ОТЗЫВ

официального оппонента Снегирева Олега Юрьевича

на диссертационную работу Хрулькова Владимира Николаевича по теме «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 диссертации. В диссертационном исследовании Хрулькова Владимира Николаевича осуществляется разработка системы управления для сложного технологического объекта с применением теории мягких вычислений, в частности — комбинированного тралового механизма, предназначенного для транспортировки высокотоннажных крупногабаритных грузов. Актуальность работы определяется потребностью в применении многокаскадных нечётких регуляторов, реализованных в виде интеллектуальных управляющих модулей для многокоординатных систем, функционирующих в условиях неопределённых внешних возмущающих воздействий. Важным аспектом исследования стало усовершенствование интеллектуальных характеристик нечётких регуляторов за счёт иерархической организации их структуры с различным уровнем вложенности. Полученные результаты базируются на унифицированном методе синтеза параметров как внешнего, так и внутренних каскадов нечёткого логического регулятора. В связи с этим актуальность исследования Хрулькова В.Н. не вызывает сомнений.

Общая характеристика диссертационной работы и ее соответствие критериям научно-квалификационной работы. Диссертационная работа Хрулькова Владимира Николаевича состоит из введения, четырех глав, заключения, списка цитируемой литературы, содержащего 129 наименований и 3 приложений. Диссертация изложена на 132 страницах, содержит 88 рисунков и 1 таблицу.

Во *введении* обоснована актуальность темы диссертационного исследования, сформулированы цели и задачи, отражена научная новизна и практическая значимость, приведены основные положения, выносимые на защиту, сведения об апробации работы.

В *первой главе* проведен анализ способов транспортировки сверхтяжелых грузов, выявлены технические и логистические проблемы. Рассмотрена конструкция модульного тралового механизма, его обобщенная система управления и определены ограничения эксплуатации. Обоснована необходимость интеллектуального управления для компенсации возмущений. Сравнительный анализ методов (нейросети, генетические алгоритмы, нечеткая логика) показал преимущество применения теории мягких вычислений для управления в условиях недетерминированных возмущений.

Во *второй главе* представлено математическое описание элементов гидравлической системы модульного тралового механизма, включая модель пропорционального гидрораспределителя и гидроцилиндра. Разработана имитационная модель подвески с ПИД-регулятором, продемонстрировавшая

устойчивость к типовым видам возмущающих воздействий. Предложена структура многокаскадного нечеткого регулятора с иерархическими уровнями вложенности, обеспечивающая стабилизацию платформы.

В третьей главе представлен синтез имитационной модели гидравлической системы модульного тралового механизма с многокаскадным нечетким регулятором. Разработаны и настроены нечеткие модули управления для стабилизации платформы, включая регуляторы второго и первого уровней вложенности. Проведено моделирование работы системы при различных возмущениях, подтвердившее эффективность предложенного подхода. Сформирована база правил для внешнего каскада, обеспечивающего горизонтальное положение платформ.

В Четвертой главе рассмотрена практическая реализация многокаскадного нечеткого регулятора на микроконтроллере STM32F746ZGT6. Проведена экспериментальная проверка на стенде, подтвердившая соответствие эталонной модели с отклонением не более 1,2%. Результаты демонстрируют эффективность предложенного подхода для управления траловым механизмом.

В заключении приводятся итоговые выводы по всему объему диссертации и представлены основные результаты исследования.

Научная новизна данной диссертационной работы связана с основными результатами:

1. Разработана структура 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. Реализована модель многокаскадной нечеткой системы управления модульным траловым механизмом, которая позволила повысить возможности по перемещению объекта управления под влиянием недетерминированных факторов;

3. Предложен алгоритма функционирования системы управления процессом стабилизации модульного тралового механизма, отличающийся от ранее известных тем, что формирование управляющих процедур осуществляется многокаскадным нечетким логическим регулятором.

Практическая значимость и внедрение результатов работы.

Практическая ценность исследования подтверждается созданием системы управления, обеспечивающей стабилизацию модульного тралового механизма при транспортировке составных крупногабаритных грузов и моногрузов. Разработанное решение минимизирует воздействие технических и технологических возмущений, что способствует сокращению временных затрат на перевозку, а также повышению эксплуатационной надежности и сохранности оборудования. Автор имеет свидетельства о регистрации программы для ЭВМ на тему диссертационной работы. В приложениях, представлены акты об использовании и внедрении результатов исследований, указывающие на практическую значимость работы.

Обоснованность и достоверность основных результатов исследования подтверждается корректным применением математического аппарата,

теоретических положений из смежных научных дисциплин, аргументированным подходом к постановке задач и получению результатов. Сформулированные в диссертационной работе выводы подтверждены соответствием результатов теоретических и экспериментальных исследований, которые выполнены в достаточном объеме. Достоверность полученных результатов и выводов подтверждается тестированием предложенного решения, а также результатами прикладного исследования (приведены акты об использовании и внедрении).

Основные результаты исследования опубликованы в 20 работах, в том числе 4 – в изданиях из перечня, рекомендованного ВАК, 5 – в изданиях, индексируемых в международных базах SCOPUS и Web of Science.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации. Результаты диссертационной работы Хрулькова В.Н. могут быть использованы при решении задач в сфере транспортировки высокотоннажных и крупногабаритных грузов, в учебном процессе при подготовке специалистов в ВУЗах, а также для продолжения исследований в данном направлении.

По результатам диссертационной работы и ее оформлению имеются **замечания**:

1. Обозначения на рисунках должны быть в соответствии с текстом (например, на рис. 2.3 все обозначения прямые, а в тексте курсив). Также нет пояснения, что такое L_{AC}. Можно предположить, что это длина гидроцилиндра полностью сжатом состоянии с нулевым выдвижением штока x.
2. Непонятно, как подается возмущающее воздействие в имитационную модель, представленную на рисунке 2.9.
3. На странице 51 в первом абзаце ссылаются на рисунок 2.17, который отсутствует в работе. Возможно, неправильная ссылка на рисунок.
4. Отсутствует расшифровка некоторых переменных в формулах, например, δ в формуле (2.18).
5. На странице 62 указано, что максимальный угол отклонения платформы по оси X не должен превышать 6°, а по оси Y - 9°. Данные ограничения накладываются с учетом крайних состояний подвесной системы при условии, что по другой оси угол наклона будет равен 0°. При этом не учитывается снижение максимального угла отклонения по осям при одновременном отклонении по оси X и по оси Y

Отмеченные недостатки не снижают научной и практической значимости работы в целом.

Заключение. В целом, диссертантом получены значительные теоретические и прикладные результаты, которые содержат существенную научную новизну и практическую значимость.

В диссертационной работе решены научные задачи, соответствующие следующим пунктам области исследований специальности 2.3.3 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки)»:

п.4. Теоретические основы и методы моделирования, формализованного описания, оптимального проектирования и управления технологическими процессами и производствами;

п.5. Научные основы, алгоритмическое обеспечение и методы анализа и синтеза систем автоматизированного управления технологическими объектами;

п.6. Научные основы и методы построения интеллектуальных систем управления технологическими процессами и производствами.

В приложении к диссертации содержатся два акта внедрения и три свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Публикации и автореферат отражают содержание диссертационной работы Хрулькова В.Н. Представленная диссертация по объему, актуальности, научной и практической значимости соответствует требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013г. № 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, кандидат технических наук по специальности 2.3.3 - Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки), старший научный сотрудник лаборатории систем управления технологическими процессами Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИАПУ ДВО РАН)

Олег Юрьевич Снегирев

«09» 06 2025 г.

690041, г. Владивосток, ул. Радио, д. 5
Телефон: 8(423)231-09-26
e-mail: snegirevoleg@dvo.ru

Подпись Снегирева О.Ю. заверяю,
Ученый секретарь ученого совета ИАПУ ДВО РАН

Дмитрий Анатольевич Цуканов

«09» 06 2025 г.