

ОТЗЫВ

**на автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
Конькова Артема Евгеньевича
на тему: «Полунатурное моделирование цифровых систем магнитного
управления плазмой в токамаках»
по специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные
методы и комплексы программ»**

Диссертация А.Е. Конькова посвящена разработке цифровых систем управления с отрицательной обратной связью для стабилизации вертикального и горизонтального положения плазмы в токамаке, а также решению более сложной задачи управления формой поперечного сечения плазменного шнура. Актуальность и практическая значимость работы обусловлена перспективами применения полученных результатов на действующих и проектируемых российских установках типа токамак. Одним из основных требований к плазменному эксперименту с параметрами плазмы, близкими к термоядерным, является поддержание квазистационарного цикла работы установки, длительность которого превышает все характерные времена удержания плазмы, включая время диффузии магнитного поля. Реализация такого цикла со стабилизированным током плазмы, ее положением и формой невозможна без использования контуров автоматического управления. При этом следует учитывать, что в современных токамаках питание обмоток электромагнитной системы осуществляется сетевыми или накопительными источниками энергии мощностью, превышающей десятки и сотни мегаватт. В связи с этим системы автоматического управления должны обладать высокой надежностью и гарантировать безаварийную эксплуатацию установки.

Представленная в диссертации работа направлена на создание современной системы управления сферического токамака Глобус-М2 в ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург. Сферические токамаки рассматриваются в настоящее время как потенциальная основа для создания устройств

масштаба термоядерного источника нейтронов. Для работы установки Глобус-М2 используются сетевые источники питания суммарной мощностью 125 МВА. В их состав входят трехфазные тиристорные выпрямители с током в нагрузке свыше 100 кА и инверторы напряжения, с помощью которых контролируется вертикальное и горизонтальное положение плазмы путем регулировки тока в соответствующих обмотках управления. Параметры обмоток электромагнитной системы, включая результаты замеров приложенного к ним напряжения, и параметры источников питания были использованы автором в комплексе программ для проведения полунатурного моделирования цифровых систем управления с обратной связью в условиях, максимально приближенных к реальным. Созданный для этого в ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН стенд реального времени на базе целевых машин Speedgoat Performance следует рассматривать как действующий прототип системы управления токамака Глобус-М2.

В настоящее время необходимое для системы управления оборудование и программное обеспечение установлено в ФТИ им. А.Ф. Иоффе. Для планируемого управления формой плазменного шнура подготовлен алгоритм реконструкции равновесной магнитной конфигурации в реальном времени, работающий на базе данных измерений токов и магнитных потоков. Результаты работы алгоритма сопоставлены с результатами реконструкции магнитного равновесия, полученными с помощью используемых на токамаке Глобус-М2 кодов. При этом достигнуто их хорошее соответствие.

В 2024 на токамаке Глобус-М2 начата апробация разработанной автором системы управления. Работа будет продолжена в 2025 году с последовательной наладкой систем управления вертикальным и горизонтальным положением плазмы и стабилизацией плазменного тока. На заключительном этапе предполагается наладка системы управления формой сечения плазменного шнура, в том числе и в экспериментах с мощным дополнительным нагревом плазмы атомными пучками большой энергии.

Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода.

Таким образом, соискатель Коньков Артем Евгеньевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Кандидат физ.-мат. наук,
ведущий научный сотрудник
лаборатории методов нагрева и генерации тока плазмы
Сахаров Николай Владимирович

Контактные данные:

e-mail: Nikolay.Sakharov@mail.ioffe.ru

Адрес места работы:

194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 26
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской а
лаборатория методов нагрева и генерации тока плазмы
Тел.: +7(812) 297-2245; e-mail: post@mail.ioffe.ru

Подпись сотрудника ФТИ им. А.Ф. Иоффе Н.В. Сахарова удостоверяю:

Ученый секретарь ФТИ им. А.
кандидат физ.-мат. наук



Патров)