

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
МГУ.012.1 по диссертации на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук

Решение диссертационного совета от 12 декабря 2024 г. №28

О присуждении Конькову Артему Евгеньевичу, гражданину России, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Полунатурное моделирование цифровых систем магнитного управления плазмой в токамаках» по специальности 1.2.2 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» принята к защите диссертационным советом 15 октября 2024 г., протокол №24.

Соискатель Коньков Артем Евгеньевич, 1990 года рождения, в 2013 году окончил специалитет физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по специальности «Физика» (кафедра физико-математических методов управления), в 2017 г. окончил магистратуру физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по направлению «Физика» (кафедра физико-математических методов управления). С 2017 по 2021 год соискатель обучался в аспирантуре физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова на кафедре физико-математических методов управления. С 2019 г. по настоящее время соискатель работает в лаборатории №41 Института проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук в должности научного сотрудника.

Диссертация выполнена в лаборатории № 41 Института проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук.

Научный руководитель – доктор технических наук, член-корреспондент РАН Галяев Андрей Алексеевич, главный научный сотрудник лаборатории №38 Института проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

1. Афанасьев Валерий Николаевич, доктор технических наук, профессор (уч.зв.), ординарный профессор департамента прикладной математики Московского института электроники и математики им. А.Н. Тихонова «Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
2. Хайрутдинов Рустам Рашитович – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник» Акционерного общества «Государственный научный центр

Российской Федерации «Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований».

3. Замышляева Алёна Александровна – доктор физико-математических наук, профессор, директор института естественных и точных наук, заведующий кафедрой прикладной математики и программирования Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»

Оппоненты дали положительные отзывы на диссертацию.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что оппоненты являются ведущими специалистами по теме диссертации, компетентны в области математического моделирования, численных методов и разработки комплексов программ, результаты их исследований, полученные за последние годы, опубликованы в ведущих зарубежных и отечественных журналах и близки по теме исследованиям соискателя, что позволяет оппонентам дать всестороннюю оценку результатам, представленным в диссертационной работе. Один оппонент имеет учёную степень доктора технических наук, два оппонента имеют учёную степень доктора физико-математических наук.

Соискатель имеет более 20 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 11 работ, из них 9 статей, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.2.2 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», также в результате работы по теме диссертации соискатель стал соавтором двух патентов на изобретения: и по решению диссертационного совета 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ, приравненных к публикациям, в которых излагаются основные научные результаты диссертации

1. Konkov A. E., Mitrishkin Y. V. Synthesis Methodology for Discrete MIMO PID Controller with Loop Shaping on LTV Plant Model via Iterated LMI Restrictions // *Mathematics*. — 2024. — Mar. — Vol. 12, no. 6. — P. 810. — DOI: 10.3390/math12060810. — (WoS Q1: JIF – 2,3; 2,4/2,3).
2. Konkov A. E., Mitrishkin Y. V. Comparison Study of Power Supplies in RealTime Robust Control Systems of Vertical Plasma Position in Tokamak // *IFAC-PapersOnLine*. — 2022. — Vol. 55, no. 9. — P. 327—332. — DOI: 10.1016/j.ifacol.2022.07.057. — (Scopus Q3: SJR – 0,37; 0,38/0,37).
3. Mitrishkin Y. V., Korenev P. S., Konkov A. E., Kartsev N. M., Smirnov I. S. New horizontal and vertical field coils with optimised location for robust decentralized plasma

- position control in the IGNITOR tokamak // *Fusion Engineering and Design*. — 2022. — Vol. 174. — P. 112993. — DOI: 10.1016/j.fusengdes.2021. 112993. — (WoS Q1: JIF – 1,9; 1,25/0,4).
4. Mitrishkin Y. V., Korenev P. S., Konkov A. E., Kruzhkov V. I., Ovsiannikov N. E. New Identification Approach and Methods for Plasma Equilibrium Reconstruction in D-Shaped Tokamaks // *Mathematics*. — 2021. — Dec. — Vol. 10, no. 1. —P. 40. — DOI: 10.3390/math10010040. — (WoS Q1: JIF – 2,3; 1,44/0,43).
 5. Konkov A. E., Mitrishkin Y. V., Korenev P. S., Patrov M. I. Robust Cascade LMI Design of MIMO Control System for Plasma Position, Current, and Shape Model with Time-Varying Parameters in a Tokamak // *IFAC-PapersOnLine*. —2020. — Vol. 53, no. 2. — P. 7344—7349. — DOI: 10/gr4bxz. — (Scopus Q3: SJR – 0,37; 0,38/0,3).
 6. Коньков А. Е., Корнев П. С., Митришкин Ю. В., Балаченков И. М., Киселев Е. О. Система магнитного управления плазмой реального времени с алгоритмом восстановления равновесия в обратной связи для токамака Глобус-М2 // *Физика плазмы*. — 2023. — Т. 49, № 12. — С. 1348—1356. —DOI: 10 . 31857 / S0367292123600760. — (RSCI Q1: R – 0,41; 0,56/0,4) [Перевод: Konkov A. E., Korenev P. S., Mitrishkin Y. V., Balachenkov I. M., Kiselev E. O. Real-Time Plasma Magnetic Control System with Equilibrium Reconstruction Algorithm in the Feedback for the Globus-M2 Tokamak // *Plasma Physics Reports*. — 2023. — Vol. 49, no. 12. — P. 1552–1559. DOI: 10.1134/S1063780X23601827. — (WoS Q4: JIF – 0,9; 0,5/0,4)].
 7. Корнев П. С., Коньков А. Е., Митришкин Ю. В., Балаченков И. М., Киселев Е. О., Минаев В. Б., Сахаров Н. В., Петров Ю. В. Усовершенствованный алгоритм FCDI для восстановления равновесия плазмы в токамаке // *Письма в журнал технической физики*. — 2023. — Т. 49, № 7. —С. 36—39. — DOI: 10 . 21883 / PJTF . 2023 . 07 . 54920 . 19468. — (RSCI Q1: R – 0,37; 0,25/0,13) — [Перевод: Korenev P. S., Konkov A. E., Mitrishkin Y. V., Balachenkov I. M., Kiselev E. O., Minaev V. B., Sakharov N. V., Petrov Y. V. Improved FCDI algorithm for tokamak plasma equilibrium reconstruction // *Technical Physics Letters*. — 2023. — Vol. 49, no. 4. — P. 34–37. DOI: 10.21883/TPL.2023.04.55873.19468. — (WoS Q4: JIF – 0,8; 0,25/0,13)].
 8. Митришкин Ю. В., Корнев П. С., Коньков А. Е., Карцев Н. М. Подавление смещений плазмы по вертикали системой управления неустойчивым вертикальным положением плазмы в D-образном токамаке // *Автоматика и телемеханика*. — 2022. — № 4. — С. 100—124. — DOI: 10 . 31857 / S0005231022040067. — (RSCI Q1: R – 0,694; 1,56/0,47) — [Перевод: Mitrishkin Y. V., Korenev P. S., Konkov A. E., Kartsev N. M. Suppression of Vertical Plasma Displacements by Control System of Plasma

Unstable Vertical Position in D-Shaped Tokamak // Automation and Remote Control. — 2022. Vol. 83, no. 4. — P. 579–599. — DOI: 10.1134/S0005117922040051. — (WoS Q4: JIF – 0,6; 1,31/0,4)].

9. Митришкин Ю. В., Коньков А. Е., Коренев П. С. Сравнительное исследование систем управления реального времени вертикальным положением плазмы в токамаке с разными источниками питания обмотки горизонтального управляющего поля // ВАНТ. Серия: Термоядерный синтез. — 2022. —Т. 45, № 3. — С. 34–49. — (RSCI Q2: R – 0,27; 1/0,7) — [Перевод: Mitrishkin Y. V., Konkov A. E., Korenev P. S. Comparative Study of Real-Time Control Systems of Vertical Plasma Position in Tokamak with Different Power Supplies for Horizontal Control Field Coil // Physics of Atomic Nuclei. — 2023. Vol. 86, no. 7. — P. 1616–1628. — DOI: 10.1134/S1063778823070165. — (WoS Q4: JIF – 0,3; 0,81/0,57)].
10. Заявка 2022117879 Россия, МПК 7G 21 В 1/00. Способ импульсного цифрового каскадного управления положением плазмы в D-образном токамаке / Ю. В. Митришкин, А. Е. Коньков (Россия) ; заявитель ФГБОУВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (МГУ) (RU). — № RU 2 788 188 С1; опубл. 17.01.2023, приоритет 30.06.2022 (Рос. Федерация). — 18 с. : ил.
11. Заявка 2022117882 Россия, МПК 7 G 21 В 1/00. Способ быстродействующего определения формы плазмы в камере токамака в течение диверторной фазы плазменных разрядов / Ю. В. Митришкин, А. Е. Коньков, П. С. Коренев, В. И. Кружков (Россия); заявитель ФГБОУВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (МГУ) (RU). — № RU 2 787 571 С1 ; опубл. 11.01.2023, приоритет 30.06.2022 (Рос. Федерация). — 20 с. : ил.

Все основные результаты, приведенные в вышеуказанных статьях и использованные в диссертации, получены автором лично под научным руководством д.т.н, профессора Ю.В. Митришкина (26.11.1946–22.01.2024). В работе [1] автором был разработан и реализован в комплексе программ метод синтеза дискретных матричных ПИД-регуляторов. В работах [2,3,8,9] и патенте [10] автором осуществлена разработка и полунатурное моделирование серии систем управления положением плазмы в токамаке, разработан комплекс программ для реализации цифрового многоуровневого ШИМ-контроллера. Проведено сравнительное исследования систем управления вертикальным положением плазмы в токамаке с разными типами инверторов напряжения. В работе [4] и патенте [11] автор разработал метод идентификации алгоритма восстановления равновесия плазмы с использованием робастного наблюдателя состояния и провел его полунатурное моделирование. В работе [5] автор провел разработку и моделирование

системы магнитного управления плазмой в токамаке с внутренним каскадом управления по потокам на магнитных петлях. В работе [6] автором осуществлена разработка и полунатурное моделирование системы магнитного управления плазмой с алгоритмом восстановления равновесия плазмы в обратной связи в токамаке Глобус-М2. В работе [7] автором разработан комплекс программ для визуализации восстановленного равновесия плазмы в токамаке.

На автореферат и диссертацию поступило два дополнительных отзыва, все положительные:

1. Отзыв на автореферат д.т.н., научного руководителя Курчатовского комплекса термоядерной энергетики и плазменных технологий НИЦ «Курчатовский институт» Хвостенко Петра Павловича.
2. Отзыв на автореферат к.ф.-м.н., в.н.с. лаборатории методов нагрева и генерации тока плазмы Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе РАН Сахарова Николая Владимировича.

Диссертационный совет отмечает, что представленная на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований проведено полунатурное моделирование серии цифровых систем магнитного управления плазмой в токамаках, разработан ряд сопутствующих методов и комплексов программ. Полунатурное моделирование проводилось с использованием разработанным автором комплекса программ, на стенде реального времени в ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН, в создание которого автор принимал непосредственное участие. Разработанный автором комплекс программ для визуализации восстановленного равновесия плазмы внедрен в штатную систему магнитной диагностики токамака Глобус-М2 в ФТИ им. А.Ф. Иоффе.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

1. Метод синтеза дискретных матричных ПИД-регуляторов и его реализация в виде комплекса программ;
2. Комплекс программ для полунатурного моделирования цифровых систем управления с обратной связью на стенде реального времени;
3. Результаты полунатурного моделирования систем управления положением плазмы в токамаках и комплекс программ для реализации цифрового многоуровневого ШИМ-контроллера для управления инверторами напряжения;

4. Результаты полунатурного моделирования систем магнитного управления плазмой с алгоритмом восстановления равновесия плазмы в обратной связи в токамаке Глобус-М2, комплекс программ для визуализации восстановленного равновесия плазмы в токамаке и метод идентификации алгоритма восстановления равновесия плазмы с помощью робастного наблюдателя состояния.

На заседании 12 декабря 2024 года диссертационный совет принял решение присудить Конькову А.Е. учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 13 докторов наук по специальности 1.2.2, участвовавших в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за - 19, против - 0, недействительных голосов - 0.

Председатель диссертационного совета,
академик РАН

Тыртышников Е.Е.

Учёный секретарь диссертационного совета
член-корреспондент РАН

Ильин А.В.

Декан факультета ВМК

олов И.А.

«12» декабря 2024 г.