



**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт машиноведения им. А.А. Благонравова
Российской академии наук
(ИМАШ РАН)**

Малый Харитоньевский пер., дом 4, Москва 101000
телефон/факс: (495) 624-98-00, (495) 624-98-63, e-mail: info@imash.ru, www.imash.ru
ОКПО 00224588, ОГРН 1037700067492, ИНН 7701018175, КПП 770101001

03.06.2026 № 11503/7-908

На № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Исполняющий обязанности
директора ИМАШ РАН
доктор технических наук,
А.В. Гагуткин



« 3 » 2026 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу **Нелюбовой Анны Васильевны**
«Управление движением манипулятора параллельно-последовательной
структуры на основе трипода с дополнительной геометрической связью»,
представленную в диссертационный совет 24.2.282.07 на соискание ученой
степени кандидата технических наук по научной специальности
2.5.4. Роботы, мехатроника и робототехнические системы

Актуальность темы диссертационной работы

Для реализации многих технологических процессов в области машиностроения широко применяются манипуляторы на основе механизмов параллельной структуры, основным недостатком которых является сравнительно небольшая рабочая зона по сравнению с классическими манипуляторами последовательной структуры. Известен манипулятор-трипод на поворотном основании с четвертым дополнительным приводом,

благодаря перемещениям которого можно увеличить рабочее пространство манипулятора. Основные недостатки данного манипулятора заключаются в его небольших функциональных возможностях при реализации технологических операций, что существенно ограничивает применение этого устройства. Примером манипулятора параллельно-последовательной структуры является манипулятор с трехступенным захватным устройством. Недостатки механизма такого манипулятора заключаются в сложностях передачи энергии к рабочему органу и в наличии изгибающих моментов в линейных приводах при нагружении рабочего органа, что может стать причиной поломки исполнительных приводов манипулятора. Для устранения описанных недостатков разработана новая кинематическая схема механизма манипулятора параллельно-последовательной структуры с дополнительной геометрической связью в виде направляющей, которая позволяет уменьшить нагрузку на исполнительные приводы в процессе нагрузки рабочего органа и реализовать подачу энергии к нему. Необходимость разработки методов кинематического и динамического анализа, синтеза управляющих сигналов для исполнительных приводов манипулятора с дополнительной связью обосновывает актуальность данного исследования.

Диссертационная работа А.В. Нелубовой посвящена актуальной проблеме разработки алгоритмов управления манипуляторами параллельно-последовательной структуры. Исследование направлено на развитие теоретических основ алгоритмов формирования программных перемещений исполнительных приводов манипулятора параллельно-последовательной структуры с дополнительной геометрической связью на основе анализа кинематики и динамики механизма.

Содержание диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав и заключения. Список использованной литературы включает 87 наименований. Общий объем диссертационной работы составляет 148 страниц.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационного исследования, определены его цель и основные задачи, научная новизна работы, теоретическая и практическая значимость и основные положения, выносимые на защиту. Представлены методы исследования и обоснована достоверность достигнутых результатов, приведены данные об апробации работы, личном вкладе автора, публикациях по теме работы, а также сведения о структуре и объеме диссертации.

В первой главе рассмотрены современные манипуляционные системы на основе последовательной, параллельной, параллельно-последовательной кинематических схем. Описаны основные возможности использования таких манипуляторов в промышленности, медицине и сельском хозяйстве. На основе проведенного анализа предложена новая кинематическая схема манипулятора параллельно-последовательной структуры, главным отличием которой является наличие дополнительного звена, позволяющего устранить выявленные недостатки.

Во второй главе приводится описание предложенного механизма манипулятора параллельно-последовательной структуры с дополнительной геометрической связью. Представлена методика решения прямой и обратной задачи кинематики для двух наборов обобщенных координат. Обоснован алгоритм решения оптимизационной задачи позиционирования выходного звена манипулятора с кинематической избыточностью механизма. В качестве критерия оптимизации выбран минимум энергетических затрат на перемещения звеньев механизма. Получены аналитические выражения управляющей матрицы, связывающей скорости исполнительных звеньев с программными скоростями обобщенных координат манипулятора. Наличие аналитического выражения для управляющей матрицы позволяет учитывать взаимное влияние приводов на перемещение рабочего органа манипулятора и определять особые положения механизма манипулятора.

В третьей главе предложен метод кинематического синтеза программных перемещений исполнительных приводов, обеспечивающий

движение выходного звена манипулятора по заданной траектории по выбранному закону. Данный метод реализован на примере движения выходного звена манипулятора по пространственной прямой и по окружности. Полученный математический аппарат реализован в системе управления манипулятором параллельно-последовательной структуры с дополнительной связью.

В четвертой главе разработана математическая модель динамики механизма манипулятора в виде системы твердых тел. Динамическая модель сформирована с помощью уравнений Лагранжа 2-го рода в системе обобщенных координат дополнительного звена. Представлено решение прямой задачи динамики с целью подбора параметров двигателей, которые зависят от типа выполняемых манипулятором технологических операции, нагрузок и времени перемещения.

В пятой главе приведено описание конструкции полномасштабного экспериментального образца манипулятора параллельно-последовательной структуры с дополнительной геометрической связью, рассмотрена используемая система управления. Экспериментально получены изменения длин исполнительных звеньев манипулятора при движении по пространственной прямой. Экспериментальные зависимости сопоставлены с аналитическими результатами и подтверждают адекватность предложенных математических моделей.

В заключении обобщены полученные результаты, подведены общие итоги исследования и сделаны практические выводы.

Научная новизна исследования:

1. Представлена новая кинематическая схема манипулятора параллельно-последовательной структуры с дополнительной геометрической связью, которая позволяет исключить нагружение изгибающими моментами линейные приводы манипулятора, и увеличить число возможных выполняемых технологических операций.

2. Предложены методы расчета кинематических параметров манипулятора с дополнительной связью, описано решение прямой и обратной задачи кинематики для двух наборов обобщенных координат.

3. Сформулированы критерии близости к особым положениям механизма манипулятора, при которых происходит потеря подвижности выходного звена и его неконтролируемое перемещение.

4. Предложен алгоритм программного управления перемещением исполнительных приводов манипулятора методом кинематического синтеза аналитических законов их перемещений, обеспечивающий движение выходного звена манипулятора по заданной траектории по выбранному закону. Аналитический закон перемещения исполнительных приводов формируется в виде одного полинома, порядок которого определяется видом граничных условий и требуемой точностью реализации программной траектории.

5. Разработана математическая модель динамики манипулятора, описывающая движение звеньев механизма манипулятора как систему твердых тел, что повышает достоверность результатов решения задач динамики.

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

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и результатов исследования обеспечивается использованием классических законов теоретической механики, теории механизмов и машин, согласованностью с ранее опубликованными научными исследованиями других авторов и подтверждается с помощью компьютерного моделирования, численных и натуральных экспериментов.

Теоретическая и практическая значимость исследования:

В работе получили развитие аналитические методы синтеза программных перемещений исполнительных приводов, кинематического и динамического анализа механизма манипулятора параллельно-последовательной структуры на основе трипода с дополнительной геометрической связью. Практическая значимость исследований заключается в использовании алгоритмов управления движением механизмов манипуляторов при реализации технологических процессов в машиностроении. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании новых механизмов манипуляторов, расчете их кинематических и динамических характеристик при перемещении по произвольным траекториям рабочего органа и формировании системы управления движением.

Полученные результаты исследований **докладывались и обсуждались** на профильных российских и международных научных конференциях и съезде по теоретической и прикладной механике. По теме выполненного исследования **опубликована** 21 научная работа, в том числе 8 в ведущих научных изданиях, входящих в перечень ВАК, 1 в иностранном научном издании, получены 2 патента на полезную модель.

Замечания и рекомендации по работе:

1. В работе используется терминология, не в полной мере соответствующая общепринятым требованиям ГОСТ по робототехнике, например, во второй главе используется термин «зона обслуживания», а не «рабочее пространство»; «особые положения» вместо «сингулярные положения». Предложенный механизм манипулятора описывается как механизм параллельно-последовательной структуры с дополнительной связью, однако данную конструкцию рекомендуется рассматривать как механизм манипулятора гибридной структуры.

2. Во второй главе при описании алгоритма решения оптимизационной задачи позиционирования требуются уточнения, как именно осуществлялся выбор критерия оптимизации.

3. Во второй главе недостаточно подробно раскрыт подход к определению критериев близости к особым положениям, отсутствуют иллюстрации с ограничениями на параметры механизма. Также не представлены четкие рекомендации по устранению возможностей попадания механизма в особые положения.

4. В четвертой главе полученные уравнения динамики не учитывают динамику линейного привода и трение в шарнирах, что искажает описание математической модели и уменьшает возможности разработки системы управления.

5. В работе не представлены данные о мощности привода, что позволило бы оценить эффективность работы данного манипулятора и возможности практического использования для конкретного процесса.

6. В пятой главе при описании экспериментальных исследований недостаточно подробно изложено планирование эксперимента и ход проведения испытаний. Отсутствует подробный анализ полученных в ходе эксперимента данных, а также не представлены сведения о расчете ошибки позиционирования, что затрудняет оценку достоверности полученных экспериментальных данных.

Представленные замечания не снижают ценности выполненного исследования и полученных результатов. Замечания также не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

Заключение

Диссертационная работа и отзыв ведущей организации обсуждены на научно-техническом совете отдела Механики машин и управления машинами ИМАШ РАН «12» мая 2026 г., протокол № 3/26. В результате обсуждений отмечено, что представленный автором диссертации кинематический и динамический анализ механизма манипулятора параллельно-

последовательной структуры на основе трипода с дополнительной связью способствует развитию научных методов и подходов при реализации алгоритмов управления манипуляционными роботами гибридной структуры. Полученные автором результаты подтверждены экспериментально и могут быть применимы при проектировании манипуляционных систем.

Диссертация «Управление движением манипулятора параллельно-последовательной структуры на основе трипода с дополнительной геометрической связью» соответствует требованиям пунктов 9-11, 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.

Отзыв составили:

доктор технических наук по специальности 05.02.18 Теория механизмов и машин, заместитель директора по научной работе, председатель научно-технического совета отдела Механики машин и управления машинами ИМАШ РАН

Филиппов Глеб Сергеевич

кандидат технических наук по специальности 2.5.2. Машиноведение, научный сотрудник лаборатории вибротехнических систем, ученый секретарь научно-технического совета отдела Механики машин и управления машинами ИМАШ РАН

Замурагин Юрий Михайлович

«12» мая 2026 г.

Информация об организации

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт машиноведения им. А.А. Благонравова
Российской академии наук (ИМАШ РАН)

« 08 » ЛИСТОВ	Вх.№ 05-65-52 « 05 » 06 2026 г. ВолгГТУ
------------------	-----------------------------------------------

Адрес: 101000, Россия, Москва, Малый Харитоньевский переулок, д. 4
Телефон: +7 (495) 628-87-30
E-mail: info@imash.ru
Сайт: www.imash.ru
Исп. Замурагин Ю.М. zamuraginyu@imash.ru +7(499) 135 55 13

с отзывом о зкакомплена

05.06.2026