

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

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

На правах рукописи

Лямин Михаил Андреевич

**Разработка интеллектуальной системы управления  
транспортным роботом**

Направление подготовки

27.04.04 «Управление в технических системах»

АВТОРЕФЕРАТ

МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

2024

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

Научный руководитель	Кандидат технических наук, Доцент, заведующий кафедрой Черный Сергей Петрович
Рецензент	Кандидат технических наук, заведующий кафедрой "Электротехника, электроника и электромеханика" ДВГУПС Скорик Виталий Геннадьевич
Консультант	Кандидат технических наук, директор ООО «Композит-ДВ» Мешков Александр Сергеевич

Защита состоится «21» июня 2024 года в 9 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 современном мире значительную актуальность имеют системы автоматизации сварки с применением промышленной робототехники в самых разных областях производств. Как следствие развития автоматизированных систем сварки получили широкое распространение системы обнаружения дефектов. Не менее широко распространены системы транспортировки на базе транспортных роботизированных платформ различной конфигурации и характеристик. Прокладка магистрального трубопровода трудоемкий процесс, необходимо учитывать ландшафт местности, в определенные моменты необходимо изменять или разветвлять траекторию магистральную линию. Существующие способы автоматизированной сварки магистрального трубопровода имеют следующие общие существенные недостатки:

- неизменяемые габариты и высокий вес используемых устройств;
- для проведения работ по сварке трубопровода переменного диаметра приходится иметь на объекте несколько разных центрирующих устройств

Это формирует ряд задач по разработке и созданию роботизированных систем особого типа, предназначенных для автоматизации различных технических процессов при выполнении работ по прокладке и обслуживании магистральных трубопроводов с учетом различных параметров трубопровода.

Целью данной работы является разработка интеллектуальной системы управления взаимосвязанными электроприводами типа мотор-колесо являющимися элементами системы позиционирования транспортного робота, на основе которого разрабатывается робототехнический транспортный комплекс (РТК) для автоматизации широкого спектра технологических процессов, при выполнении работ, связанных с прокладкой и обслуживанием магистральных трубопроводов.

Основные задачи магистерской диссертации:

- 1 Проанализировать существующие решения в сфере автоматизации сварки и дефектоскопии магистральных нефте- и газопроводов;

- 2 Сформировать функциональное описание РТК с точки зрения конструкции и управления;
- 3 Разработать 3D-модель РТК с учетом функционального описания;
- 4 Проанализировать существующие варианты решения задач в области управления многоприводными системами;
- 5 Разработать математическую модель многоприводной системы состоящей из взаимосвязанных электроприводов типа мотор-колесо;
- 6 Разработать систему согласованного управления положением электроприводов типа мотор-колесо;
- 7 Разработать интеллектуальную систему управления транспортного робота;
- 8 Провести сравнительный анализ работы полученной интеллектуальной системы в сравнении с классической системой согласованного управления;
- 9 Сформировать экономическое обоснование стартап проекта.

Характеристика объекта и предмета исследования. Объектом исследования является многокаскадный нечеткий логический регулятор, реализующий процедуру согласованного управления положением взаимосвязанных электроприводов типа мотор-колесо. Предметом исследования представляются процедуры и законы управления, реализуемые такой интеллектуальной системой.

Характеристика методологического аппарата. При исследовании используются элементы интегрального и дифференциального исчисления, основные положения теории автоматического регулирования, а также теория мягких вычислений.

Научная новизна в данной работе заключается в том, что для управления сложным технологическим объектом, в разложении на составляющие представляющем в виде многодвигательной системы, было предложено решение с использованием одновременно как методик согласованного управления, так и теории нечетких множеств.

Практическая значимость подтверждается участием в различных международных и всероссийских научно-практических конференциях, среди которых стоит выделить победу в конкурсе «Умник-2023» и получения гранта (Договор №19419ГУ/2024 от 30.05.2024) на дальнейшие научные работы

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

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

**В первой главе** рассмотрены основные технические решения в области сварки магистрального трубопровода, а также в области устройств, предназначенных для дефектоскопии магистральных трубопроводов.

**Во второй главе** был сформулирован вариант технологического решения в виде робототехнического транспортного комплекса для автоматизации широкого спектра технологических процессов, при выполнении работ, связанных с прокладкой и обслуживанием магистральных трубопроводов. Для решения задачи позиционирования комплекса внутри трубопровода были отобрано решение конструкции узла позиционирования. Так же был проведен анализ подходов к управлению сложными технологическими объектами, основное внимание было уделено теории систем согласованного управления и интеллектуальным системам управления.

**В третьей главе** производится разработка интеллектуальной системы управления транспортного робота. Объектом управления будут выступать электроприводы типа мотор-колеса, установленные на конце модулей позиционирования. Исходя из конструкции модулей позиционирования была описана взаимосвязь между мотор-колесами. С учетом взаимосвязей была разработана классическая система согласованного управления электроприводами, которая в дальнейшем использовалась как эталон. Далее было проведено развитие предложенного подхода с применением развитых нечетких систем управления технологическими процессами и разработана интеллектуальная система управления электроприводами типа мотор-колесо.

Полученная система базируется на внедрении многокаскадного нечёткого регулятора.

В четвертой главе проведен анализ эффективности применения технологии нечеткого многокаскадного управления для систем согласованного управления многодвигательными системами с наличием перекрестных взаимосвязей.

В эксперименте с сигналом задания в форме единичного ступенчатого сигнала в классической системе согласованного управления время переходного процесса составило 16.5 с. В многокаскадной нечеткой системе согласованного управления с алгоритмом нечеткого вывода внутреннего каскада Мамдани время регулирования составило 3.84 с. В многокаскадной нечеткой системе согласованного управления с алгоритмом нечеткого вывода внутреннего каскада Сугено время регулирования составило 5 с (рисунок 1).

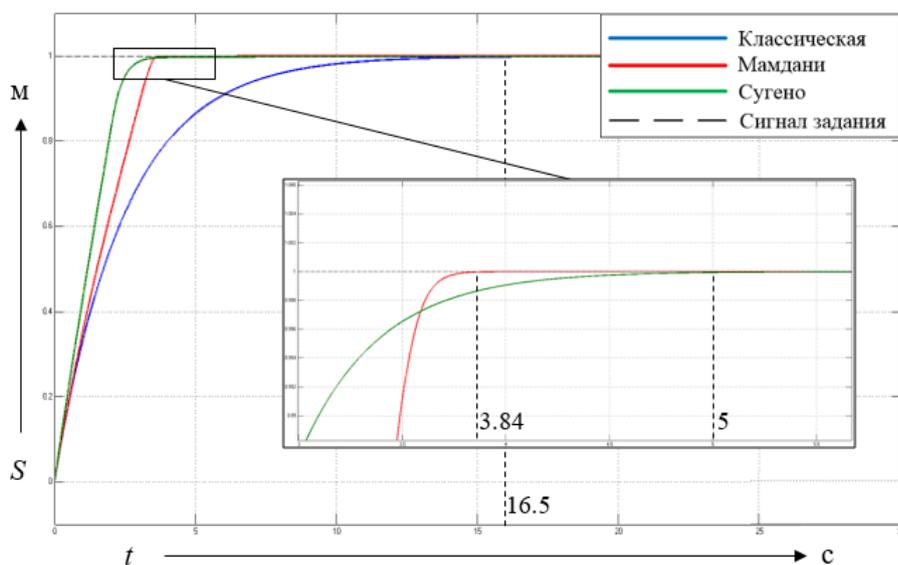


Рисунок 1 – Анализ времени переходных процессов

В классической системе согласованного управления время компенсации возмущения составило 10 с. При этом в случае рассогласованного по времени возмущения в каналах не испытывающих возмущений напрямую, наблюдается сигнал помех периодом 0.4 с. и амплитудой 0.002 м (рисунок 4.2).

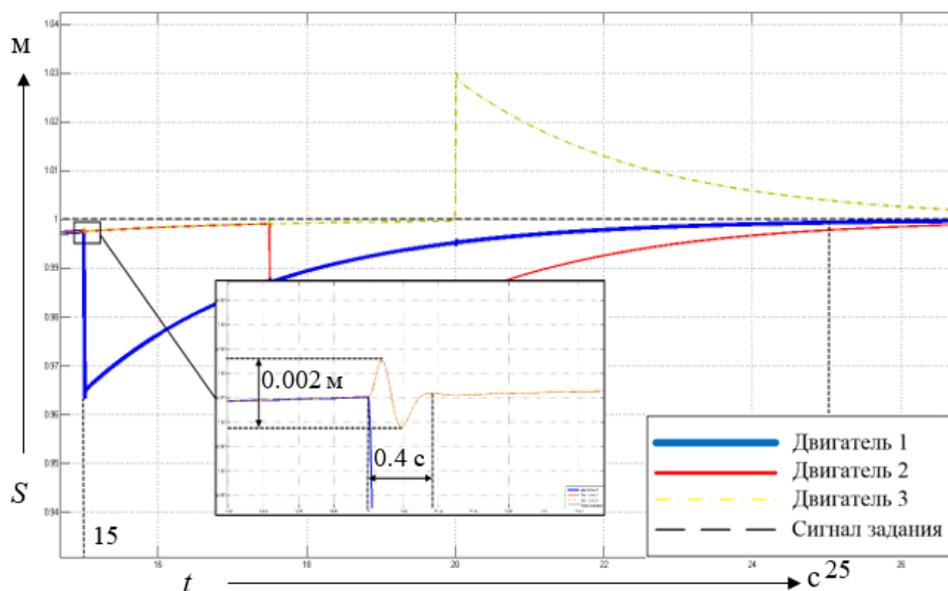


Рисунок 2 – Анализ времени компенсации возмущения классической системы

В многокаскадной нечеткой системе согласованного управления с алгоритмом нечеткого вывода внутреннего каскада Мамдани время компенсации возмущения составило 0.5 с. При этом в случае рассогласованного по времени возмущения в каналах, не испытывающих возмущений напрямую, наблюдается сигнал помех периодом 0.5 с. и амплитудой 0.001 м. (рисунок 4.3).

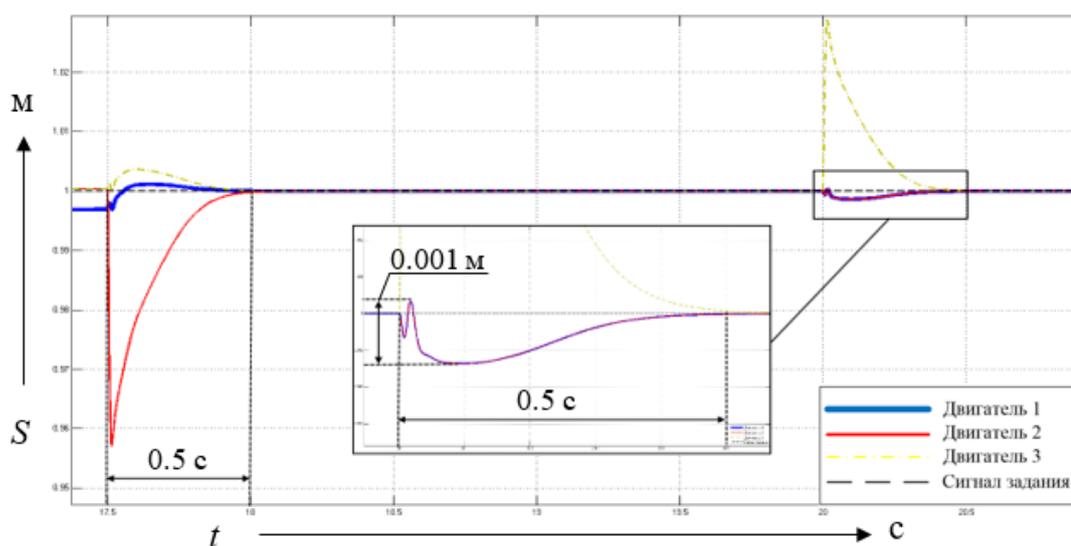


Рисунок 3 – Анализ времени компенсации возмущения многокаскадной системы с алгоритмом нечеткого вывода внутреннего каскада Мамдани

В многокаскадной нечеткой системе согласованного управления с алгоритмом нечеткого вывода внутреннего каскада Сугено время компенсации возмущения составило 2 с. При этом в случае рассогласованного по времени возмущения в каналах, не испытывающих возмущений напрямую, наблюдается сигнал помех периодом 0.03 с. и амплитудой 0.0012 м. (рисунок 4.4).

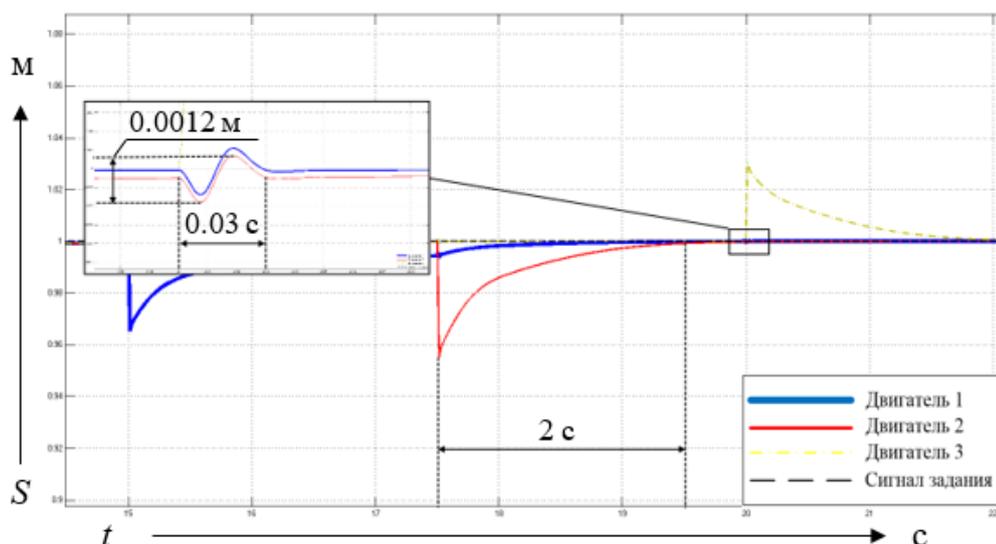


Рисунок 4 – Анализ времени компенсации возмущения многокаскадной системы с алгоритмом нечеткого вывода внутреннего каскада Сугено

В эксперименте с сигналом задания в форме синусоидального сигнала в классической системе согласованного управления запаздывание по фазе составило 1.192 с., а отставание по амплитуде составило 0,32 м. В многокаскадной нечеткой системе согласованного управления с алгоритмом нечеткого вывода внутреннего каскада Мамдани запаздывание по фазе составило 0.702 с., а отставание по амплитуде составило 0,13 м. В многокаскадной нечеткой системе согласованного управления с алгоритмом нечеткого вывода внутреннего каскада Сугено запаздывание по фазе составило 0.402 с., а отставание по амплитуде составило 0,04 м (рисунок 4.5).

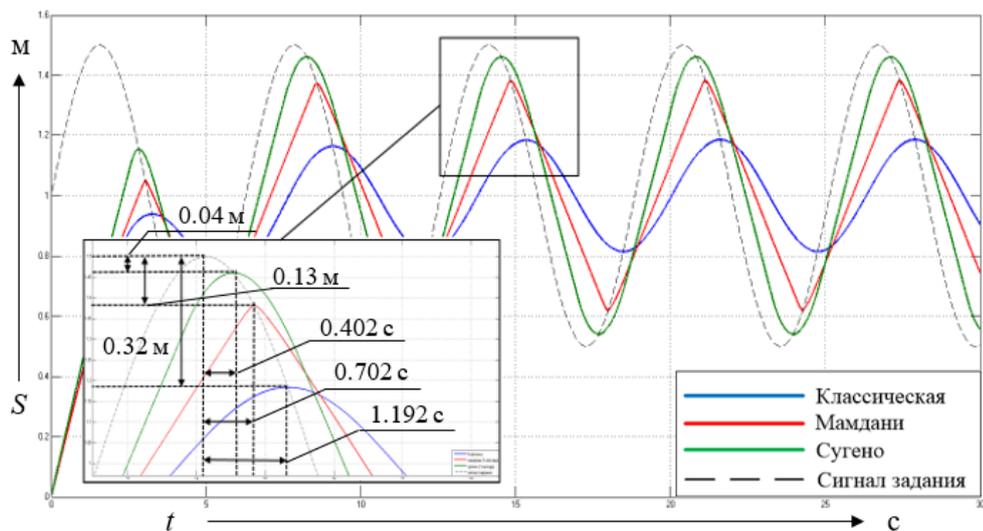


Рисунок 5 – Анализ реакции на синусоидальный сигнал задания

В классической системе согласованного управления при синусоидальном сигнале задания время компенсации возмущения составило 4 с (рисунок 4.6).

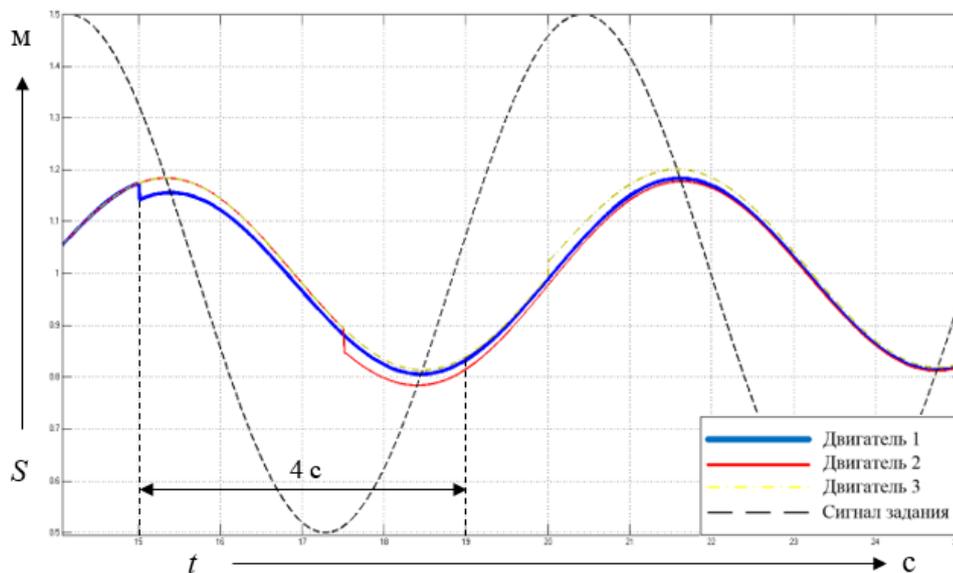


Рисунок 6 – Анализ времени компенсации возмущения классической системы

В многокаскадной нечеткой системе согласованного управления с алгоритмом нечеткого вывода внутреннего каскада Мамдани время компенсации возмущения составило 0.5 с (рисунок 4.7).

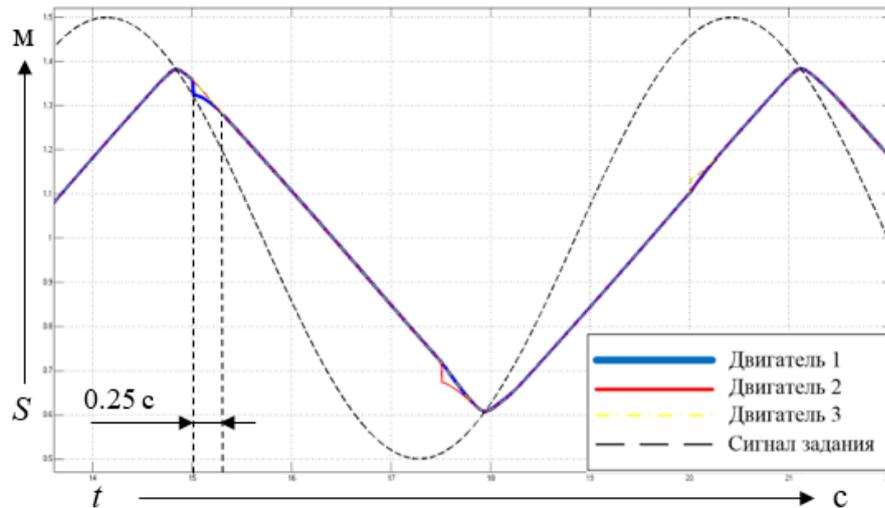


Рисунок 7 – Анализ времени компенсации возмущения многокаскадной системы с алгоритмом нечеткого вывода внутреннего каскада Мамдани

В многокаскадной нечеткой системе согласованного управления с алгоритмом нечеткого вывода внутреннего каскада Сугено время компенсации возмущения составило 1 с (рисунок 4.7).

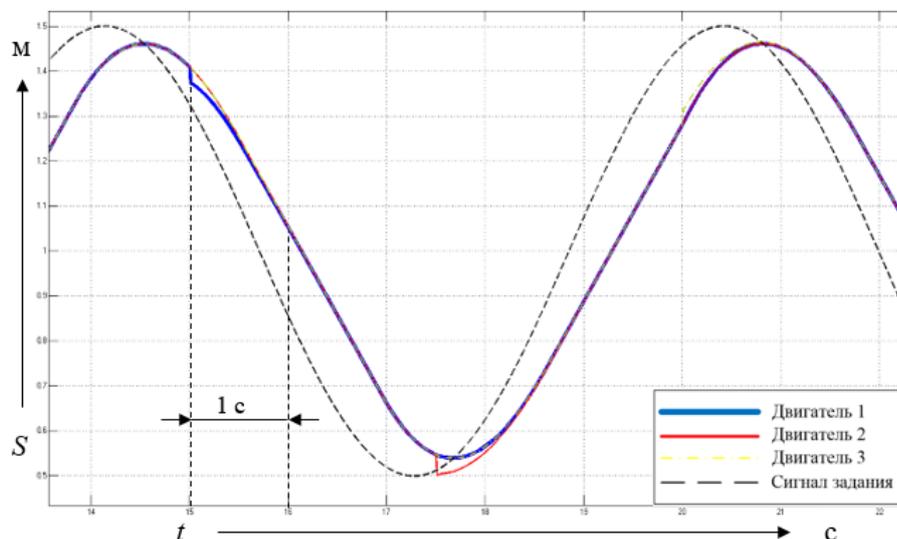


Рисунок 8 – Анализ времени компенсации возмущения многокаскадной системы с алгоритмом нечеткого вывода внутреннего каскада Сугено

Подводя итог всему вышесказанному, внедрение интеллектуальной системы управления на базе многокаскадного нечеткого регулятора в систему согласованного управления электроприводами мотор-колес транспортного

робота, являющегося базой разрабатываемого РТК для магистральных трубопроводов, дало следующие положительные эффекты:

При подаче единичного ступенчатого управляющего сигнала время переходного процесса было снижено на 76.73% в случае использования регуляторов с алгоритмом нечеткого вывода внутреннего каскада Мамдани и на 69.7% в случае использования регуляторов с алгоритмом нечеткого вывода внутреннего каскада Сугено; время компенсации возмущения было снижено на 95% в случае использования регуляторов с алгоритмом нечеткого вывода внутреннего каскада Мамдани и на 80% в случае использования регуляторов с алгоритмом нечеткого вывода внутреннего каскада Сугено;

При подаче синусоидального управляющего сигнала запаздывание по фазе было снижено на 41.1% в случае использования регуляторов с алгоритмом нечеткого вывода внутреннего каскада Мамдани и на 66.3% в случае использования регуляторов с алгоритмом нечеткого вывода внутреннего каскада Сугено; отставание по амплитуде было снижено на 59.4% в случае использования регуляторов с алгоритмом нечеткого вывода внутреннего каскада Мамдани и на 87.5% в случае использования регуляторов с алгоритмом нечеткого вывода внутреннего каскада Сугено; время компенсации возмущения было снижено на 93.75% в случае использования регуляторов с алгоритмом нечеткого вывода внутреннего каскада Мамдани и на 75% в случае использования регуляторов с алгоритмом нечеткого вывода внутреннего каскада Сугено.

Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что внедрение многокаскадных нечетких регуляторов в системы согласованного управления положением взаимосвязанных электроприводов позволяют оптимизировать систему и повысить ее эффективность по целому ряду параметров.

**В пятой главе** было разработано экономическое обоснование стартап проекта по производству предлагаемого РТК. Экономические расчеты позволяют сделать вывод о том, что проект рентабелен, и может иметь коммерческий успех.

## **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ**

1 Выполнен синтез интеллектуальной системы управления транспортного робота с использованием теории систем согласованного управления и принципов многокаскадного нечеткого управления.

2 Произведено моделирование интеллектуальной системы управления транспортного робота с различным сочетанием алгоритмов вывода.

3 Представлен сравнительный анализ интеллектуальных многокаскадных регуляторов с различным сочетанием алгоритмов нечеткого вывода.

4 Доказаны преимущество и эффективность применения интеллектуального модуля для решения задач управления многодвигательными системами с перекрёстными взаимосвязями между двигателями.

### **ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:**

1 Лямин, М. А. Робототехнический транспортный комплекс для магистральных трубопроводов / М. А. Лямин, С. П. Черный // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: Материалы VI Всероссийской национальной научной конференции молодых ученых. В 3-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 10–14 апреля 2023 года. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 235-238. – EDN UNDHOT.

2 Лямин М.А. Исследование взаимосвязей в многодвигательных системах на примере робототехнического транспортного комплекса для магистральных трубопроводов / М. А. Лямин, С. П. Черный // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: Материалы VII Всероссийской национальной научной конференции молодых ученых. В 3-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 08-12 апреля 2024 г. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2024. – С. 199-201.

3 Лямин, М. А. Система совместного управления электроприводами моторколесо робототехнического транспортного комплекса для магистральных трубопроводов / М. А. Лямин, С. П. Черный // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2023. – № 7(71). – С. 66-73. – DOI 10.17084/20764359-2023-71-66. – EDN GESPNF.