

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

 На правах рукописи

Герашенко Владислава Владимировна

Синтез и исследование оптимальной системы управления мехатронного модуля промышленного робота

Защита состоится «Направление подготовки 10» часов 00 мая 2025
г. в 14.00 часов на заседании государственного экзамена по направлению подготовки
27.04.04 «Управление в технических системах» в Комсомольском-на-Амуре
государственном университете по адресу: 681913, г. Комсомольск-на-Амуре,
пр. Ленина, 27, ауд. 104/3.

**АВТОРЕФЕРАТ
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ**

2025

Романовская
Инна Анатольевна

Проверено

14.06.2025 Зачтено Библиотека

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре
государственный университет»

Научный руководитель

Кандидат технических наук, доцент
Горькавый Александр Иванович

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент
"Электротехника, электроника и
электромеханика" ДВГУПС
Малышева Ольга Александровна

Защита состоится «13» июня 2025 года в 10 часов 00 мин на
заседании государственной экзаменационной комиссии по направлению
подготовки 27.04.04 «Управление в технических системах» в Комсомольском-
на-Амуре государственном университете по адресу: 681913, г. Комсомольск-на-
Амуре, пр. Ленина, 27, ауд. 104/3.

Секретарь ГЭК



А.В. Бузикаева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

В условиях стремительного развития технологий и повышения требований к производственным системам особое внимание уделяется разработке эффективных систем управления мехатронными модулями промышленных роботов. Современные условия производства характеризуются сложными динамическими процессами, изменяющимися параметрами объектов управления и воздействием внешних возмущений. Это обуславливает необходимость создания адаптивных систем управления, способных обеспечивать высокую точность, устойчивость и эффективность работы оборудования.

Актуальность темы обусловлена потребностью в повышении производительности и качества продукции за счёт внедрения интеллектуальных систем управления в автоматизированные производственные процессы. Мехатронные модули, как ключевые элементы робототехнических комплексов, требуют управления, устойчивого к параметрическим изменениям и внешним воздействиям, что делает разработку адаптивных алгоритмов управления приоритетной задачей.

Цель работы – разработка и исследование оптимальной адаптивной системы управления мехатронным модулем промышленного робота для повышения устойчивости, точности и эффективности функционирования в условиях неопределённости.

Задачи исследования:

1. Создание алгоритма или комплекса алгоритмов управления, которые оптимально сочетают в себе точность, скорость реакции и энергоэффективность. Синтез может включать разработку новых методов управления или адаптацию существующих под конкретные задачи и условия работы мехатронного модуля.

2. Анализ и оценка точности работы разработанной системы управления. Это включает в себя тестирование системы в различных режимах работы и

условиях эксплуатации, а также сравнение её эффективности с другими существующими решениями.

3. Использование компьютерного моделирования для тестирования и оптимизации системы управления, а также проведение экспериментальных исследований для подтверждения теоретических выводов.

4. Исследование, как различные факторы (например, изменения нагрузки, внешние помехи, износ компонентов) влияют на точность и надежность системы управления.

Объект исследования – мехатронный модуль как составная часть робототехнического комплекса, обеспечивающего выполнение технологических операций.

Предмет исследования – процедуры и законы управления, реализуемые в адаптивных системах для обеспечения заданных динамических характеристик.

Методология исследования базируется на теории автоматического управления, методах модального и оптимального управления, а также принципах адаптивного регулирования. Используются математическое моделирование и численные эксперименты в программных средах.

Научная новизна заключается в разработке оптимальной адаптивной системы управления с инвариантными свойствами к возмущениям.

Практическая значимость состоит в возможности применения разработанных алгоритмов в промышленных роботах для повышения их эксплуатационных характеристик, таких как точность позиционирования и устойчивость к возмущениям.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, показана научная новизна, практическая ценность.

В первой главе проведён анализ основных элементов АСУ ТП, включая общую структуру, уровни управления и роль робототехнических комплексов. Рассмотрены особенности мехатронных модулей как объектов управления,

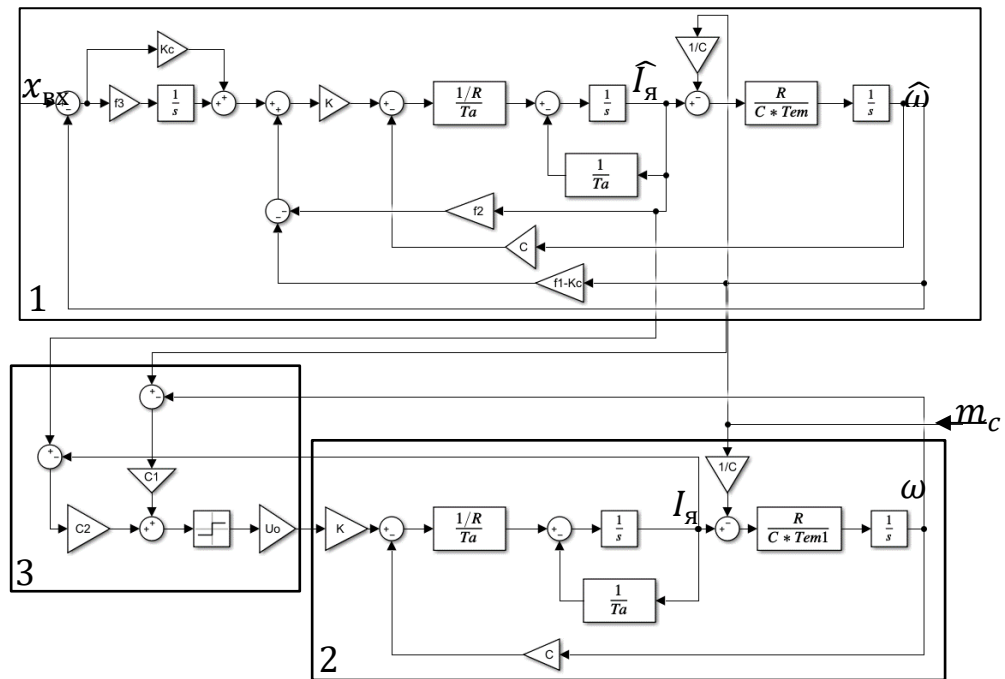
подчёркнута их значимость в обеспечении гибкости и точности производственных процессов.

Во второй главе выполнен синтез модальной и оптимальной систем управления мехатронным модулем. Описаны принципы модального управления, обеспечивающего заданное размещение корней характеристического уравнения, и оптимального управления, направленного на минимизацию функционала качества. Построены математические модели, проведено моделирование переходных процессов, показывающее улучшение быстродействия системы.

В третьей главе разработана и исследована адаптивная система управления. Предложены следующие подходы: модальная адаптивная система с организацией скользящего режима, обеспечивающая устойчивость к параметрическим изменениям; введение астатического наблюдающего устройства для компенсации внешних возмущений; адаптивная система с астатической моделью-эталонном на основе ПИ-регулятора.

Исследование системы объект-регулятор показало, что реакция по задающему воздействию соответствует желаемому виду переходного процесса. Однако реакция на возмущающее воздействие неудовлетворительная, поскольку имеется статическая ошибка. Для устранения данной ошибки включаем ПИ-регулятор с целью исключения статической ошибки по возмущающему воздействию.

Построим структурную схему системы управления мехатронным модулем, которая включает в себя модель-эталон, построенную на принципах оптимального управления с астатизмом первого порядка; объект управления (мехатронный модуль) и блок организации скользящего режима рисунок 1. Предполагается, что возмущающее воздействие оценивается силомоментным датчиком.



1 – модель-эталон с ПИ-регулятором; 2 – объект – мехатронный модуль; 3 – блок организации скользящего режима
Рисунок 1 – Структурная схема модели системы управления электромеханическим объектом

Произведём моделирование объекта управления для исследования переходных процессов рисунок 2.

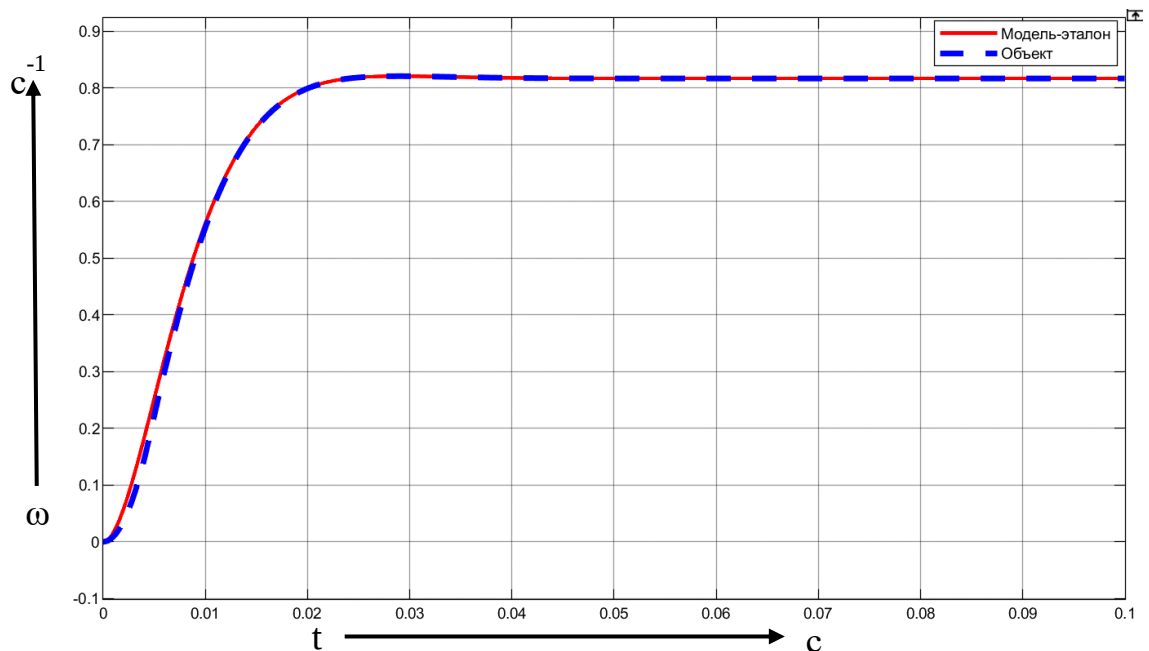


Рисунок 2 – График переходного процесса оптимальной адаптивной системы с организацией скользящего режима

На рисунке 2 изображён переходный процесс оптимальной адаптивной системы управления, построенной с использованием скользящего режима и

синтеза регулятора на основе оптимального критерия. Этот график можно считать эталонным сценарием функционирования оптимизированной системы в отсутствие внешних возмущений и использовать для сравнения с реакцией на фоне параметрических изменений или помех.

Чтобы в дальнейшем оценить, насколько фактическое поведение системы совпадает с эталонным, необходимо перейти от качественного анализа графика к количественному исследованию её динамики. Для этого произведём моделирование объекта управления при помощи программы структурного моделирования и проследим переходные процессы всех сигналов системы как по задающему, так и по возмущающему воздействиям рисунок 3.

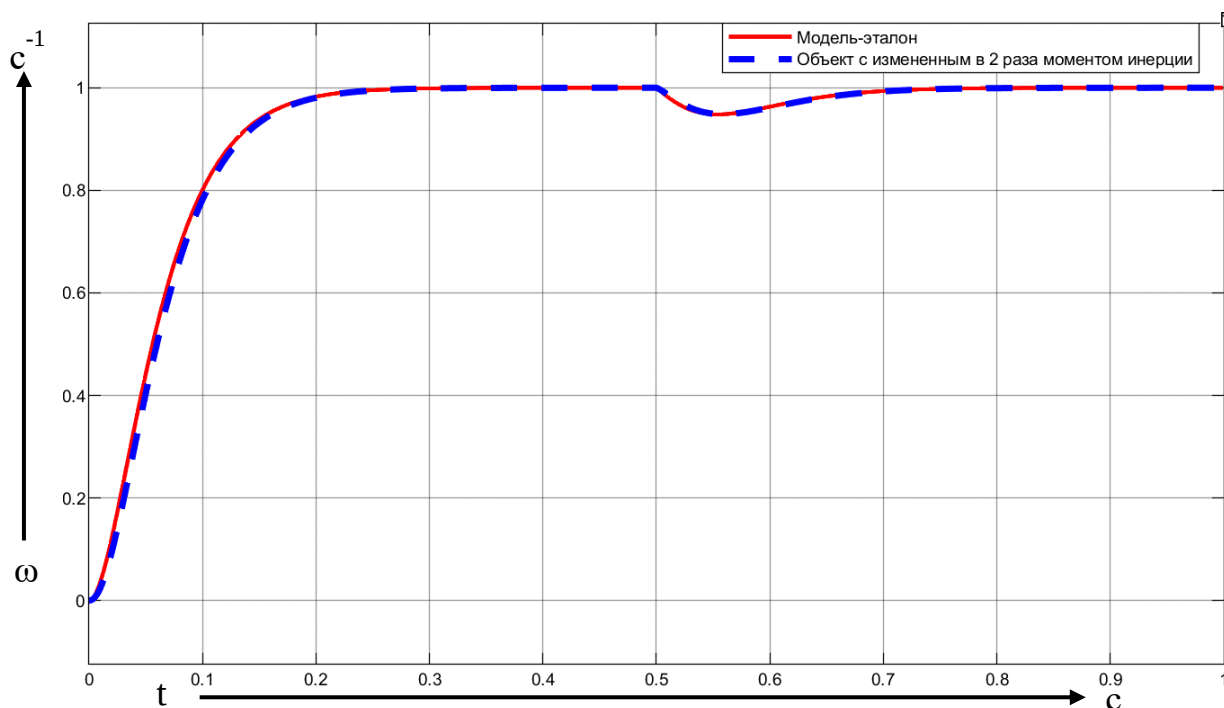


Рисунок 3 – График переходного процесса системы по задающему и возмущающему воздействиям

Проведённые расчёты и серия имитационных экспериментов подтвердили, что разработанный алгоритм обеспечивает надёжное и точное управление мехатронным модулем. Даже при многократном изменении момента инерции – как в сторону увеличения, так и уменьшения – форма переходного процесса практически не меняется: время регулирования, отсутствие перерегулирования и требуемый уровень затухания сохраняются в пределах исходных технических требований.

Статическая ошибка полностью компенсируется, то есть длительных отклонений от заданного значения не возникает. Динамическая ошибка остаётся на уровне долей процента; при необходимости её можно дополнительно снизить тонкой подстройкой параметров эталонной модели.

Высокая адаптивность к параметрическим изменениям и внешним возмущениям делает предложенную методику перспективной для систем, работающих в сложных или нестационарных условиях: робототехнических манипуляторов, высокоскоростных приводов, гибких производственных ячеек и других объектов, где требуется сочетание быстродействия, точности и устойчивости при широком диапазоне изменений внутренних параметров.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1 Разработана оптимальная система управления мехатронным модулем, с адаптивными и инвариантными свойствами.

2 Выполнен синтез математических моделей и проведено моделирование, демонстрирующее высокое быстродействие и отсутствие перерегулирования.

3 Проведён сравнительный анализ, показавший, что предложенные системы сохраняют устойчивость и точность при изменении момента инерции в несколько раз и воздействии постоянных возмущений.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

1 Геращенко, В. В. Синтез системы управления электромеханическим объектом, работающим в сложных условиях функционирования / В. В. Геращенко, А. И. Горькавый // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: Материалы VII Всероссийской национальной научной конференции молодых ученых. В 3-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 8–12 апреля 2024 года. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2024. – С. 153-155.

2 Геращенко, В. В. Адаптивная система управления мехатронным модулем / В. В. Геращенко, А. И. Горькавый // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: Материалы VIII Всероссийской

национальной научной конференции молодых ученых. В 3-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 07–11 апреля 2025 года. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2025.

3 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025661923 Российская Федерация. «программа вычисления параметров движения коллаборативного робота в конфигурационном пространстве для задачи перемещения центральной точки инструмента по дуге окружности в операционном пространстве» : заявл. 28.04.2025 : опубл. 14.05.2025 / М. А. Горькавый, М. А. Мельниченко, А. И. Горькавый, В. В. Геращенко ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет».