

ОТЗЫВ официального оппонента
Боголюбова Александра Николаевича
на диссертацию, представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук Коренева Павла Сергеевича
на тему: «Динамические модели для магнитного управления формой и
положением плазмы в токамаках Глобус-М2 и ИГНИТОР»
по специальности 1.3.9. Физика плазмы

Диссертационная работа Коренева П.С. посвящена построению и анализу моделей плазмы для использования в задачах управления положением, током и формой плазмы в токамаках Глобус-М2 и ИГНИТОР. Представленные в работе алгоритмы, модели и методы позволяют определять форму, положение и ток плазменного шнура по сигналам диагностики токамака, настраивать регуляторы для управления формой, положением и током плазмы, проверять работоспособность систем управления плазмой, и определять оптимальные для управления плазмой конфигурации катушек токамака.

Токамаки считаются наиболее перспективным типом установок для создания реакторов управляемого термоядерного синтеза. В современных токамаках плазма неустойчива по вертикальному положению, поэтому для успешного функционирования токамаков необходимы системы управления положением плазмы. Также, для достижения желаемых параметров плазменного разряда необходимы системы управления формой и током плазмы, позволяющие поддерживать желаемую форму и ток плазменного шнура в токамаке. Такие системы управления регулируют магнитные поля создаваемые токами в катушках токамака, и для их разработки необходимы математические модели плазмы, правильно описывающие связь между формой, током и положением плазмы и напряжениями, подаваемыми на катушки токамака. Для их работы также необходимы алгоритмы, позволяющие определить положение и форму плазмы по показаниям

диагностики токамака в течение плазменного разряда. Таким образом тематика данной работы является актуальной и значимой.

Диссертация состоит из введения, 4-х глав и заключения.

Во введении сформулированы цели исследования, показаны актуальность и степень разработанности темы исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, достоверность и обоснованность результатов, выносимые на защиту положения и личный вклад автора.

Первая глава посвящена обзору задач магнитного управления и моделей плазмы, используемых для их решения на действующих токамаках.

Вторая глава посвящена решению задачи восстановления, т.е. идентификации формы и положения плазмы по показаниям диагностики токамака. Приводится описание алгоритма FCDI, разработанного П.С. Корневым для восстановления равновесия плазмы на токамаке Глобус-М2. Дано описание метода токовых мод, позволяющего редуцировать модель токов на камере токамака и значительно ускорить работу алгоритма. Отмечено, что разработанный алгоритм внедрен в рабочий процесс токамака Глобус-М2.

Третья глава посвящена динамическим моделям формы и положения плазмы. Приводится методология построения линейных динамических моделей плазмы, подходящих для использования при настройке регуляторов для управления плазмой. Описывается разработанная автором нелинейная магнитная эволюционная модель плазмы, позволяющая моделировать работу систем управления формой и положением плазмы с учетом изменения параметров плазмы в течение разряда.

Четвертая глава посвящена анализу линейных моделей плазмы для определения оптимального для магнитного управления плазмой положения катушек в проектном токамаке ИГНИТОР. Полученное в главе расположение катушек позволяет обеспечить устойчивость положения плазмы по

вертикали, и в 5,5 раз уменьшить величину подаваемого на катушку напряжения требуемого для сдвига плазмы по горизонтали.

В заключении приведены основные результаты диссертации.

Научная новизна представленных в работе результатов заключается в новом методе моделирования токов в камере токамака, позволившем обеспечить высокую скорость работы нового алгоритма восстановления равновесия плазмы в реальном времени, в новых линейных и нелинейных нестационарных моделях плазмы, позволяющих настраивать регуляторы системы управления формой и положения плазмы и моделировать ее работу, а также в новом методе анализа системы катушек токамака на предмет ее возможностей для управления плазмой.

Достоверность и обоснованность научных положений и выводов работы обеспечивается строгостью математического аппарата и использованием известных физических законов при их получении, а также их согласованностью с полученными в эксперименте данными токамака Глобус-М2, и с результатами работы плазмофизического кода DINA. Возможность работы разработанного алгоритма восстановления в реальном времени подтверждается моделированием на машине реального времени Speedgoat Performance.

Выносимые на защиту результаты прошли необходимую апробацию при обсуждениях на международных и национальных конференциях, также их достоверность подтверждается 16-ю публикациями в рецензируемых научных журналах, среди которых Mathematics (MDPI), Control Engineering Practice, Fusion Engineering and Design, Физика Плазмы, Вопросы атомной науки и техники. Серия: Термоядерный синтез.

В качестве замечаний можно отметить следующее:

1. Для представленного в работе итерационного алгоритма восстановления равновесия плазмы FCDI-IT не доказана сходимость итераций.

2. Не приведено сравнения результатов алгоритма восстановления FCDI с другими существующими алгоритмами восстановления.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.9. «Физика плазмы» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Корнев Павел Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9. «Физика плазмы».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,
профессор кафедры математики,
заведующий отделением прикладной математики
физического факультета
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Московский государственный университет
имени М. В. Ломоносова»

БОГОЛЮБОВ Александр Николаевич

Контактные данные:

тел.: 7(495)9391033, e-mail: bogan7@yandex.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:

05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Адрес места работы:

119991, г. Москва, Ленинские горы, МГУ им. М.В.Ломоносова, д. 1, стр. 2.

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени
М.В.Ломоносова», физический факультет, кафедра математики.

Тел.: +7 (495) 939 10 33; e-mail: info@physics.msu.ru

Подпись профессора кафедры математики физического факультета
Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова
А.Н. Боголюбова удостоверяю: