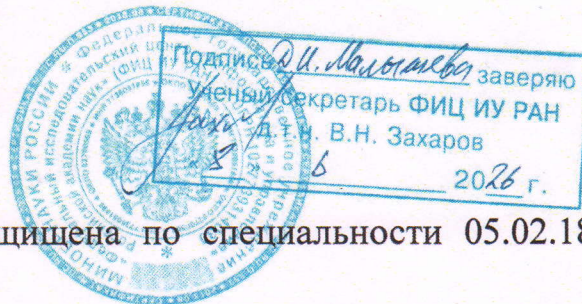
Официальный оппонент:

кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник
отдела 65 «Математическая
робототехника и искусственный
интеллект»
Федеральное государственное
учреждение «Федеральный
исследовательский центр
«Информатика и управление»
Российской академии наук»

Малышев Дмитрий Иванович

М

08.06.2026



Кандидатская диссертация защищена по специальности 05.02.18 «Теория механизмов и машин».

Место работы: Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук», отдел 65 «Математическая робототехника и искусственный интеллект»

Адрес: 119333, Москва, ул. Вавилова, д. 44, кор. 2

Телефон: +7(499)135-62-60

Электронная почта: dmalyshev@frccsc.ru

« 06 » ЛИСТОВ	Вх. № 05-65-54 « 08 06 2026 » ВолГТУ
------------------	--

С отзывом ознакомлена
09.06.2026 *Ж*