

ОТЗЫВ

на диссертационную работу Хрулькова Владимира Николаевича «Разработка и исследование интеллектуальной системы управления комбинированным траловым механизмом для перемещения высокотоннажных крупногабаритных грузов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки)

Актуальность темы диссертационной работы

Диссертационная работа Хрулькова В.Н. направлена на разработку нечетких систем управления сложным технологическим объектом на примере комбинированного тралового механизма для перемещения высокотоннажных крупногабаритных грузов. Актуальность обусловлена необходимостью внедрения технологии многокаскадных нечетких логических регуляторов при их реализации в виде интеллектуального управляющего модуля для сложных многокоординатных систем в условиях недетерминированных возмущений. Кроме того, в работе решена задача, которая направлена на повышение интеллектуальных свойств нечетких регуляторов путем иерархического построения их структуры с различным количеством уровней вложенности. Результаты, полученные в рамках диссертационной работы, основаны на едином подходе синтеза параметров внешнего и внутренних каскадов нечеткого логического регулятора.

Краткий обзор содержания работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Основной текст диссертации изложен на 132 страницах (без приложений) и содержит 88 рисунков, 1 таблицу и список литературы из 129 наименований.

Во введении представлены основные положения, выносимые на защиту, сформированы цель, предмет и объект исследования, обоснованы актуальность темы диссертации, научная новизна, практическая значимость, раскрыты методы исследования, приведены апробация работы и публикации по теме исследования, а также структура и объем работы.

В главе 1 проведен аналитический обзор методов транспортировки крупногабаритных и сверхтяжелых грузов, таких как модули электроэнергетических установок, карьерные самосвалы и нефтеперерабатывающее оборудование. Основное внимание уделено модульным траловым механизмам, которые обеспечивают грузоподъемность свыше 500 т за счет увеличения числа осей, опор и комбинирования платформ. Рассмотрены технические и организационные проблемы перевозки, включая

состояние дорожного покрытия, высокую парусность груза и логистические ограничения.

Описаны три основных способа транспортировки: водный, железнодорожный и с использованием специализированных траловых механизмов. Подробно разобраны конструктивные особенности модульных тралов, включая гидравлические системы, маятниковые оси и электронные системы мониторинга. Отмечены недостатки ручного управления.

Также проводится анализ применения интеллектуальных методов управления, таких как нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткая логика. В результате проведенного анализа выявлено, что наиболее подходящей для компенсации внешних возмущений и обеспечения устойчивости системы при реализации стандартными средствами промышленной автоматизации является теория нечетких множеств. Предложена многокаскадная система управления на основе нечетких логических регуляторов, обеспечивающая стабилизацию платформы в недермнированных условиях.

В главе 2 представлены математические модели элементов распределенной гидравлической системы модульного тралового механизма. Основное внимание уделено описанию гидроприводов и особенностям их управления с помощью пропорциональных гидрораспределителей. Выявлены достоинства и недостатки существующих различных методов регулирования элементами гидравлической системы, такими как дросселирующие гидрораспределители и системы с ШИМ-управлением.

На основе принятых допущений получены передаточные функции гидроцилиндра и пропорционального распределителя, а также обобщенная модель системы с ПИД-регулятором. Представлены кинематические и динамические уравнения подвески модульного трала, учитывающие массу платформы, жесткость подвески, демпфирование и неровности дорожного покрытия.

Проведено имитационное моделирование работы гидропривода с ПИД-регулятором, продемонстрировавшее его реакцию на возмущающие воздействия. Показаны графики переходных процессов, включая изменение положения штока и давления в системе.

Предложена функциональная схема многокаскадного нечеткого логического регулятора, включающая внешний каскад (отслеживание рассогласования между платформами) и вложенные уровни (стабилизация положения по осям и управление гидроприводами). Описаны алгоритмы вывода и функциональные зависимости для расчета управляющих сигналов, обеспечивающих устойчивость платформы при различных возмущениях.

В главе 3 представлен синтез и анализ имитационной модели гидравлической системы модульного тралового механизма с многокаскадным нечетким логическим регулятором. Основное внимание уделено разработке и настройке регуляторов различных уровней вложенности, обеспечивающих стабилизацию платформы в пространстве.

Для управления гидроприводами использован алгоритм вывода Такаги-Сугено с треугольными функциями принадлежности. Показано, что нечеткий логический регулятор первого и второго уровня эффективно компенсирует возмущения, такие как неровности дорожного покрытия, имитируемые синусоидальным сигналом с белым шумом и обеспечивает стабилизацию платформы по осям абсцисс и ординат с учетом максимальных углов отклонения.

Предложены два алгоритма позволяющие формировать управляющие сигналы: суммирование значений и пропорциональное распределение с оператором произведения. Применение оператора суммы показало более высокую точность и адаптивность при формировании структуры многокаскадного нечеткого логического регулятора.

Для четырехсекционной платформы определены ограничения, включая максимальный угол наклона дорожного полотна, разработана база правил нечеткого логического регулятора внешнего каскада, позволяющая корректировать положение платформ с учетом различных условий движения.

В главе 4 рассмотрена программная реализация многокаскадного нечеткого логического регулятора для управления модульным траловым механизмом с возможностью ее применения для промышленных средств автоматизации. Основное внимание уделено особенностям внедрения алгоритмов нечеткого управления на аппаратных платформах, таких как микроконтроллеры STM32 (серии Cortex-M7), с учетом ограничений по вычислительной мощности и памяти.

Для проверки работоспособности нечеткого логического регулятора был создан экспериментальный стенд на базе микроконтроллера STM32F746ZGT6, который взаимодействовал с имитационной моделью тралового механизма. Результаты показали, что регулятор эффективно стабилизирует платформу при продольных и поперечных отклонениях.

Отклонение результатов от эталонной модели составило не более 1,2%, что подтверждает высокую точность и применимость предложенного решения.

В заключении изложен общий вывод по диссертационной работе и представлены основные результаты исследования.

Научная новизна и основные результаты исследования. Научная новизна работы определяется предложенным автором подхода по созданию интеллектуальной системы управления, основанной на использовании комплекса специализированных нечетких модулей, образующих единую иерархическую многокаскадную структуру, что потребовало:

1. предложено структурное решение и математическое описание многокаскадного нечеткого логического регулятора на основе операторов произведения и суммы для вложенных каскадов, которое позволяет сформировать требуемые зависимости между основными параметрами технологического процесса по перемещению высокотоннажных крупногабаритных грузов;

2. модель многокаскадной нечеткой системы управления модульным траловым механизмом, позволяющая повысить возможности по перемещению объекта управления под влияние недетерминированных факторов;

3. алгоритм функционирования системы управления процессом стабилизации модульным траловым механизмом, отличающийся от ранее известных тем, что формирование управляющих процедур осуществляется многокаскадным нечетким логическим регулятором.

Достоверность и обоснованность результатов и выводов диссертации

Основные положения и результаты диссертационной работы были представлены и обсуждались на российский и международных конференциях и достаточно полно опубликованы соискателем в 20 работах, в том числе 4 статей из перечня, рекомендованного ВАК РФ, 5 статей, представленных в международных наукометрических базах цитирований, 3 свидетельств о регистрации ЭВМ.

Результаты диссертационной работы внедрены в области автоматизации технологических процессов в промышленности, а также в учебный процесс:

- разработка элементов и алгоритмов для интеллектуальной системы управления комбинированного тралового механизма, позволяющие адаптировать методы принятия решений по оптимизации перемещения крупногабаритных высокотоннажных объектов (Комсомольская дистанция электроснабжения Дальневосточной дирекции по энергообеспечению ОАО «РЖД»),

- алгоритмы нечеткого многокаскадного управления для гидравлических систем, а также модели многокаскадного нечеткого логического регулятора для мехатронных модулей синтезирующего сигнал управления вложенными каскадами на основе операторов произведения и

суммы (учебный процесс ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет»).

Соответствующие акты внедрения прилагаются.

Практическая значимость диссертационной работы

Достигается разработанной системой управления процессом стабилизации модульного тралового механизма для перемещения высокотоннажных крупногабаритных грузов, обладающей возможностью снижения негативного влияния ряда возмущающих факторов технического и технологического плана, что позволяет сократить время транспортировки, повысить надежность и сохранность технологического оборудования.

Замечания по диссертационной работе

По диссертации Хрулькова В.Н. имеется несколько замечаний.

1. Касательно анализа возможности применения нейромоделей и генетических алгоритмов автор достаточно смело утверждает, что «нет никаких гарантий получить оптимальное или качественное решение» для рассматриваемых систем. Указанные методы могут быть применены не только в прогнозировании, но и в настройке параметров динамических систем на основе достаточного объема данных о работе объекта, где можно обеспечить как качество, так оптимальность управления.

2. Формулы 2.6-2.9 полагаю применены в схемах на рис.2.5,2.6,2.9, однако после нескольких преобразований, которые не очевидны без указания промежуточных этапов преобразования. Полагаю эти преобразования имело смысл включить для более комфортного понимания.

3. При применении модульного оптимума для системы с астатизмом первого порядка можно задавать пере регулирование, однако на стр.39-40 отсутствуют пояснения: почему выбран вариант без перерегулирования и не приведены выражения для вычисления параметров ПИД.

4. В выводах ко второй главе не понятно место ПИД регулятора в общей схеме. Возможно ПИД используется только для сравнения, но для этого сложно найти пояснение в работе. Далее по работе на основании рис.3.3, можно полагать, что ПИД используется для сравнения.

5. Есть замечания к оформлению работы: сокращение НЛР (стр.26) используется раньше чем определение, которое есть на стр 27,52; Размеры надписей на рисунках должны быть меньше размера основного текста максимум на два пункта, в частности рис.2.5 и все те, где имеются структурные схемы MatLab Simulink, сложно читаются.

В целом, указанные замечания не снижают научной и практической значимости диссертационного исследования, а также не ставят под сомнение достоверность и обоснованность полученных автором результатов.

Выводы

Оценивая работу в целом, следует отметить, что, несмотря на указанные недостатки, представленная диссертация Хрулькова В.Н. на тему «Разработка и исследование интеллектуальной системы управления комбинированным траловым механизмом для перемещения высокотоннажных крупногабаритных грузов» является законченным научным исследованием на актуальную тему. Работа выполнена на высоком уровне, имеет большое практическое значение, написана технически грамотно с правильным логическим изложением материала.

Диссертационная работа отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, и соответствует пунктам 9-14 «Положения о присуждения ученых степеней» (Постановление правительства РФ от 24.09.2013 г. за № 842), а ее автор Хрульков Владимир Николаевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3 - Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки).

Официальный оппонент, доктор технических наук, доцент, профессор отделения электроэнергетики и электротехники инженерной школы энергетики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»



Шилин Александр Анатольевич

«26» мая 2025 г.

Подпись Шилина Александра Анатольевича заверяю,
И.о. ученого секретаря ТПУ Новикова Валерия Дмитриевна



«26» мая 2025 г.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Почтовый адрес: 634050, г. Томск, проспект Ленина, д. 30

Телефон: +7 (3822) 701777 Вн.т. 3425

Электронная почта: shilin@tpu.ru

Сайт: <https://www.tpu.ru/>