

Заключение диссертационного совета МГУ.013.7
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

Решение диссертационного совета от 26 декабря 2024 г., № 3

О присуждении Кореневу Павлу Сергеевичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Динамические модели для магнитного управления формой и положением плазмы в токамаках Глобус-М2 и ИГНИТОР» по специальности 1.3.9. Физика плазмы принята к защите диссертационным советом 13 ноября 2024 г., протокол № 3П

Соискатель Коренев Павел Сергеевич, 1992 года рождения, в 2015 году окончил физический факультет Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова, в 2019 году окончил аспирантуру физического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Соискатель работает научным сотрудником кафедры физико-математических методов управления физического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Диссертация выполнена на кафедре физико-математических методов управления физического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Научные руководители – доктор технических наук, профессор Митришкин Юрий Владимирович и доктор технических наук, член-корреспондент РАН Галяев Андрей Алексеевич, главный научный сотрудник лаборатории №38 «Управления по неполным данным» Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН

Официальные оппоненты:

Боголюбов Александр Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, Физический факультет Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова, кафедра математики, профессор,

Романников Александр Николаевич, доктор физико-математических наук, Акционерное общество "Государственный научный центр Российской Федерации Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований", научный руководитель по плазменным технологиям и управляемому термоядерному синтезу,

Степаненко Александр Александрович, кандидат физико-математических наук, доцент, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», кафедра физики плазмы, доцент

дали положительные отзывы на диссертацию.

Соискатель имеет 49 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 18 работ, из них 12 статей, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ и 2 патента:

1. Коренев П. С., Митришкин Ю. В., Патров М. И. Реконструкция равновесного распределения параметров плазмы токамака по внешним магнитным измерениям и построение линейных плазменных моделей // *Мехатроника, автоматизация, управление*. – 2016. – Т. 17, № 4. – С. 254-266. – DOI: 10.17587/mau.17.254-266. – (РИНЦ: ИФ – 0,84; авт. вклад 0,7 из 0,8 п.л.).
2. Докука В. Н., Коренев П. С., Митришкин Ю. В., Павлова Е. А., Патров М. И., Хайрутдинов Р. Р. Исследование полоидальной системы токамака Глобус-М и управление положением плазмы // *Вопросы атомной науки и техники. Серия: Термоядерный синтез*. – 2016. – Т. 39, № 3. – С. 80–90. DOI: 10.21517/0202-3822-2016-39-3-80-90. – (РИНЦ: ИФ – 0,64; авт. вклад 0,2 из 0,7 п.л.).
[Dokuka V. N., Korenev P. S., Mitrishkin Y. V., Pavlova E. A., Patrov M. I., Khayrutdinov R. R. Study of Globus-M tokamak poloidal system and plasma position control // *Physics of Atomic Nuclei*. – 2017. – V. 80, № 7. – P. 1298–1306. – DOI: 10.1134/S1063778817070055. – (WoS: JIF – 0,3; авт. вклад 0,2 из 0,6 п.л.).]
3. Mitrishkin Y. V., Korenev P. S., Kartsev N. M., Kuznetsov E. A., Prokhorov A. A., Patrov M. I. Plasma magnetic cascade multiloop control system design methodology in a tokamak // *Control Engineering Practice*. – 2019. – V. 87. – P. 97-110. – DOI: 10.1016/j.conengprac.2019.03.018. – (WoS: JIF – 5,4; авт. вклад 0,2 из 0,9 п.л.).
4. Mitrishkin Y. V., Prokhorov A. A., Korenev P. S., Patrov M. I. Hierarchical robust switching control method with the equilibrium reconstruction code based on improved Moving Filaments approach in the feedback for tokamak plasma shape // *Fusion Engineering and Design*. – 2019. – V. 138. – P. 138-150. – DOI: 10.1016/j.fusengdes.2018.10.031. – (WoS: JIF – 1,9; авт. вклад 0,1 из 0,8 п.л.).
5. Mitrishkin Y. V., Prokhorov A. A., Korenev P. S., Patrov M. I. Plasma magnetic time-varying nonlinear robust control system for the Globus-M/M2 tokamak // *Control Engineering Practice*. – 2020. – V. 100. – P. 104446. – DOI: 10.1016/j.conengprac.2020.104446. – (WoS: JIF – 5,4; авт. вклад 0,2 из 1,1 п.л.).
6. Митришкин Ю. В., Коренев 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. – (РИНЦ: ИФ – 1,3; авт. вклад 0,5 из 1,6 п.л.).
[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. – V. 83, № 4. – P. 579-599. – DOI: 10.1134/S0005117922040051. – (WoS: JIF – 0,6; авт. вклад 0,4 из 1,3 п.л.).]
7. 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 // *Вопросы атомной науки и техники. Серия: Термоядерный синтез*. – 2022. – Т. 45, вып. 3. – С. 34-49. – (РИНЦ: ИФ – 0,64; авт. вклад 0,2 из 1 п.л.).
[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. – V. 86, № 7. – P. 1616–1628. – DOI: 10.1134/S1063778823070165. – (WoS: JIF – 0,3).]
8. Mitrishkin Y. V., Kruzhkov V. I., Korenev P. S. Methodology of Plasma Shape Reachability Area Estimation in D-Shaped Tokamaks // *Mathematics*. – 2022. – V. 10, № 23. – P. 4605. – DOI: 10.3390/math10234605. – (WoS: JIF – 2,3; авт. вклад 0,1 из 1,1 п.л.).
9. 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. – V. 174. – P. 112993. – DOI: 10.1016/j.fusengdes.2021.112993. – (WoS: JIF – 1,9; авт. вклад 0,5 из 1,3 п.л.).
10. Mitrishkin Y. V., Korenev P. S., Konkov A. E., Kruzhkov V. I., Ovsyannikov N. E. New identification approach and methods for plasma equilibrium reconstruction in D-shaped tokamaks // *Mathematics*. – 2022. – V. 10, № 1. – P. 40. – DOI: 10.3390/math10010040. – (WoS: JIF – 2,3; авт. вклад 0,4 из 1,4 п.л.).
11. Коренев 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, вып. 7. – С. 36-39. – DOI: 10.21883/PJTF.2023.07.54920.19468. – (РИНЦ: ИФ – 0,73; авт. вклад 0,2 из 0,3 п.л.).

[Korenev P. S., Konkov A. E., Mitrishkin Y. V., Balachenkov I. M., Kiselev E. O., Minaev V. B., Sakharov N. V., Petrov Yu. V. Improved FCDI algorithm for tokamak plasma equilibrium reconstruction // Technical Physics Letters. – 2023. – V. 49. № 7. – P. 34–37. – DOI: 10.21883/TP.L.2023.04.55873.19468. – (WoS: JIF – 0,8; авт. вклад 0,2 из 0,3 п.л.).]

12. 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. – (РИНЦ: ИФ – 1,4; авт. вклад 0,3 из 0,6 п.л.).

[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. – V. 49, № 12. – P. 1552 – 1559. – DOI: 10.1134/S1063780X23601827. – (WoS: JIF – 0,9; авт. вклад 0,3 из 0,5 п.л.).]

13. Патент. Заявка 2018132882 Россия, МПК G21B1/00. Способ формирования модели магнитного управления формой и током плазмы с обратной связью в токамаке / Ю. В. Митришкин, А. А. Прохоров, П. С. Корнев, М. И. Патров (Россия); заявитель ФГБОУВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» (МГУ) (RU). — № RU 2 702 137 C1; опубл. 10.04.2019, приоритет 28.04.2017 (Рос. Федерация).

14. Патент. Заявка 2022117882 Россия, МПК G21B1/00. Способ быстродействующего определения формы плазмы в камере токамака в течение диверторной фазы плазменных разрядов / Ю. В. Митришкин, А. Е. Коньков, П. С. Корнев, В. И. Кружков (Россия); заявитель ФГБОУВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» (МГУ) (RU). — № RU 2 787 571 C1; опубл. 11.01.2023, приоритет 30.06.2022 (Рос. Федерация).

На диссертацию и автореферат поступил 1 дополнительный отзыв, положительный.

Выбор официальных оппонентов обосновывался тем, что они являются специалистами в области физики высокотемпературной плазмы и математического моделирования и имеют публикации по указанной тематике.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований содержится решение задачи создания и анализа математических моделей плазмы, необходимых для разработки и моделирования систем управления положением, током и формой плазмы в токамаках, имеющей значение для развития соответствующей отрасли знания – физики высокотемпературной плазмы и математического моделирования.

Полученные в диссертации результаты могут применяться при разработке систем магнитного управления плазмой в токамаках и при обработке данных, полученных в ходе экспериментов на токамаках, а также при проектировании систем магнитных катушек на токамаках. Использование, представленных в диссертации алгоритмов и методов позволяет повысить качество магнитного управления плазмой, что позволяет управлять формой и положением плазмы с меньшими энергозатратами и уменьшает вероятность аварийных ситуаций.

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. Разработанный алгоритм FCDI (Flux and Current Distribution Identification) для идентификации равновесия плазмы по магнитным измерениям в токамаках восстанавливает равновесие в реальном времени на токамаке Глобус-М2 за 16 мкс в режиме FCDI-FF (Fixed Filaments) и за 200 мкс в режиме FCDI-IT (Iterative).

2. Линейные нестационарные динамические модели плазмы, построенные на основе восстановленных равновесий, могут применяться для синтеза и анализа систем управления положением, током и формой плазмы с учетом возмущений типа малый срыв.

3. Разработанный нелинейный нестационарный магнитный эволюционный код ТРМЕС (Tokamak Plasma Magnetic Evolution Code) позволяет моделировать работу систем управления положением, током и формой плазмы при действии малых срывов.

4. Метод анализа линейных моделей плазмы позволяет определить изменения в системе катушек полоидального поля токамаков, повышающие качество и внутреннюю устойчивость магнитного управления плазмой.

На заседании 26 декабря 2024 г. диссертационный совет принял решение присудить Кореневу П.С. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 4 доктора наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени – 17, против – 1, недействительных бюллетеней – 1.

Председатель
диссертационного совета,
профессор

Федянин А.А.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доцент

Карташов И.Н.