

## 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 ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 14 июня 2024 г. № 6

О присуждении Черному Сергею Петровичу, гражданину Российской Федерации, степени доктора технических наук.

Диссертация «Теория и практика развитых нечетких алгоритмов в управлении технологическими процессами» по специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки) принята к защите 11.03.2024 г. (протокол заседания №2) 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, Хабаровск, ул. Серышева, д. 47, №2292/нк от 12 декабря 2023г.

Соискатель Черный Сергей Петрович, "08" февраля 1978 года рождения, работает заведующим кафедрой «Электропривод и автоматизация промышленных установок» в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет», Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук «Разработка и исследование систем управления пиролизными установками мобильного типа на базе нечеткой логики» защитил в 2004 году в диссертационном совете, созданном на базе Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета

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

Научный консультант - доктор технических наук, Соловьев Вячеслав Алексеевич, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет», кафедра «Электропривод и автоматизация промышленных установок», профессор

Официальные оппоненты:

1. Белов Михаил Петрович, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), кафедра «Робототехника и автоматизация производственных систем», профессор;

2. Торгашов Андрей Юрьевич, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт автоматики и процессов управления» ДВО РАН, лаборатория систем управления технологическими процессами, главный научный сотрудник;

3. Шидловский Станислав Викторович, доктор технических наук, федеральное

государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», факультет инновационных технологий, декан; дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск в своем положительном отзыве, подписанном Андреевым Сергеем Михайловичем, доктором технических наук, доцентом, кафедра «Автоматизированных систем управления», заведующим кафедрой, Логуновой Оксаной Сергеевной доктором технических наук, профессором, кафедра «Вычислительной техники и программирования», заведующим кафедрой и утвержденном Тулуповым Олегом Николаевичем доктором технических наук, профессором, проректором по научной и инновационной работе указала, что диссертационная работа Черного С. П. представляет собой законченную научно-квалификационную работу на актуальную тему, в которой автором решена научно-техническая проблема синтеза развитых интеллектуальных систем управления на базе теории нечетких множеств с применением каскадного подхода, учитывающего различные сочетания алгоритмов выводов, а также гомогенную и гетерогенную структуру внутренних наполняющих модулей; выводы и рекомендации достаточно обоснованы; автореферат диссертации достаточно полно отражает ее основное содержание; отвечает требованиям пп.9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а ее автор Черный Сергей Петрович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.3 - Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Соискатель имеет 68 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 49 работ, из них 2 монографии, 25 статей в журналах, представленных в рекомендуемом перечне ВАК, 1 патент на изобретения и 6 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ, а также 15 работ проиндексированных в международных наукометрических базах Scopus и WoS. Общий объем публикаций

по теме диссертации составляет 15,31 п.л., авторских – 6,12 п.л.; публикаций в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных ВАК РФ – 10,63 п.л., авторских – 4,25 п.л. Недостоверные сведения в опубликованных соискателем ученой степени работах отсутствуют.

Наиболее значимые работы:

1. Черный С.П. Один из подходов к моделированию двухкаскадной нечеткой системы управления электроприводом постоянного тока с двухзонным регулированием скорости / С.П. Черный, В.А. Соловьев, А.В. Бузикаева, С.И. Сухоруков. – Электротехнические системы и комплексы. 2022. №2 (55). С. 32-39. (К2, ВАК)
2. Черный С.П. Повышение точности компенсации нелинейных элементов систем управления / С.П. Черный, В.А. Соловьев, Д.О. Савельев. - Известия вузов. Приборостроение. 2020. Т. 63, № 3. С. 157—166. DOI: 10.17586/0021-3454-2020-63-3-157-166
3. Черный С.П. Разработка интеллектуальной системы управления электроприводом якорной лебедки / С.П. Черный, А.В. Бузикаева, А.К. Тимофеев. - Морские интеллектуальные технологии, Научный журнал, № 4 (54), т. 1, 2021
4. Cherniy S.P. Analysis of approaches to modelling the fuzzy control systems with extension of their functional capabilities / S.P. Cherniy, A.V. Buzikayeva, V.I. Susdorf, V.N. Khrulkov. - EAI Endorsed Transactions on Energy Web, 2020, ew 18: e19. DOI:10.4108/eai.13-7-2018.165496
5. Черный С.П. Система совместного управления электроприводами мотор-колесо робототехнического транспортного комплекса для магистральных трубопроводов / С.П. Черный, М.А. Лямин. - Ученые записки КнАГТУ 2023 № 7(71) «Науки о природе и технике». С. 66 – 73
6. Cherniy S.P. Modeling Multi-Cascade Fuzzy Controller with Integrated Implementation of Various Control Laws / S.P. Cherniy, A.V. Buzikayeva, V.I. Susdorf. - 2019 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon) DOI: 10.1109/URALCON.2019.8877652

7. Черный С.П. Анализ устойчивости нечетких систем управления в малом, в большом, в целом / С.П. Черный, Д.А. Манчук.- Современные наукоемкие технологии, Пенза: Издательский Дом "Академия Естествознания", 2014, № 5-1 – С. 74-75
8. Черный С.П. Особенности моделирования систем управления сложными объектами, требующими учета геометрических параметров / С.П. Черный, Д.О. Савельев, Н.Р. Сбитнев, П.О. Саяпина. - Ученые записки КнАГТУ 2024 № I(73) «Науки о природе и технике», С. 4-10. (К2, ВАК)
9. Черный С.П. Моделирование развитой нечёткой системы управления с интеграцией внутренних модулей на основе оператора умножения // С.П. Черный, А.В. Охотников - Ученые записки КнАГТУ, 2023 № 1(65), «Науки о природе и технике». – С. 102 – 108
10. Cherniy S. Multi-stage Fuzzy Controller for a Multi-motor System / Sergey Cherniy, Kirill Emelyanov - 2023 IEEE XVI International Scientific and Technical Conference Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE), 13 December 2023, Novosibirsk, Russian Federation DOI: 10.1109/APEIE59731.2023.10347676
11. Соловьев В.А. Искусственный интеллект в задачах управления. Интеллектуальные системы управления технологическими процессами / В.А. Соловьев, С.П. Черный. - Владивосток, «Дальнаука», 2010, 280 с.
12. Программа оптимизации распределения функций принадлежности нечеткого регулятора при заданных показателях качества системы управления. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2003612124/ Москва, 11 сентября 2003г
13. Программная реализация многокаскадного нечеткого логического регулятора с алгоритмом вывода Мамдани во внешнем каскаде для формирования процедур управления мобильной пиролизной установкой. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2022664286 / Москва 27 июля 2022.
14. Программа реализации многокаскадного нечеткого регулятора с механизмом вывода Сугено во внешнем каскаде. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2022663048 / Москва, 11 июля 2022.

15. Программная реализация многокаскадного нечеткого логического регулятора для электропривода постоянного тока. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2022680044 / Москва, 26 октября 2022.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Ведущей организации – федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

Отзыв положительный, подписан Андреевым Сергеем Михайловичем, доктором технических наук, заведующим кафедрой «Автоматизированных систем управления» и Логуновой Оксаной Сергеевной доктором технических наук, заведующим кафедрой «Вычислительной техники и программирования» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Замечания: 1. В работе автор делает вывод о необходимости формирования многокаскадных нечетких регуляторов для устранения существующих недостатков классических нечетких систем регулирования. Однако при исследовании работы таких регуляторов автор ограничивается системами управления с вложенностью каскадов не более двух; 2. При оценке качества переходных процессов в системах с нечеткими регуляторами автор производит сравнение с переходными процессами, полученными в системах с ПИД-регуляторами. При этом не приводится описание методики настройки ПИД-регуляторов в каскадной системе регулирования и сами значения настроечных параметров ПИД-регулятора; 3. Автором предложено интеллектуальное переключающее устройство позволяющее выбирать различные настройки системы управления в соответствии с критериями «МО» и «SO» в зависимости от сочетания различных условий в технологическом объекте. Проведенные автором исследования работы переключающего устройства не дают полного представления об условиях переключения на разные критерии управления, так эти условия в неявном виде заданы в базе правил (рис. 3.76 – 3.78); 4. При формировании многокаскадной нечеткой системы управления автором применен

алгоритм вывода Сугено первого порядка, для которого приведены результаты исследований качественных характеристик переходных процессов в системе. В работе нет данных о влиянии на качественные показатели системы управления при использовании алгоритма нечеткого вывода Сугено порядка выше первого; 5. При формировании функций принадлежности пространственной формы в многомерном пространстве не показаны особенности их формирования в зависимости от сочетания алгоритмов нечеткого логического вывода; 6. При описании результатов, полученных автором на экспериментальном лабораторном стенде, перечислены технические средства, используемые при реализации системы управления, однако сама организация технических средств не приведена.

2. Отзыв официального оппонента – 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)» Белова Михаила Петровича.

Замечания: 1. Диапазоны изменения нестационарных параметров объекта регулирования в диссертационной работе в явном виде не указаны; 2. Не показано влияние увеличения количества звеньев, за счет внедрения многокаскадности в канал регулирования на вопросы устойчивости системы управления; 3. В работе представлен синтез нечеткого логического регулятора с одним вложенным каскадом и не проведена оценка влияния более глубокой вложенности на основные показатели качества; 4. Для развитой нечеткой системы, в случае повышения вложенности можно ли использовать принцип комбинированного соединения элементов внутренних каскадов; 5. Не показано, как скажется на устойчивости системы внедрение в структуру многокаскадного нечеткого логического регулятора нелинейных звеньев типа произведение.

3. Отзыв официального оппонента – доктора технических наук, доцента, главного научного сотрудника лаборатории систем управления технологическими процессами федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт автоматизации и процессов управления Дальневосточного отделения

Российской академии наук Торгашова Андрея Юрьевича.

Замечания: 1. В работе рассмотрено построение внешнего каскада нечеткого регулятора на основе алгоритма вывода Сугено нулевого порядка и не понятно, как скажется повышение порядка этого алгоритма на структуру и свойства многокаскадной нечеткой системы; 2. Не проводилась оценка скорости вычислений при реализации многокаскадного нечеткого логического регулятора при достижении заданных показателей качества одновременно по нескольким критериям; 3. Не показаны в полном объеме исследования нечеткого регулятора с пространственными функциями принадлежности для многомерного объекта управления; 4. Основная масса многокаскадных нечетких логических регуляторов в диссертационной работе базируется на использовании известных функций принадлежности нечетких множеств (например, треугольного вида), и обоснование выбора используемых форм функций принадлежности недостаточно изложено; 5. Для случая гетерогенности структуры многокаскадного нечеткого регулятора подразумевается наличие во внутреннем каскаде различных алгоритмов логического вывода, но результаты исследования динамики замкнутого контура в условиях неопределенности параметров модели объекта для данного случая не приведены в работе.

4. Отзыв официального оппонента – доктора технических наук, декана факультета инновационных технологий федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» Шидловского Станислава Викторовича.

Замечания: 1. В теме диссертации заявлен термин «развитые алгоритмы...», но по тексту работы такой термин не используется; 2. Сокращение «алгоритмической сложности» и «информационной избыточности» в работе оценивается, в основном, на субъективном суждении автора; 3. Хотя по материалам диссертации становится понятно, каким образом автор обеспечивает вариативность сочетания алгоритмов логических выводов, однако, в целом, отсутствует методическая оценка поиска оптимального сочетания; 4. В части диссертации, посвященной системам



управления электроприводами, отсутствует информация о настройке классических регуляторов, поэтому вызывают сомнения переходные процессы по скорости, приведенные автором. Например, при учете ограничения на ускорение; 5. Автор привел результаты исследования на устойчивость для различных структур, однако неясно: не возникают ли особые точки в процессе реализации вариативности алгоритма управления?

### **Отзывы на автореферат (все положительные)**

1. Отзыв Дунаева Михаила Павловича, доктора технических наук, профессора, профессора кафедры «Электропривод и электрический транспорт» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет». Замечания: 1. В работе рис. 5 представлен как «Математическая модель многокаскадной системы управления», в тоже время аналогичная по виду структура на рис. 15 представлена как «Структурная схема ОУ с многокаскадной нечеткой системой управления»; 2. На рис. 7.6 приведены переходные процессы по скорости, из которых сделан недостаточно обоснованный вывод, что «Результаты проведенного эксперимента показали достаточную точность и качество процедур управления, формируемых многокаскадным НЛР»; 3. Многие рисунки, представленные в автореферате, имеют низкое качество и трудно читаемы; 4. На рис. 2.и 3. отсутствует обозначение входных и выходных величин; 5. В тексте автореферата встречаются синтаксические ошибки и пропуски слов.

2. Отзыв Дудкина Максима Михайловича, доктора технических наук, доцента, профессора кафедры «Электропривод, мехатроника и электромеханика» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», Белоусова Евгения Викторовича, кандидата технических наук, доцента кафедры «Электропривод, мехатроника и электромеханика», федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)». Замечания: 1. Брались ли во

внимание работы С.В. Емельянова по синтезу систем управления с переменной структурой? Является ли математическоеписание нечеткого регулятора, приведенного в главе 2, качественно новым? 2. Какова по экспертной оценке автора граница применения того или иного принципа построения системы управления? Когда нужно использовать классические алгоритмы расчета, а когда целесообразнее переходить к предлагаемым автором системам? 3. Существуют ли аппаратные ограничения серийных микропроцессорных систем для реализации пространственных функций принадлежности?

3. Отзыв Шилина Александра Анатольевича, доктора технических наук, профессора отделения электроэнергетики и электротехники инженерной школы энергетики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет». Замечания: 1. Из материалов, изложенных в автореферате, не ясно каким образом проводится оценка сокращения «алгоритмической сложности» и «информационной избыточности» предложенных многокаскадных нечетких регуляторов; 2. В автореферате, не указаны диапазоны коэффициента нестационарности параметров объекта регулирования; 3. На рисунках 9, 15, 18 автореферата обозначения блоков сложно прочитать, однако в электронном варианте можно все увидеть. На рис. 3 во всех блоках возможно лишний символ.

4. Отзыв Радионова Андрея Александровича, доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой «Автоматика и управление», федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет». Замечания: 1. В автореферате диссертации недостаточно информации и требует пояснения вопрос, каким образом автор обеспечивает вариативность сочетания алгоритмов логических выводов; 2. Из автореферата также остается не понятным, почему нечеткий регулятор Сугено внешнего каскада реализован только на основании алгоритма вывода низшего порядка.

5. Отзыв Козина Виктора Михайловича, доктора технических наук, главного научного сотрудника института машиноведения и металлургии Дальневосточного

отделения Российской академии наук федерального государственного бюджетного учреждения науки Хабаровского Федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской академии наук. Замечания: 1. Из автореферата остается не ясным, как влияет количество вложенных каскадов на основные показатели качества регулирования; 2. Не понятно, какое влияние на алгоритмическую сложность нечеткой системы управления окажет каскадное разделение базы правил.

6. Отзыв Хамитова Рустама Нуримановича, доктора технических наук, профессора кафедры «Электрическая техника» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный технический университет». Замечания: 1. В предложенных моделях нечетких регуляторов рассматриваются функции принадлежности только аппроксимированной формы; 2. Из автореферата остается не понятным, какое влияние на систему управления окажет многокаскадный регулятор с большим числом вложенных каскадов.

7. Отзыв Шеленка Евгения Анатольевича, доктора технических наук, профессора высшей школы кибернетики и цифровых технологий федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тихоокеанский государственный университет». Замечания: 1. по тексту автореферата достаточно сложно оценить влияние предложенных нечетких алгоритмов на структурную сложность систем управления при их практической реализации; 2. рис. 23 (стр. 24) не отражает какого-либо преимущества использования системы с нечетким регулятором в сравнении с классическим вариантом.

8. Отзыв Зюзева Анатолия Михайловича, доктора технических наук, профессора кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»; Костылева Алексея Васильевича, кандидата технических наук, заведующего кафедрой электропривода и автоматизации

промышленных установок федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина». Замечания: 1. Представляется методически целесообразным вместо термин «многокаскадный нечеткий регулятор» использовать термин «нечеткая многокаскадная система»; 2. Строго говоря, представленная в автореферате на рис.5 схема является не математической моделью, а расчетной блок-схемой Simulink. Содержание отдельных ее блоков не раскрыто, что затрудняет понимание; 3. Представленная на рис. 10 схема нечеткого регулятора является фактически окном Fuzzy Logic Toolbox Matlab и дает весьма условное представление о собственно регуляторе; 4. Не ясно, что в подписи рис. 11 означает «сигнал большого номинала»? 5. Не ясно, что в подписи рис. 12 означает «входное воздействие  $U=8$ ». Что такое  $U$ , учитывая, что по вертикальной оси указаны радианы? 6. При сопоставлении качества процессов в разных системах, показанных на рис. 12...14, целесообразно также ввести их разность, поскольку графики сливаются; 7. Большинство представленных в автореферате структурных схем не имеют достаточных пояснений в части блоков и их параметров. Приходится догадываться о назначении элементов.

9. Отзыв Дынькина Бориса Евгеньевича, доктора технических наук, заслуженного энергетика РФ, профессора кафедры «Электрические станции и электроэнергетические системы» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова». Замечания: 1. Из автореферата не ясно, каким образом оценивается алгоритмическая сложность нечетких систем управления; 2. Отсутствуют пояснение реализации нечетких модулей внутреннего каскада с использованием единственных лингвистических переменных на входах и выходах.

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:

- **разработана** новая научная концепция синтеза нечетких логических регуляторов, базирующаяся на каскадном принципе, позволяющая сочетать в своей структуре различные механизмы нечетких выводов,

- **предложен** новый подход к решению проблемы управления классами технологических объектов за счет расширения универсальных свойств интеллектуального регулятора, позволяющий значительно упростить процессы его настройки и повысить возможности адаптации системы управления на основе принципов иерархичности и модульности формирования,

- **доказана** перспективность использования новой методологии многокаскадного нечёткого управления на основе разработанных алгоритмов, которая позволяет сократить информационную избыточность и алгоритмическую сложность интеллектуальных систем регулирования технологическими процессами за счет снижения сложности формируемых баз правил,

- **введены** новые понятия многокаскадного нечеткого регулятора и функций принадлежности пространственной формы, позволяющие существенно расширить область применения нечетких систем управления технологическими процессами для объектов обладающих, сложными зависимостями координат и наличием многокритериальности.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

- **доказаны** положения по структурной и методологической реализации комплексных подходов для сложных объектов управления, обеспечивающих формирование процедур многокаскадного нечеткого управления адаптирующихся к изменению полноты информационного обеспечения, нестационарности и недетерминированности параметров технологического процесса, вносящие вклад в расширение областей применения интеллектуальных систем основанных на теории

нечетких множеств, применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс существующих базовых методов исследования,

- **изложены** положения позволяющие расширить область применения нечетких систем управления для сложных технологических объектов, математическое описание которых характеризуется многокоординатностью, нестационарностью и неполнотой информации,

- **раскрыты** существенные проявления теории нечетких множеств в рамках развития интеллектуальных систем управления технологическими процессами, выявлен ряд новых проблем связанных с различной степенью вложенности нечетких модулей и их гетерогенностью,

- **изучены** факторы характеризующие нестационарность и многокритериальность объекта управления с возможностью формализации алгоритмов управления реализуемых на базе теории нечетких множеств,

- **проведена** модернизация и совершенствование существующих математических моделей и алгоритмов нечетких систем управления, на основе каскадного принципа, обеспечивающих получение новых результатов по тематике диссертации.

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

- **разработаны и внедрены** технологии настройки многокаскадных нечетких регуляторов для систем управления технологическими процессами, учитывающие особенности математического описания систем и наличие неоднозначных функциональных связей между координатами системы управления, на примере, технологического процесса пиролиза древесины в мобильной углевыжигательной установке,

- **определен** диапазон возможностей практической реализации многокаскадных нечетких регуляторов на существующей элементной базе

- **создана** система практических рекомендаций по совершенствованию нечетких систем управления технологическими процессами в машиностроительной и авиастроительной отраслях.

- **представлены** методические рекомендации по дальнейшему совершенствованию программно-аппаратной реализации многокаскадного нечеткого логического регулятора (МНЛР) на основе промышленного программируемого контроллера для управления процессом стабилизации скорости электропривода

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

- **для экспериментальных работ** получены результаты исследований по реализации нечетких многокаскадных алгоритмов управления 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 нечетких многокаскадных систем управления технологическими процессами, а также согласуется с опубликованными данными по теме диссертации,
- **идея базируется** на анализе практики применения общепринятых подходов и особенностей алгоритмов моделирования и разработки нечетких систем управления технологическими процессами, обеспечивающих требуемые показатели качества, а также на обобщении передового опыта отечественных и зарубежных учёных в области исследования нечетких систем управления, при этом использованы апробированные и широко освещенные в научной печати алгоритмы нечеткого вывода,
- **установлено**, что качественное и количественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в публикациях в открытых источниках, является обоснованным;

**Личный вклад соискателя состоит в:** непосредственном участии соискателя в получении исходных данных и научных экспериментах, личном участии в апробации результатов исследования, обработке и интерпретации экспериментальных данных, выполненных лично автором или при его участии, подготовке основных публикаций по выполненной работе.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания касающихся области применения многокаскадных нечетких регуляторов,

их преимуществах перед модальными регуляторами, оптимизации параметров развитых нечетких систем, а также об аппроксимации функций с разрывами первого или второго рода.

Соискатель Черный С.П. обстоятельно ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию, касающуюся возможностей многокаскадных нечетких систем по аппроксимации разрывных функций, улучшении динамических характеристик технологических объектов в случаях применения развитых алгоритмов управления на основе предлагаемой методологии, а также отличиях от классических систем с модальным управлением.

На заседании 14 июня 2024 года диссертационный совет принял решение за разработку теоретических положений, совокупность которых можно квалифицировать, как научное достижение в области разработки интеллектуальных систем управления сложными технологическими объектами, присудить Черному С.П. ученую степень доктора наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 10 докторов наук (по специальности 2.3.3 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами»), участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 20, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председательствующий,  
заместитель председателя  
диссертационного совета 99.2.140.02

Чье Ен Ун

Ученый секретарь  
диссертационного совета 99.2.140.02

Гудим Александр Сергеевич

14 июня 2024 г.

