

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.347.06,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 14.03.2024 г. протокол № 1

О присуждении Шипагину Виктору Игоревичу, гражданину Российской Федерации ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Нейросетевая реализация полиномиального метода синтеза регуляторов с детерминированным способом выбора архитектуры и инициализации весовых коэффициентов» **по специальности** 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» принята к защите от 25.12.2023 г., протокол № 2 диссертационным советом 24.2.347.06, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 630073, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, приказ об утверждении № 1101/нк от 23.05.2023 г.

Соискатель Шипагин Виктор Игоревич, 12 августа 1986 года рождения. В 2015 году соискатель окончил магистратуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнева», г. Красноярск по направлению «Системный анализ и управление». В 2023 году соискатель закончил обучение в очной аспирантуре Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» по направлению 27.06.01 – «Управление в технических системы». Работает в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» ассистентом кафедры автоматики.

Диссертация выполнена на кафедре автоматики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – Воевода Александр Александрович, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», кафедра автоматики, профессор.

Официальные оппоненты:

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 робототехники и автоматизации производственных систем, заведующий кафедрой,

Малышенко Александр Максимович, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», отделение автоматизации и робототехники, профессор,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет», г. Ростов-на-Дону, **в своем положительном отзыве**, утвержденным проректором по научной и исследовательской деятельности доктором химических наук, старшим научным сотрудником Метелицей Анатолием Викторовичем и подписанном доктором технических наук, профессором, директором научно-исследовательского института робототехники и процессов управления Пшихоповым Вячеславом Хасановичем, доктором технических наук, профессором, профессором кафедры систем автоматического управления Гайдуком Анатолием Романовичем, доктором технических наук, доцентом, заведующим кафедрой электротехники и механики Медведевым Михаилом Юрьевичем, указала, **что:** «Диссертационная работа Шипагина Виктора Игоревича «Нейросетевая реализация полиномиального метода синтеза регуляторов с детерминированным способом выбора архитектуры и инициализации весовых коэффициентов» является логически изложенной, завершённой и самостоятельной научно-квалификационной работой, в которой представлены научно-обоснованные технические решения, направленные на повышение качества управления на основе внедрения в систему регуляторов, использующих в своем составе искусственные нейронные сети, что соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней». Отмеченные недостатки не изменяют общей положительной оценки

диссертации, которая обобщает достигнутые результаты научной и практической деятельности автора и представляет собой комплексное завершённое исследование, выполненное и написанное автором самостоятельно; диссертация обладает внутренним единством, в соответствии с п.10 «Положения о присуждении ученых степеней». Согласно п. 11 «Положения о присуждении ученых степеней» основные научные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях. В соответствии с п.14 «Положения о присуждении ученых степеней» в диссертации отсутствуют результаты научных работ других авторов и научных работ, выполненных соискателем научной степени в соавторстве, без ссылок на авторов и соавторов. Диссертационная работа Шипагина Виктора Игоревича по своей актуальности, новизне, научной и практической значимости результатов соответствует критериям, которым должна отвечать диссертация на соискание ученой степени кандидата наук, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013года № 842, а ее автор, Шипагин Виктор Игоревич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

Соискатель имеет 30 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 30 работ, из них в рецензируемых научных изданиях по специальности диссертации – 2.3.1 опубликовано 5 статей, по смежным специальностям – 2; 8 статей в изданиях, проиндексированных в Scopus / Web of Science; 12 статей в материалах сборников международных и всероссийских конференций; монография – 1. Получено 3 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ. Суммарный объем личного вклада в опубликованных в соавторстве работах составляет не менее 13,1 п.л. В диссертации и опубликованных работах недостоверные сведения отсутствуют.

Перечень наиболее значимых работ автора, в которых отражено основное содержание диссертационной работы и ее результатов:

Публикации в изданиях, включенных в перечень ВАК по специальности 2.3.1:

1. Воевода, А. А. Синтез нейросетевого регулятора управления нелинейной моделью перевернутого маятника на тележке / А. А. Воевода, В. И. Шипагин // Научный вестник НГТУ. – 2020. – № 2 – 3(79). – С. 25–36.

2. Воевода, А. А. Расчет регулятора для многоканального объекта с нестационарными параметрами, содержащего звенья запаздывания / А. А. Воевода, В. И. Шипагин//Системы анализа и обработки данных. –2022. – № 1(85). –С. 7–24.

3. Воевода, А. А. О выборе архитектуры нейрорегулятора / А. А. Воевода, В. И. Шипагин // Системы анализа и обработки данных. – 2022. – № 4(88). – С. 7–30.

4. Воевода, А. А. Синтез нейросетевого регулятора для линеаризованной модели объекта – два перевернутых маятника на тележке / А. А. Воевода, В. И. Шипагин // Известия СпбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2023. – № 1(16). – С. 39–52.

5. Воевода, А. А. Применение модального метода синтеза для дискретных систем / А. А. Воевода, В. И. Шипагин // Системы анализа и обработки данных. – 2023. – № 3 (91). – С. 37–46.

Публикации в изданиях, индексируемых Web of Science или Scopus:

6. Voevoda, A. Neural network implementation of controllers for multi-channel objects synthesized by polynomial method / A. Voevoda, V. Shipagin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : XIII International Scientific Conference Architecture and Construction 2020, – BRISTOL: IOP Publishing Ltd, 2020. – P. 012071.

7. Voevoda, A. Synthesis of a Multichannel Controller for Plant with Two Input and Two Output Channels Using Polynomial Matrix Fraction / A. Voevoda, V. Shipagin // Proceedings - 2021 International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2021. – Sochi, 2021. – P. 823–828.

8. Voevoda, A. Multichannel controller synthesis for the plant with three input and two output channels using polynomial matrix decomposition / A. Voevoda, V. Shipagin, V. Filushov // 2021 IEEE World AI IoT Congress. – USA, Seattle, WA, 2021. – P. 446–451.

9. Voevoda, A. A. Synthesis of a Controller for a System with a Delay / A. A. Voevoda, V. I. Shipagin // Proceedings of the 2021 15th International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering, APEIE 2021 – Novosibirsk, 2021. – P. 559–563.

10. Voevoda, A. Control device synthesis by polynomial matrix fractional descriptions method with limitation on controller structure / A. A. Voevoda, V. I. Shipagin, K. M. Bobobekov // IITMM 2021 journal of physics: conference series 2131 (2021) 032021 iop publishing – P. 1–8.

11. Voevoda, A. A. Controller Synthesis by a Polynomial Method in Order to Achieve Minimal Overshoot for Systems with a Delay / A. A. Voevoda, V. I. Shipagin, G. V. Troshina // 2022 ElConRus, – 2022. – P. 908–911.

12. Voevoda, A. A. Algorithm for the Synthesis of a Neural Network Controller for a Multi-Channel System / A. A. Voevoda, V. I. Shipagin // 2022 IEEE 23rd International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM), – 2022. – P. 605–610.

13. Voevoda, A. A. Neurocontroller Training with Using the Neural Network Emulating the Plant / A. A. Voevoda, V. I. Shipagin // 2023 IEEE XVI International Scientific and Technical Conference Actual Problems of Electronic Instrument Engineering, APEIE 2023 – Novosibirsk, 2023. P. 930–934.

Монография:

14. Бобобеков, К. М. Полиномиальный метод синтеза систем автоматического управления для одноканальных и многоканальных объектов / К. М. Бобобеков, А. А. Воевода, В. И. Шипагин: монография. – Душанбе: ТТУ имени академика М. С. Осими, 2021. – 192 с. (Главы 1, 3).

Свидетельства государственной регистрации программ:

15. Шипагин, В. И. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021610428 РФ. Программа для синтеза нейросетевого регулятора управления нелинейной моделью перевернутого маятника на тележке: № 2020667800 : заявл. 28.12.2020 : опубл.14.01.2021 / В. И. Шипагин, А. А. Воевода.

16. Шипагин, В. И. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021681431 РФ. Программа для расчета регулятора для объекта с запаздыванием: №2021680525: заявл. 10.12.2021: опубл. 21.12.2021/ В. И. Шипагин, А. А. Воевода.

17. Шипагин, В. И. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023618298 РФ. Программа для расчета регулятора полиномиальным матричным методом для двигателя постоянного тока с независимым возбуждением при существенном запаздывании управляющего сигнала: № 2023616685: заявл.08.04.2023: опубл. 21.04.2023 / В. И. Шипагин, А. А. Воевода, В.Ю. Филюшов.

Прочие публикации без соавторов:

18. Шипагин, В.И. Нейросетевая реализация модального метода синтеза системы автоматического управления для системы стабилизации/ В. И. Шипагин // Проблемы управления в социально-экономических и технических системах: Материалы XIX Международной научно-практической конференции – Саратов: Наука, 2023. – С. 673–680.

На диссертацию и автореферат поступило 5 отзывов (все положительные):

1. Круглов Сергей Петрович, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения», кафедра «Автоматизация производственных процессов», профессор, г. Иркутск. Автор отзыва отмечает, что необходимо пояснить способ выбора шага дискретизации при переходе от непрерывной к дискретной модели, необходимо пояснить каким образом происходит выбор

порядка аппроксимации звена запаздывания с помощью ряда Паде. Также отмечается, что в тексте автореферата имеются некорректности, например: нигде не пояснен термин «ХМЗС», по тексту имеются обозначения, смысл которых не пояснен, некорректные выражения: $v = 0.5v$, $v = 2v$.

2. Пруцков Александр Викторович, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина», кафедра вычислительной и прикладной математики, профессор кафедры, г. Рязань. Автор отзыва указал о том, что следовало бы представить модифицированный алгоритм синтеза регуляторов в автореферате в виде блок-схемы или пошагового описания. Также указывается то, что количественные характеристики методов и алгоритмов сняли бы сомнения в их результативности. Публикации соискателя без соавторов сняли бы многие вопросы по его личному вкладу.

3. Булатов Юрий Николаевич, кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Братский государственный университет», кафедра «Энергетики», заведующий кафедрой, г. Братск. Автор отзыва указал, что не приведено обоснование выбора функций активации; не сказано пробовалась ли модификация существующей архитектуры нейронной сети с другими функциями активации и какой получился результат; не приведено обоснование выбора метода настройки весовых коэффициентов нейронной сети; не все обозначения в используемых формулах пояснены по тексту.

4. Евдокимов Алексей Алексеевич, кандидат технических наук, доцент, Невинномысский технологический институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Северо-Кавказский федеральный университет», кафедра Информационных систем, электропривода и автоматики, заместитель директора по науке и инновационному развитию, г. Невинномысск. Автор отзыва указал на необходимость обоснования выбора способа обучения нейронной сети. В работе автором применялся метод Левенберга – Марквардта, однако не понятно исследовались ли другие методы? Кроме этого указано также, что не достаточно освещена проблема «взрывающихся» и «угасающих» градиентов. Насколько актуальна задача решения представленной проблемы? Возможно стоит привести список литературы, посвященной решению данной проблемы.

5. Мелкозеров Максим Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и

технологий имени академика М.Ф. Решетнева», институт машиноведения и мехатроники, директор, г. Красноярск. Без замечаний.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их достижениями в данной отрасли науки, наличием публикаций в соответствующей сфере исследования и способностью определить научную и практическую ценность диссертации. Доктор технических наук, профессор Белов Михаил Петрович – специалист в области синтеза систем управления для различных технических систем с использованием регуляторов, использующих в своем составе искусственные нейронные сети. Доктор технических наук, профессор Малышенко Александр Максимович – специалист в области математического моделирования технических систем и синтеза систем управления для объектов с неравным числом входных и выходных каналов. Сотрудники ведущей организации Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет», много лет занимаются синтезом нелинейных систем управления и учетом звеньев запаздывания в их составе.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

предложены: модификация алгоритма синтеза регуляторов для объектов управления, описываемых неквадратной матричной передаточной функцией. Данная модификация позволяет применять алгоритм для случая присутствия в составе многоканальных объектов управления звеньев запаздывания; метод выбора исходной архитектуры нейросетевого регулятора и инициализации его весовых коэффициентов, позволяющий получить нейросетевой регулятор, обеспечивающий устойчивость переходных процессов системы до начала обучения нейронной сети; метод решения проблемы «взрывного» и «угасающего» градиента, позволяющий применять алгоритмы обучения, основанные на вычислении градиента, для нейронных сетей рекуррентного типа; метод модификации архитектуры нейросетевого регулятора с учетом нелинейного характера и неопределенностей в составе модели объекта управления, позволяющий сохранить устойчивость переходных процессов системы после их введения; метод формирования обучающей выборки для тренировки нейронной сети, который позволяет осуществлять обучение нейросетевого регулятора с постепенным расширением диапазона возможных значений для задания системы; алгоритм синтеза нейросетевых регуляторов, которые способны управлять объектами управления, содержащими в своем составе нелинейные характеристики.

разработаны и программно реализованы следующие программы для ЭВМ: «программа для синтеза нейросетевого регулятора управления

нелинейной моделью перевернутого маятника на тележке» // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2021610428, 14.01.2021. Заявка № 2020667800 от 28.12.2020; «программа ЭВМ для расчета регулятора для объекта с запаздыванием» // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2021681431, 10.12.2021. Заявка № 2021680525 от 21.12.2021; «программа ЭВМ для расчета регулятора полиномиальным матричным методом для двигателя постоянного тока с независимым возбуждением при существенном запаздывании управляющего сигнала» // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2023618298, 21.04.2023. Заявка № 2023616685 от 08.04.2023;

показана корректность работы выполненных программных реализаций предложенных методов при синтезе систем автоматического управления для ряда иллюстративных примеров, а также при решении реальных практических задач.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

применительно к проблематике диссертации результативно использованы: методы теории автоматического управления и теории матриц, некоторые разделы линейной алгебры, аппарат полиномиально-матричного разложения, нейросетевые и оптимизационные методы;

предложен алгоритм синтеза нейросетевых регуляторов, которые способны управлять в заданных пределах объектами управления, содержащими в своем составе нелинейные характеристики;

исследованы: влияние разработанного метода выбора исходной архитектуры нейросетевого регулятора и инициализации его весовых коэффициентов на скорость обучения нейросетевого регулятора; влияние проблемы «взрывного» и «угасающего» градиента на обучение нейросетевых регуляторов рекуррентного типа; эффективность предложенного метода модификации архитектуры нейросетевых регуляторов с учетом нелинейного характера и неопределенностей в составе модели объекта управления;

проведена модернизация алгоритма синтеза регуляторов для объектов управления с неквадратной матричной передаточной функцией. Данная модификация позволила применять алгоритм синтеза регуляторов в случае необходимости учета в составе многоканальной модели объектов управления звеньев запаздывания.

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

разработанная система автоматического управления для гироскопической стабилизации оптического устройства с использованием предложенного алгоритма синтеза нейросетевых регуляторов **внедрена** в АО «Новосибирский приборостроительный завод», г. Новосибирск, о чем

свидетельствует акт об использовании результатов научных исследований, выполненных соискателем;

разработанная система автоматического управления бетоносмесительного комплекса с использованием предложенной модификации алгоритма, учитывающей звенья запаздывания в структуре объекта управления, **внедрена** в АО «Культбытстрой», г. Красноярск, о чем свидетельствует акт об использовании результатов научных исследований, выполненных соискателем;

разработанные методы и алгоритмы **внедрены** в учебный процесс по дисциплинам «Многоканальные системы управления» (кафедра автоматизации НГТУ, г. Новосибирск) и «Теплогазоснабжение» (кафедра теплогазоснабжения и вентиляции) НГАСУ (Сибстрин), г. Новосибирск), о чем свидетельствуют акты о внедрении результатов диссертационной работы в процесс обучения;

определены перспективы применения разработанных методов и алгоритмов для решения практических задач;

созданы программные комплексы для ЭВМ, реализующие предложенные методы и алгоритмы;

представлены предложения по дальнейшему совершенствованию предложенных методов и алгоритмов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что результаты получены в процессе всестороннего анализа, аналитически обоснованы и аргументированы;

теория построена на результатах анализа первоисточников и согласуется с результатами исследований;

идея базируется на совмещении преимуществ аналитических методов синтеза и нейросетевого подхода к синтезу систем автоматического управления;

использовано сравнение с результатами, полученными другими авторами (Д. А. Дзюба, А. Н. Чернодуб, N. Aplincourt и др.);

установлено высокое соответствие авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках;

использованы современные методы численного моделирования и разработки программного обеспечения.

Личный вклад соискателя состоит в: разработке методов построения нейросетевых моделей регуляторов с формализацией процедуры выбора архитектуры и начальных весовых коэффициентов нейронной сети. Предложено использовать структурные преобразования регулятора для нейронных сетей рекуррентного типа. Разработана методика синтеза регулятора для многоканальных систем, содержащих звенья запаздывания и

