

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 99.2.140.02, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КОМСОМОЛЬСКИЙ-НА-АМУРЕ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ», МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ»,
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 2 июля 2025 г. № 21

О присуждении Бузикаевой Алине Валерьевне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка и исследование систем электроприводов на базе многокаскадных нечетких регуляторов» по специальности 2.4.2 - Электротехнические комплексы и системы (технические науки) принята к защите 22.04.2025 (протокол заседания №18) диссертационным советом 99.2.140.02, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, ул. Ленина, д. 27, федерального государственного бюджетного образовательного

учреждения высшего образования «Дальневосточный государственный университет путей сообщения», Федеральное агентство железнодорожного транспорта, 680021, г. Хабаровск, ул. Серышева, д. 47, №2292/нк от 12 декабря 2023 г.

Соискатель Бузикаева Алина Валерьевна, 13.04.1995 года рождения, в 2019 году окончила федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет», в 2023 году окончила аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет», работает старшим преподавателем в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет».

Диссертация выполнена на кафедре «Электропривод и автоматизация промышленных установок» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент, Черный Сергей Петрович, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет», кафедра «Электропривод и автоматизация промышленных установок», заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты:

1. Радионов Андрей Александрович, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский политехнический университет», кафедра «Автоматика и управление», заведующий кафедрой;

2. Скорик Виталий Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования «Дальневосточный государственный университет путей сообщения», кафедра «Электротехника, электроника и электромеханика», заведующий кафедрой;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет», г. Иркутск – в своем положительном отзыве, подписанном Арсентьевым Олегом Васильевичем, кандидатом технических наук, доцентом, кафедра электропривода и электрического транспорта, заведующим кафедрой и утвержденным Кононовым Александром Матвеевичем, кандидатом геолого-минералогических наук, проректором по научной работе, указала, что диссертационная работа представляет собой завершённую научно-квалификационную работу на актуальную тему, в которой автором решена научно-техническая задача синтеза многокаскадных нечетких логических регуляторов для различных систем электроприводов, функционирующих в различных режимах; выводы и рекомендации достаточно обоснованы; автореферат диссертации достаточно полно отражает ее основное содержание. Диссертационная работа отвечает требованиям пп.9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а ее автор Бузикаева Алина Валерьевна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 - Электротехнические комплексы и системы (технические науки).

Соискатель имеет 49 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 22 работы, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 2 работы.

Общий объем публикаций по теме диссертации составляет 7,02 п.л., авторских – 4,07 п.л.; публикаций в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных ВАК РФ – 1,26 п.л., авторских – 0,84 п.л. Недостоверные сведения в опубликованных соискателем ученой степени работах отсутствуют.

Наиболее значимые работы:

- 1 Бузикаева, А.В. Моделирование интеллектуальной системы управления электроприводом в условиях действия различных критериев / А. В. Бузикаева // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. – 2024. – № 4(41). – С. 11-19. – EDN FTJUIO.
- 2 Бузикаева, А. В. Согласованное управление электроприводами типа мотор-колесо с применением теории нечетких множеств / М.А. Лямин, А.В. Бузикаева, С.П. Черный, С.А. Пячин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2025. – №2. – С. 15-29.
- 3 Бузикаева, А.В. Один из подходов к моделированию двухкаскадной нечеткой системы управления электроприводом постоянного тока с двухзонным регулированием скорости / С.И. Сухоруков, С.П. Черный, В.А. Соловьев, А.В. Бузикаева // Электротехнические системы и комплексы. 2022, №2 (55). - С. 32-39.
- 4 Бузикаева, А.В. Анализ многокаскадных нечётких регуляторов Сугено и Мамдани во внешнем каскаде для систем управления электроприводами переменного тока / А.В. Бузикаева, С.П. Черный // Ученые записки КнАГТУ 2020, № 7(47). – С. 76-84.
- 5 Бузикаева, А.В. Моделирование нечёткой системы управления электроприводом постоянного тока на основе векторно-матричного описания / С.П. Черный, А.В. Бузикаева, Ю.А. Давыдов, А.И. Годяев // Ученые записки КнАГТУ 2023, № 3(67). – С. 35-41.
- 6 Бузикаева, А.В. Особенности моделирования нечетких систем управления с комбинированным внутренним каскадом / А.В. Бузикаева, С.П. Черный, Э.Д. Енин, А.К. Тимофеев, М.И. Шестаков // Ученые записки КнАГТУ 2020, № I-1(41) «Науки о природе и технике». – С. 73-82.
- 7 Бузикаева, А.В. Анализ влияния параметров объекта регулирования на коэффициенты полинома в алгоритме вывода Сугено первого порядка / С.П. Черный, А.В. Бузикаева, М.В. Шевченко, А.К.

Тимофеев // Учёные записки КнАГТУ 2019, № II-1(38) «Науки о природе и технике». – С. 21-27.

8 Бузикаева, А.В. Один из подходов к реализации модели нечёткого логического регулятора с пространственными функциями принадлежности / С.П. Черный, А.В. Бузикаева, С.А. Васильченко, А.С. Гудим, Е.О. Полей // Учёные записки КнАГТУ 2018, Т. 1. № 4 (36). С. 25-32.

9 Бузикаева, А.В. Реализация процедур управления в системе с двухзонным регулированием на основе интеллектуального подхода / А.В. Бузикаева, А.С. Зенченко, В.В. Павлов // Производственные технологии будущего: от создания к внедрению. Материалы VI Международной научно-практической конференции молодых ученых. В 2-х частях. Редколлегия: С.И. Сухоруков (отв. ред.) [и др.]. Комсомольск-на-Амуре, 2023. Часть 1. С. 9-11.

10 Buzikaeva, A.V. Intelligent control system for the complex of ultrasonic gas-oxygen burners / A.V. Buzikaeva, S.P. Cherniy, V.A. Solovyev, D.V. Urasov // Lecture Notes in Networks and Systems. 2021. Т. 200. С. 106-116. DOI: 10.1007/978-3-030-69421-0_12.

11 Бузикаева, А.В. Разработка интеллектуальной системы управления электроприводом якорной лебедки / А.В. Бузикаева, С.П. Черный, А.К. Тимофеев // Морские интеллектуальные технологии, Научный журнал, № 4 (54), т. 1, 2021.

12 Buzikaeva, A.V. Algorithm of fuzzy controller membership function allocation at fuzzification stage / A.V. Buzikayeva, S.P. Cherniy, S.A. Vasilchenko, V.I. Susdorf // Lecture Notes in Networks and Systems. 2021. Т. 200. С. 117-125. DOI: 10.1007/978-3-030-69421-0_13.

13 Buzikaeva, A.V. Analysis of approaches to modelling the fuzzy control systems with extension of their functional capabilities / A.V. Buzikayeva, S.P. Cherniy, V.N. Khrulkov, V.I. Susdorf // EAI Endorsed Transactions on Energy Web, 2020, ew 18: e19. DOI:10.4108/eai.13-7-2018.165496.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Отзыв ведущей организации - федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет».

Отзыв положительный, подписан Арсентьевым Олегом Васильевичем, кандидатом технических наук, доцентом, заведующим кафедрой электропривода и электрического транспорта федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» и утвержден Кононовым Александром Матвеевичем, кандидатом геолого-минералогических наук, проректором по научной работе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет».

Замечания: 1. Из текста диссертации остается не понятным, каким образом исключаются или компенсируются нелинейные элементы в структуре системы управления электроприводом с двузонным регулированием скорости. 2. Неясно, как количественно улучшаются показатели динамики электропривода при внедрении нечеткого регулятора. 3. В диссертационной работе не проведено сравнение результатов модельных и экспериментальных исследований электропривода с нечетким регулятором, поэтому вопрос адекватности моделей остается открытым. 4. Материал диссертационного исследования неравномерно распределен по главам работы, например, 5 глава составляет всего 6 страниц.

2. Отзыв официального оппонента – доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой «Автоматика и управление» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет» Радионова Андрея Александровича.

Замечания: 1. Требуется дополнительное пояснение как изменится структура предложенного многокаскадного нечеткого логического регулятора

при перенастройке регулятора дополнительно и на контур скорости. 2. В тексте диссертации недостаточно описано как изменится качество основных показателей регулирования в интеллектуальной системе управления электроприводом при использовании функций принадлежности не аппроксимированного вида, а гладкой формы, например, обобщенной колоколообразной. 3. При формировании структуры МНЛР был использован нечеткий модуль с упрощенным нечетким выводом во внешнем каскаде. Чем обоснован такой выбор и почему не исследовано влияние порядка алгоритма нечеткого логического вывода Сугено на основные характеристики системы управления электроприводом. 4. В диссертации не рассмотрен вопрос проверки базы знаний МНЛР на непротиворечивость с учетом каскадности. 5. Кроме того в диссертационной работе имеется ряд замечаний редакционного характера, в частности, структурные схемы (например, рисунок 2.1) имеют подписи размером значительно меньше, чем размер основного текста (примерно в 4 раза).

3. Отзыв официального оппонента – кандидата технических наук, доцента, заведующего кафедрой «Электротехника, электроника и электромеханика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Дальневосточный государственный университет путей сообщения» Скорика Виталия Геннадьевича.

Замечания: 1. Из работы неясно, какие данные являлись основой для формирования терм-множества входных и выходных лингвистических переменных? Почему в некоторых случаях функции принадлежности приняты треугольной формы, а в некоторых – трапецеидальные? 2. В работе рассмотрены в сочетании механизмы нечеткого вывода Мамдани и Сугено. Рассматривалась ли применимость для целей управления других существующих нечетких алгоритмов (Ларсен, Цукамото, упрощенный алгоритм нечеткого вывода и т.д.?) 3. Требуется аргументации выбор в качестве метода дефаззификации центроидного метода (стр. 42). 4. В диссертационной

работе представлен подход, ориентированный на вариацию изменения режимов работы электропривода. В качестве рекомендации предлагается распространить предложенные алгоритмы управления и на другие системы электроприводов, например, тяговые. 5. По тексту диссертации наблюдаются опечатки, ошибки в нумерации рисунков, ошибки орфографического и пунктуационного характера.

Отзывы на автореферат (все положительные):

1. Отзыв Карандея Владимира Юрьевича, кандидата технических наук, доцента, заведующего кафедрой «Электроснабжение промышленных предприятий», Коробейникова Бориса Андреевича, доктора технических наук, профессора, профессора кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кубанский государственный технологический университет»

Замечания: 1. Не приведена оценка качества принятия решений многокаскадной нечеткой системой управления в зависимости от увеличения количества вложенных модулей и числа каскадов. 2. Не показана возможность аппаратной реализации многокаскадного нечеткого логического регулятора.

2. Отзыв Мельниченко Олега Валерьевича, доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой «Электроподвижной состав» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения»

Замечания: 1. В автореферате не показано, каким образом оказывает влияние на структуру и наполняемость МНЛР порядок модели системы электропривода. 2. Из автореферата остается непонятным, как изменится структура и внутреннее содержание модулей МНЛР при переходе от системы управления приводом постоянного тока к системе с переменным током.

3. Отзыв Белова Михаила Петровича, доктора технических наук, профессора, профессора кафедры «Робототехника и автоматизация

производственных систем» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»

Замечания: 1. Из автореферата не ясно, какие внешние возмущающие воздействия и нелинейности исследовались в работе при моделировании в системах управления электроприводами. 2. Из рисунков 6 и 9 автореферата не ясно, какие объекты управления моделируются, какие режимы работы этих объектов и их параметры.

4. Отзыв Филоженко Алексея Юрьевича, кандидата технических наук, доцента, доцента кафедры «Электрооборудование и автоматика судов», федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского»

Замечания: 1. Из текста остается не понятным, когда целесообразно применение многокаскадных нечетких логических регуляторов и их преимущества над ПИД. 2. Каким образом реализуется проверка баз знаний многокаскадных нечетких логических регуляторов на непротиворечивость с учетом каскадности.

5. Отзыв Кладиева Сергея Николаевича, кандидата технических наук, доцента, доцента отделения электроэнергетики и электротехники, федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Замечания: 1. С чем связан выбор функции принадлежности только треугольной и трапецевидной формы в многокаскадных нечетких регуляторах для систем управления электроприводами? 2. Из текста автореферата остается не совсем понятным, какое влияние на систему управления электроприводом окажет введение в структуру многокаскадных

нечетких логических (желательно указать количественные результаты в абсолютном или относительном виде) вместо классических ПИД-регуляторов?

6. Отзыв Лобова Бориса Николаевича, доктора технических наук, профессора, профессора кафедры «Электромеханика и электрические аппараты», Микитинского Александра Петровича, доктора технических наук, доцента, доцента кафедры «Электроснабжение и электропривод» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова»

Замечания: 1. На рис.3,5 показаны переходные процессы для электропривода постоянного тока. Время переходного процесса составляет порядка 0,15 с. На рис.8,10,11 переходные процессы для электропривода переменного тока. Не понятно, почему здесь время переходного процесса исчисляется единицами секунд. 2. В автореферате в пятой главе представлены результаты исследования предлагаемого подхода к построению следящего привода с синхронным двигателем с постоянными магнитами. Однако, в предыдущих главах ничего не сказано о синтезе регуляторов с такими двигателями, не приведены структурные схемы для данного двигателя. 3. При синтезе классической системы управления электроприводом использовался только симметричный оптимум. Но есть и другие настройки, например, модульный оптимум. 4. В качестве цели работы автор указал улучшение динамических показателей систем электропривод, однако, в Заключение не сказано, какие показатели и насколько улучшились.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается компетентностью официальных оппонентов в соответствующей отрасли науки, наличием у них публикаций по теме диссертационной работы и сферы исследования, наличием их согласия; широкой известностью ведущей организации своими достижениями в соответствующей отрасли науки и способностью определить научную и практическую ценность диссертационной работы, наличием ее согласия.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **разработан** новый научный подход многокаскадного построения интеллектуальных регуляторов систем электроприводов, позволяющий обеспечить улучшение статических и динамических характеристик.
- **предложен** нетрадиционный подход построения многокаскадных нечетких систем управления, сочетающий в себе различные механизмы нечеткого логического вывода и позволяющий расширить функциональные возможности таких систем.
- **доказана** перспективность применения многокаскадных нечетких логических регуляторов в системах управления электроприводами постоянного и переменного тока.
- **введено** понятие многокаскадной нечеткой системы управления электроприводом, позволяющей сочетать в себе различные механизмы выводов и, как результат, обеспечить достижения требуемых показателей качества.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- **доказано**, что предложенная методика настройки многокаскадных нечетких регуляторов позволяет расширить диапазон применения интеллектуальных систем управления электроприводами постоянного и переменного тока с учетом особенностей их функционирования;
- применительно методике построения многокаскадных нечетких регуляторов для систем управления электроприводами результативно **использован** комплекс существующих базовых методов исследования, основанных на положениях теории нечетких множеств, принципах организации систем управления электроприводами, методах имитационного моделирования и динамического программирования;
- **изложены** условия, согласно которым формируется структура многокаскадного нечеткого логического регулятора с различным сочетанием механизмов вывода для систем управления электроприводами;

- **изучены** факторы, позволяющие адаптировать предложенные интеллектуальные системы управления электроприводами под нестационарность параметров силовой части электромеханической системы;
- **проведена** совершенствование существующих математических моделей и алгоритмов интеллектуальных систем управления электроприводами, функционирующих на основе многокаскадных нечетких логических регуляторов.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- **разработаны и внедрены** в учебный процесс методики формирования алгоритмов многокаскадного нечеткого управления электроприводами постоянного и переменного тока, приняты к использованию теоретические и практические данные для элементов и алгоритмов интеллектуальных систем управления электроприводами, что подтверждается актами о внедрении.
- **определены** перспективы практического применения принципов структурного и параметрического синтеза многокаскадного нечеткого логического регулятора для снижения влияния нестационарности параметров электромеханической системы;
- **создана** система методических рекомендаций по структурному и параметрическому синтезу многокаскадного нечеткого регулятора в системах управления электроприводами;
- **представлены** методические рекомендации по реализации многокаскадного нечеткого логического регулятора на основе промышленного программируемого контроллера для управления процессом стабилизации скорости электропривода.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- **для экспериментальных работ** получены результаты исследований по реализации многокаскадных нечетких систем управления электроприводами с использованием аппаратных средств на сертифицированном оборудовании и показана воспроизводимость результатов исследования в различных условиях;

- **теория** построена на известных фактах и положениях базовой концепции нечетких множеств и современных принципах теории автоматического регулирования при формализации многокаскадных нечетких систем управления электроприводами, а также согласуется с опубликованными данными по теме диссертации;
- **идея базируется** на анализе обобщения практического опыта отечественных и зарубежных ученых в области интеллектуальных систем управления электроприводами, обеспечивающих требуемые показатели качества;
- **установлено** качественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в открытых источниках по данной тематике;
- **использованы** современные методы проведения имитационного и натурного моделирования, применены стандартные методики сбора и обработки исходной информации с обоснованием выбранных объектов наблюдения и измерения.

Личный вклад соискателя состоит в:

непосредственном участии соискателя в получении результатов моделирования и научных экспериментах, личном участии в апробации результатов исследования, обработке и интерпретации экспериментальных данных, подготовке основных публикаций по выполненной работе;

разработке имитационной модели систем управления электроприводами постоянного и переменного тока на базе многокаскадных нечетких регуляторов, в которой учтены влияния нелинейности и нестационарности параметров силовой части электромеханической системы;

разработке структурных решений по формированию многокаскадных нечетких систем управления электроприводами постоянного и переменного тока, учитывающих особенности механизмов нечеткого вывода при соединении каскадов;

предложении методики настройки многокаскадных нечетких логических регуляторов с различными комбинациями алгоритмов вывода для систем управления электроприводами.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания, касающиеся перенастройки многокаскадного нечеткого логического регулятора в системе управления электроприводом на дополнительный критерий; ограниченного набора сочетаний механизмов нечеткого вывода при реализации регуляторов в интеллектуальных системах управления электроприводами; о быстродействии интеллектуальной системы управления электроприводом, построенной на основе предложенного подхода.

Соискатель Бузикаева А.В. обстоятельно ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию, касающуюся обоснования применения многокаскадных нечетких систем управления в электроприводах постоянного и переменного тока, области применения многокаскадных нечетких регуляторов, а также о преимуществах нечетких систем перед классическими системами.

На заседании 2 июля 2025 года диссертационный совет принял решение присудить Бузикаевой А.В. ученую степень кандидата технических наук за решение научной задачи, вносящей вклад в развитие теории нечетких систем управления электроприводами постоянного и переменного тока на основе многокаскадных регуляторов.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 9 докторов наук (по специальности 2.4.2 – Электротехнические комплексы и системы), участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 17, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель
диссертационного совета 99.2.140.02


 Соловьев Вячеслав Алексеевич

Ученый секретарь
диссертационного совета 99.2.140.02

 Гудим Александр Сергеевич

2 июля 2025 г.