

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.417.02,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ТУЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
МИНОБРНАУКИ РОССИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 15 ноября 2023 года № 9

О присуждении **ХАПКИНУ Дмитрию Леонидовичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Прикладные методы синтеза нейросетевых регуляторов для объектов управления с ограничителями» по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика принята к защите 12 сентября 2023 года (протокол заседания № 8) диссертационным советом 24.2.417.02, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тульский государственный университет» Минобрнауки России (300012, г. Тула, пр. Ленина, д. 92); приказ о создании диссертационного совета № 422/нк от 12 августа 2013 года.

Соискатель **ХАПКИН Дмитрий Леонидович** 08 ноября 1995 года рождения. В 2018 году окончил ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет». В 2022 году окончил очную аспирантуру ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет». Работает младшим научным сотрудником лаборатории «Цифровые системы управления сложными динамическими объектами» ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет».

Диссертация выполнена на кафедре «Системы автоматического управления» ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет» Минобрнауки России.

Научный руководитель - доктор технических наук, доцент **ФЕОФИЛОВ Сергей Владимирович**, ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», кафедра «Системы автоматического управления», профессор.

Официальные оппоненты:

СОЛОВЬЕВА Елена Борисовна, доктор технических наук, ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) (г. Санкт-Петербург); кафедра «Теоретические основы электротехники», заведующий кафедрой;

БОБКОВ Александр Валентинович, кандидат технических наук, ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (г. Москва), кафедра «Системы автоматического управления», доцент

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация - ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», г. Москва, - в своем положительном отзыве, подписанном д.т.н., профессором РАН, профессором кафедры 702 «Системы приводов авиакосмической техники», директором дирекции института №7 «Робототехнические и интеллектуальные системы» и утвержденном д.т.н., профессором Равиковичем Ю.А., и.о. проректора по научной работе, указала, что диссертация Хапкина Д.Л. является законченной научно-квалификационной работой, содержащей решение задачи разработки методов синтеза нейросетевых регуляторов для объектов управления с ограничителями, имеющей важное теоретическое и практическое значение, отвечающей критериям научной новизны и соответствующей требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Хапкин Дмитрий Леонидович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Соискатель имеет 13 опубликованных научных работ, все по теме диссертации, из них 3 работы опубликованы в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК, 3 – в журналах Scopus, 5 — в журналах РИНЦ, получено 2 свидетельства на программы для ЭВМ, общим объемом – 4,6 п.л., авторский вклад – 2,3 п.л.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Феофилов, С.В. Базовый синтез нейросетевых регуляторов для следящих систем управления / С.В. Феофилов, Д.Л. Хапкин // Известия ТулГУ. Технические Науки. – 2020. – № 11. – С. 256-261.

2. Feofilov, S.V. Synthesis of neural network controllers for objects with non-linearity of the constraint type / S.V. Feofilov, D.L. Khapkin // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 1958. – № 1. – P. 012014.

3. Feofilov, S.V. Application of Recurrent Neural Networks in Closed Loop Tracking Systems for Controlling Essentially Nonlinear Objects / S.V. Feofilov, D. Khapkin // 3rd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA). – Lipetsk, Russian Federation: IEEE, 2021. – P. 467-472.

4. Феофилов, С.В. Применение рекуррентных нейронных сетей в замкнутых следящих системах с нелинейными объектами / С.В. Феофилов, Д.Л. Хапкин // Известия ТулГУ. Технические Науки. – 2021. – № 11. – С. 72-80.

5. Khapkin, D.L. Study of neural network control stability based on mixed linear integer programming / D.L. Khapkin, S.V. Feofilov, A.V. Kozyr // 4th International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA). – Lipetsk: IEEE, 2022. – P. 326-329.

6. Хапкин, Д.Л. Синтез гарантированно устойчивых нейросетевых регуля-

торов с оптимизацией качества переходного процесса / Д.Л. Хапкин, С.В. Феофилов, А.В. Козырь // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2022. – № 12. – С. 128-133.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

На диссертацию и автореферат поступило 9 отзывов из следующих организаций:

1. ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», г. Новосибирск.
2. АО «КБП имени А. Г. Шипунова», г. Тула.
3. ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», г. Тверь.
4. ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Москва.
5. ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет», г. Москва
6. ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», г. Москва, г. Зеленоград.
7. ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Москва.
8. ФГБОУ ВО «МИРЭА - Российский технологический университет», г. Москва.
9. АО «НПО «СПЛАВ» им. А.Н. Ганичева, г. Тула.

Все отзывы положительные, в них отмечается актуальность, теоретическая и практическая значимость работы, ее новизна. Отзывы содержат ряд замечаний, основные из которых сводятся к следующим:

- Не ясно, почему автор не сравнивал свои решения с решениями на основе нечетких регуляторов, хотя их работа понятна и объяснима (ФГБОУ ВО Тверской государственный технический университет, г. Тверь);

- В автореферате отсутствует обоснование выбора методов инверсного нейроуправления и обратного пропуска ошибки через прямой нейроэмулятор, а также нет сравнения этих двух методов. При этом в дальнейшем рассматриваются структуры только с нейроэмулятором, хотя вариант инверсного нейроуправления выглядит проще как при реализации, так и при синтезе (ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Москва);

- Из автореферата не совсем ясно, почему автор для решения задачи синтеза нейрорегулятора выбрал за основу только нейронные сети прямого распространения и рекуррентные нейронные сети (ФГБОУ ВО РТУ «МИРЭА - Российский технологический университет», г. Москва);

- В автореферате говорится, что инверсный нейрорегулятор имеет дискретное представление и для линейного объекта получено разностное выражение (2). Далее рассматривается звенья с ограничителем и они представлены в непрерывном времени, возникает вопрос какая реализация нейросетевого управления дискретная или непрерывная. Оценивалось ли влияние дискретизации на процессы управления (АО «НПО «СПЛАВ» им. А.Н. Ганичева, г. Тула).

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что доктор технических наук СОЛОВЬЕВА Елена Борисовна и кандидат технических наук БОБКОВ Александр Валентинович являются известными и компетентными учеными в области нейросетевого управления нелинейными объектами, имеют достаточное количество публикаций по теме диссертационной работы и способны определить научную и практическую ценность диссертации. Согласие на оппонирование имеется.

Выбор ведущей организации обоснован тем, что ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» является ведущим ВУЗом, занимающимся вопросами синтеза нейросетевых регуляторов для существенно нелинейных объектов управления. Сотрудники ВУЗа имеют большой опыт в данной области, а также достаточное количество публикаций по теме диссертационной работы. Согласие выступить в качестве ведущей организации имеется.

Диссертационный совет отмечает наиболее существенные научные результаты, полученные лично соискателем, их новизну, и, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана методика синтеза нейросетевых регуляторов для управления объектами с ограничителями, гарантирующая устойчивость полученной замкнутой системы в заданной локальной области и позволяющая оптимизировать качество переходного процесса;

предложены новые методы синтеза нейросетевых регуляторов, позволяющие выбрать минимальную структуру искусственных нейронных сетей по разработанным новым алгоритмам с учетом наличия ограничителей в объекте управления, отличающиеся гарантией устойчивости полученной замкнутой системы в заданной области фазового пространства и оптимизацией времени регулирования;

доказана перспективность использования разработанных методов, основанных на методах синтеза нейросетевых регуляторов «обратный пропуск ошибка через прямой нейроэмулятор» и «инверсное нейроуправление», учитывающие ограничители в объектах управления;

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что

изложены новые алгоритмы синтеза нейросетевых регуляторов на основе известных модифицированных схем обучения «инверсное нейроуправление» и «обратный пропуск ошибки через нейроимитатор», позволяющие обеспечить управление объектами с ограничителями и использовать различные типы искусственных нейронных сетей, а также методика синтеза нейросетевых регуляторов, гарантирующая устойчивость полученной замкнутой системы в заданной локальной области и позволяющая оптимизировать качество переходного процесса;

применительно к проблематике диссертации результативно использованы методы классической и современной теории автоматического управления, включающие методы интеллектуального управления, конечномерной оптимизации, теории устойчивости Ляпунова и теории искусственных нейронных сетей, современные методы математического и компьютерного моделирования, численные методы решения;

проведена модернизация известных общих методов синтеза нейрорегуляторов, основанных на схемах обучения «инверсное нейроуправление» и «пропуск ошибки через нейроимитатор», позволяющая применять их для синтеза нейросетевой системы управления для объектов с ограничителями, а также метода синтеза устойчивой нейросетевой системы управления на основе формирования нейросетевой функции Ляпунова с применением целочисленного программирования для объектов управления с ограничителями.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что

разработаны и внедрены в перспективные проекты предлагаемые методы и методика синтеза нейрорегуляторов для объектов с ограничителями;

определены перспективы практического использования разработанных алгоритмов, методов и комплексов программ для упрощения синтеза устойчивых систем автоматического управления техническими объектами с ограничителями;

представлены предложения по практическому использованию разработанных теоретических методов в научных исследованиях академических институтов, высших учебных заведений и в отраслевых научно-исследовательских институтах, занимающихся подобными проблемами, а также на промышленных предприятиях.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория синтеза нейросетевых регуляторов для объектов с ограничителями построена на основе корректного применения известного математического аппарата теории автоматического управления, теории искусственных нейронных сетей и методов конечномерной оптимизации;

использованы апробированные численные методы и подходы к обучению искусственных нейронных сетей;

установлено совпадение авторских результатов расчётов по разработанным методикам с данными расчётов из независимых источников; эффектив-

ность используемых методов на основании численных экспериментов и теоретических данных;

апробацией работы является представление основных положений и результатов на 5 всероссийских и 5 международных конференциях и использование результатов исследований в грантах РФФИ №20-38-90213 Аспиранты «Прикладные методы синтеза адаптивных робастных нейросетевых регуляторов для существенно нелинейных объектов управления» и РНФ № 23-29-00609 «Перспективные методы синтеза и оптимизации нейросетевых систем управления для нелинейных объектов с ограничителями в условиях неполной информации».

Личный вклад соискателя состоит в решении научных и технических задач на всех этапах выполнения диссертационной работы, разработке и реализации алгоритмов, методов, методики и программного обеспечения для синтеза нейросетевых регуляторов, позволяющих учитывать ограничители в объектах управления, и гарантирующих устойчивость полученной замкнутой системы, личном участии в апробации результатов исследования, подготовке основных публикаций по выполненной работе.

В ходе защиты диссертации были высказаны критические замечания. Соискатель **Хапкин Д.Л.** ответил на задаваемые ему вопросы и привел собственную аргументацию.

На заседании 15 ноября 2023 года диссертационный совет принял решение:

за решение новой научной задачи разработки методов синтеза нейросетевого управления для объектов с ограничителями, имеющей важное теоретическое и практическое значение в области теории автоматического управления и соответствующей специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика, а также критериям п.п. 9-11 и п.п. 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», присудить **ХАПКИНУ Дмитрию Леонидовичу** ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за – 17, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

**Председатель
диссертационного совета**

В.Иванов

**Иванов
Валерий Иванович**

**Ученый секретарь
диссертационного совета**

М.Соколова

**Соколова
Марина Юрьевна**

15 ноября 2023 года

