

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор федерального государственного  
бюджетного учреждения науки Института  
проблем механики им. А.Ю. Ишлинского  
Российской академии наук (ИПМех РАН)

член-корреспондент РАН

Якуш Сергей Евгеньевич

« 03 »

2019 г.



## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

**Федерального государственного бюджетного учреждения науки**

**Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук**

**на диссертационную работу Ждановой Юлии Ильдаровны**

**«Методы анализа, синтеза и алгоритмы управления антропоморфным захватным**

**модулем сервисного робота с групповым приводом выходных звеньев»,**

**представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по**

**специальности 2.5.4. Роботы, мехатроника и робототехнические системы**

**(технические науки)**

### **Актуальность темы диссертации**

К настоящему времени в современном мире произошло значительное повышение сложности организации робототехнических систем. Адаптация к условиям окружающей среды, а также объектам в этой среде, предъявляют особые требования к конструкции и синтезу систем управления захватными устройствами роботов. Роботы могут взаимодействовать с объектами с недетерминированными свойствами, например, заранее неизвестной геометрической формы или механическими свойствами поверхности и самого материала объекта. Усложнение конструкции неизбежно ведёт к снижению надёжности системы, а использование дополнительных приводов повышает массу робота и увеличивает нагрузку на информационный канал. В связи с этим появляется задача построения антропоморфных захватных модулей по новым принципам, которые решали бы поставленные задачи захвата объекта без использования дополнительных приводов и увеличения массы и габаритов захватного устройства. Анализ современного состояния

проблемы, проведённый автором настоящей диссертации, позволяет судить об актуальности вопроса, решением которого занимаются многие научные группы и конструкторские бюро, как в России, так и за рубежом.

### **Оценка структуры и содержания работы**

Диссертация общим объемом 180 страниц состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованных источников из 157 наименований и 2 приложений. Основной текст изложен на 157 страницах, включает 74 рисунка и 13 таблиц.

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, приведена информация о степени её разработанности, сформированы цели и задачи исследования, представлены данные о научной новизне, теоретической и практической значимости работы, методологии и методам исследований.

**В первой главе** выполнен аналитический обзор существующих тенденций в создании захватных модулей сервисных роботов, методов структурного и параметрического синтеза антропоморфных захватных модулей, используемых алгоритмов управления при обхвате объекта и его удержании. Автор исследует переход к созданию антропоморфных захватных модулей с принципиально новым типом исполнительных групп звеньев, в которых используется специальный групповой привод, число двигателей которого меньше числа степеней свободы системы (схема с «недостаточным приводом»). Автор диссертации показывает особенности проектирования такого привода на примере исполнительной группы кинематически связанных подсистем и пружин, имитирующих при движении поведение пальца человека. Автор проводит анализ существующих подходов к проектированию таких механизмов и приходит к выводу о необходимости развития метода построения подобных систем с учётом определения способа обхвата объектов – по контуру, щипковый, комбинированный. Автор отмечает значимость разработки алгоритмов управления для подобных схем при обхвате незакрепленных и недетерминированных объектов, контроля силового взаимодействия выходных звеньев и объекта без использования датчиков силы.

**Вторая глава** посвящена решению задач, связанных с развитием метода анализа механизмов с групповым приводом с изменяющейся структурной схемой. Определены правила отображения механизмов с групповым приводом на функциональной схеме; функциональная схема отражает тип взаимодействия звеньев, а также наличие и расположение в системе упругих элементов. Механизмы с изменяемой структурной схемой представляют собой системы, состоящие из двух подсистем: выходных звеньев и передачи движения.

Автор определил зависимость реализуемого способа обхвата объекта от вводимых связей строения и функционирования. Установленные зависимости способа обхвата от вводимых дополнительных связей автор использует для дальнейшего подхода к разработке конструкции исполнительных групп звеньев.

В **третьей главе** диссертации решаются задачи, связанные со структурным и параметрическим синтезом антропоморфного захвата с групповым приводом. Определяющим фактором при этом является качество обхвата объекта, определяемое числом точек контакта и силовым взаимодействием выходных звеньев с объектом. Автор отмечает, что ограничивающими параметрами выступают масса и габариты, зависящие от числа степеней свободы, двигателей, систем передачи движения. Автором предложен метод формирования критерия оптимальности для каждого из четырёх уровней структурного синтеза антропоморфного захватного модуля. Критерий имеет единую структуру для всех этапов в виде отношения показателя качества, определяющего функциональные свойства, характерные для этапа, к функции «затрат», выраженной через проектируемые параметры. Для каждого уровня определены возможные варианты схем построения и выполнены расчеты для каждого критерия оптимальности. Автор приводит параметры выходных звеньев, соответствующих оптимальной структурной схеме.

В **четвёртой главе** диссертации представлено решение задачи разработки алгоритмов управления двигателями исполнительных групп звеньев на этапах обхвата и удержания объекта. Установлено, что исполнительная группа с групповым приводом и изменяемой структурой может взаимодействовать с объектом по одному из семи возможных вариантов. С учетом ограничений на углы относительного поворота выходных звеньев определяется замыкающее звено, реализующее максимальное силовое воздействие на объект.

Автором диссертации разработаны алгоритмы идентификации формы недетерминированного объекта и его положения на опоре, а также алгоритм непрямого управления усилием на замыкающем звене без использования датчиков силы, основанный на непрерывном анализе значения текущего момента на двигателе и момента (приведенного), рассчитанного по заданной величине усилия на выходном звене.

В главе получены аналитические зависимости для расчета момента, приведенного к выходному валу привода, для всех возможных вариантов обхвата как функции углов относительного поворота выходных звеньев, параметров рычажной системы передачи движения и предложенного способа введения дополнительной связи функционирования.

Автор указывает, что разработанные им алгоритмы учитывают особенность функционирования группового привода – изменение числа степеней свободы системы

схват + объект манипулирования в процессе обхвата. Последовательность включения двигателей оппозитных исполнительных групп звеньев определяется на основе анализа изменения условий взаимодействия с внешним объектом и оценки внутренних параметров. Это позволяет выполнять обхват и удержание недетерминированных объектов в автоматическом режиме без участия оператора.

**В заключении** сформированы основные выводы диссертации. Автор указывает на то, что им решена важная для развития сервисной робототехники проблема повышения эксплуатационных возможностей их захватных модулей. Совокупность разработанных моделей и алгоритмов представляет собой решение актуальной научно-технической задачи, обеспечивающей построение адаптивных антропоморфных захватных модулей с малой массой, способных взаимодействовать с недетерминированными объектами при выполнении действий в условиях, потенциально опасных для человека.

Диссертация написана в соответствии с требованиями ВАК. Текст диссертации в достаточной мере сопровождается поясняющими иллюстрациями.

#### **Соответствие содержания диссертации заявленной специальности и теме диссертации**

Диссертация и научные результаты, выносимые на защиту, соответствуют теме исследования и заявленной научной специальности 2.5.4 – «Роботы, мехатроника и робототехнические системы» (технические науки) по следующим пунктам паспорта специальности:

- п.1. «Развитие теоретических основ и методов анализа, структурного и параметрического синтеза и автоматизированного проектирования роботов и робототехнических систем»;

- п.4. «Математическое и полунатурное моделирование мехатронных и робототехнических систем, включая взаимодействие со средой, анализ их характеристик, оптимизация и синтез по результатам моделирования»

- п.5. «Методы, алгоритмы, программные и аппаратные средства управления роботами, робототехническими и мехатронными системами, включая адаптивное, оптимальное, распределенное, интеллектуальное и супервизорное управление»

#### **Соответствие автореферата диссертации её содержанию**

В автореферате даются сведения об актуальности темы диссертационного исследования, новизне поставленных задач и полученных результатов, кратко излагается содержание диссертации по главам, приводится список публикаций автора по теме диссертации. Автореферат правильно и достаточно полно отражает содержание диссертации.

### **Личный вклад соискателя в получении результатов исследования**

Личное участие соискателя выразилось в формировании цели и задач исследования, выборе методов и средств исследования, проведении теоретических и экспериментальных исследований, обобщении и интерпретации полученных результатов.

Лично Ждановой Ю.И. получены следующие результаты:

- Дополнен и развит метод анализа сложных систем с изменяемой структурной схемой, позволяющей идентифицировать способ обхвата объекта. Определены необходимые конструктивные составляющие, введение которых обеспечивает реализацию способа обхвата: щипкового, по контуру, комбинированного;
- Предложен метод структурного синтеза антропоморфного захватного модуля по независимым уровням, учитывающий параметры, не связанные иерархическими связями;
- Предложен и обоснован подход к построению исполнительной группы звеньев с изменяемой структурной схемой с введением дополнительных силовых элементов между выходными звеньями и звеньями системы передачи движения, реализующий создание дополнительных силовых воздействий, удерживающих объект при обхвате и удержании;
- Разработан метод параметрического синтеза рычажной системы передачи движения выходным звеньям, обеспечивающий уменьшение поперечных габаритов исполнительной группы звеньев и стабильное значение сил на выходных звеньях при обхвате объектов предельных размеров;
- Разработан алгоритм управления двигателями оппозитных исполнительных групп звеньев при обхвате недетерминированного и незафиксированного объекта, исключающий необходимость копирующего режима, выполняемого оператором;
- Разработан алгоритм управления моментом на двигателях, обеспечивающий создание заданного усилия на выходных звеньях без установки на них датчиков сил.

### **Степень достоверности результатов исследования.**

Результаты диссертации достоверны. Достоверность обеспечивается адекватным выбором и квалифицированным использованием математического аппарата и экспериментальных методов. Достоверность результатов диссертации подтверждается также реализацией алгоритмов управления, базирующихся на результатах диссертационного исследования, в проектах, выполненных АО «НПО «Андроидная техника» по техническим заданиям ПАО «РКК «Энергия» (шифр СЧ ОКР – «ТЕЛЕДРОИД-НА»), ФГУП «Предприятие по обращению с радиоактивными отходами «РосРАО» (проект «Каньон»). Кроме того, достоверность подтверждается публикацией статей по теме диссертации в профильных рецензируемых журналах и трудах всероссийских и международных конференций.

**Теоретическая значимость полученных автором диссертации результатов** заключается в формировании принципиально новых методов: анализа механизмов «с недостаточным приводом» на основе построения функциональных схем; формализации задачи структурного синтеза антропоморфного захватного модуля, позволяющий учесть совокупность параметров, не стесненных иерархической связью; обосновании варианта построения группового привода с более эффективным силовым взаимодействием проксимального и медиальных звеньев с внешним объектом; управления заданным усилием на выходном звене, основанном на анализе приведенного момента.

**Практическая значимость полученных автором диссертации результатов** состоит в том, что им решена важная для развития сервисной робототехники совокупность задач, направленная на разработку методов синтеза и управления антропоморфными захватными модулями, обладающими повышенными эксплуатационными возможностями: обхват и удержание недетерминированных объектов без участия в управлении человека, функционирование в стесненных условиях и при наличии радиации. Предложенные алгоритмы и математический аппарат использованы при разработке исполнительных групп звеньев антропоморфного захвата и программ управления движением выходных звеньев в рамках проекта «ТЕЛЕДРОИД», выполняемого АО «НПО Андроидная техника» (ПАО «РКК «Энергия»), что обеспечило взаимодействие с объектами, определенными в техническом задании. Алгоритмы управления оппозитными исполнительными группами применены при модернизации комплекса управления захватом мобильного роботизированного манипулятора для работы с радиоактивными отходами (заказчик «РосРАО»).

#### **Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

По результатам проведенных в данной работе теоретических и экспериментальных исследований можно сформулировать ряд рекомендаций по практическому применению методов синтеза адаптивных антропоморфных захватных модулей, способных взаимодействовать с недетерминированными объектами без участия оператора. Подобные робототехнические системы могут быть использованы в потенциально опасных для человека недетерминированных средах, а также при взаимодействии с объектами с неизвестной заранее геометрической формой.

Результаты исследования могут быть рекомендованы при подготовке инженерных кадров по направлению «Робототехника и мехатроника».

## **Новизна полученных результатов**

Научная новизна работы состоит в следующем:

1. Дополнен и развит метод анализа сложных систем с изменяемой структурной схемой, позволяющей идентифицировать способ обхвата объекта. Определены необходимые конструктивные составляющие, введение которых обеспечивает реализацию способа обхвата: щипкового, по контуру, комбинированного.

2. Предложен метод структурного синтеза антропоморфного хватного модуля по независимым уровням, учитывающий параметры, не связанные иерархическими связями.

3. Предложен и обоснован подход к построению исполнительной группы звеньев с изменяемой структурной схемой с введением дополнительных силовых элементов между выходными звеньями и звеньями системы передачи движения, реализующий создание дополнительных силовых воздействий, удерживающих объект при обхвате и удержании.

4. Разработан метод параметрического синтеза рычажной системы передачи движения выходным звеньям, обеспечивающий уменьшение поперечных габаритов исполнительной группы звеньев и стабильное значение сил на выходных звеньях при обхвате объектов предельных размеров.

5. Разработан алгоритм управления двигателями оппозитных исполнительных групп звеньев при обхвате недетерминированного и незафиксированного объекта, исключающий необходимость копирующего режима, выполняемого оператором.

6. Разработан алгоритм управления моментом на двигателях, обеспечивающий создание заданного усилия на выходных звеньях без установки на них датчиков сил.

### **Замечания по диссертационной работе**

По диссертации и автореферату можно сделать следующие замечания.

1. Автор пишет о возможности обхвата объекта, последовательно касаясь его звеньями в некоторых точках. Однако захват объекта в отсутствие сил, удерживающих его в пространстве до захвата, с помощью одной исполнительной группы звеньев не представляется возможным ввиду появления неудерживающей связи при первом касании. Касание объекта может породить усилие, достаточное для смещения объекта в пространстве.

2. В настоящей диссертации рассматривается двумерный случай, однако сложная геометрическая форма объектов может потребовать учёта выскальзывания объекта в процессе захвата в любом направлении. Данный вопрос, возможно, потребует отдельного исследования при развитии темы диссертации.

3. Имеются погрешности редакционного характера. Например, в автореферате диссертации на стр. 13, сегмент, начинающийся словами «Для двухзвенной исполнительской группы ...» и заканчивающийся предложением «На одной выходном звене может располагаться несколько движителей.», повторен дважды.

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки работы.

### **Заключение по диссертации**

В соответствии с п. 10 Положения о порядке присуждения учёных степеней диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством и содержит научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, что свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку. В диссертации имеются сведения о практическом применении полученных автором диссертации научных результатов.

Основные положения и результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях, в которых должны быть опубликованы научные результаты диссертации на соискание учёной степени кандидата наук, что соответствует п. 11 и п. 13 Положения о присуждении учёных степеней.

Диссертация Ждановой Юлии Ильдаровны является завершённой научно квалификационной работой, в которой на основе разработанных методов структурного и параметрического синтеза, алгоритмов управления захватных модулей, использующих в приводе новый класс механизмов с изменяемой в процессе работы структурной схемой, разработана концепция, направленная на создание антропоморфного захватного модуля с групповым приводом выходных звеньев исполнительской группы, способного взаимодействовать с недетерминированными объектами без участия оператора. Диссертация свидетельствует о высокой квалификации её автора в области теории механизмов и механики робототехнических систем. Диссертация соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении учёных степеней, а её автор, Жданова Юлия Ильдаровна, заслуживает присуждения ей учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.4. Роботы, мехатроника и робототехнические системы (технические науки).

Отзыв на диссертацию обсужден и одобрен на расширенном заседании семинара лаборатории робототехники и мехатроники ИПМех РАН 20 мая 2026 г., протокол № 22 от 20 мая 2026 г.

Отзыв составили доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН Болотник Николай Николаевич и кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН Суханов Артем Николаевич. Диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук защищена Н.Н. Болотником по специальности 01.02.01 – Теоретическая механика. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук защищена А.Н. Сухановым по специальности 05.02.05 – Роботы, мехатроника и робототехнические системы.

Я, Болотник Николай Николаевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Я, Суханов Артем Николаевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Главный научный сотрудник  
ИПМех им. А.Ю. Ишлинского РАН,  
доктор физико-математических наук,  
член-корреспондент РАН



Болотник Николай Николаевич

3 июня 2026 г.

119526, г. Москва, пр. Вернадского, д. 101, корп. 1, тел. +7 (495) 434-35-01

E-mail: bolotnik@ipmnet.ru

Старший научный сотрудник  
ИПМех им. А.Ю. Ишлинского РАН,  
кандидат технических наук,



Суханов Артем Николаевич

3 июня 2026 г.

119526, г. Москва, пр. Вернадского, д. 101, корп. 1, тел. +7 (495) 433-77-66

E-mail: sukhanov-artyom@yandex.ru

Подписи Болотника Н.Н. и Суханова А.Н.

заверяю:

Ученый секретарь

ИПМех им. А.Ю. Ишлинского РАН

кандидат физико-математических наук



Котов Михаил Алтаевич

03.06.2026

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук (ИПМех РАН)

Адрес: 119526, г. Москва, пр-т Вернадского, д. 101, корп. 1

Тел.: +7-495-434-32-38, e-mail: [ipm@ipmnet.ru](mailto:ipm@ipmnet.ru), сайт: <https://ipmnet.ru>

*с отзывает озаконала*

05.06.2026г.

« 10 » ЛИСТОВ	Вх. № 05-65-55 « 05 » 06 2026г. ВолгГТУ
------------------	---