

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

АО «ТНЦ РФ ТРИНИТИ»

доктор физ.-мат. наук, профессор

В.Е. Черковец

2015 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Н.А. Давыдовой (Чмыховой) «Математические модели формирования равновесных конфигураций плазмы в магнитных ловушках – галатях», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 — Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Диссертационная работа Н.А. Давыдовой (Чмыховой) посвящена математическому моделированию и численному исследованию физических процессов, относящихся к формированию плазменных конфигураций в магнитных ловушках для удержания плазмы. Выбранная тема диссертации весьма актуальна, т.к. удержание плазмы магнитным полем рассматривается в качестве основного механизма в программах управляемого термоядерного синтеза и постоянно обсуждается в мировой научной литературе.

В рецензируемой диссертации объектом математического моделирования является магнитная ловушка «Пояс», точнее ее распрямленный аналог — плазменный цилиндр с двумя погруженными в него проводниками с током, что следует рассматривать в качестве примера перспективного класса так называемых ловушек-галатей. Целью работы является создание и исследование математической модели формирования плазменных конфигураций в цилиндре, в которых горячая плазма не соприкасалась бы с проводниками. Такие конфигурации теоретически возможны в строго равновесном состоянии и исследованы ранее в плазмостатической модели на основе уравнения Грэда-Шафранова для функции магнитного потока. Плазма в них сосредоточена вдоль сепаратрисы магнитного поля и изолирована от проводников. Протекающий при этом ток в плазме сонаправлен с проводниками вне сепаратрисы и имеет противоположное направление внутри нее. В работах Н.А. Давыдовой (Чмыховой) обращено внимание на недоопределенность плазмостатической

модели, т.к. в ней не учтена конечная проводимость и диффузия, и она не позволяет исследовать формирование конфигурации.

В диссертации построена и реализована плазмодинамическая модель формирования в терминах нестационарной начально-краевой двумерной МГД-задачи с конечной проводимостью плазмы. Ток в проводниках, как предложено в работе Г.И. Дудниковой, А.И. Морозова и М.П. Федорука (1997) возрастает до нужного значения на начальной стадии процесса формирования, в результате в плазме возникает отрицательный ток, и образуется изолированная от проводников конфигурация с максимумом давления в районе сепаратрисы поля. Она существует в квазиравновесном состоянии, медленно разрушаясь в процессе диффузии поля. Постановка задачи и метод численного решения изложены в 1-й и 2-й главах работы. Расчеты гиперболической части задачи проведены явным разностным методом коррекции потоков, диффузионной части — с помощью неявной разностной схемы и метода продольно-поперечной прогонки. Обращено внимание на особенности реализации этих численных методов в решении задачи.

В 3-й главе диссертации изложенная модель проверена расчетами одномерной задачи в окрестности одного проводника, что следует рассматривать как элемент любой задачи о ловушках-галатеех. Здесь показано, что в задачах с постоянным током в проводнике образуются равновесные конфигурации плазмы, прижатые к проводнику. Если же этот ток сначала возрастает, то образуется квазиравновесная конфигурация кольцевой формы, не касающаяся проводника.

В 4-й главе реализована двумерная МГД-модель с указанными свойствами в цилиндрах круглого и квадратного сечений. Рассмотрено два типа граничных условий для магнитного поля — с заданием осевого электрического поля или тангенциального магнитного поля, пропорционального полному току в системе. В результате получены конфигурации плазмы, магнитного поля и электрического тока, расположенные вне проводников и медленно диффундирующие в сторону однородного по всей области состояния покоя. В серии расчетов установлена зависимость результатов от безразмерных параметров задачи и объяснен смысл влияния размерных физических параметров.

Основные научные результаты, полученные в диссертации:

1. Представлена математическая модель формирования магнитоплазменных конфигураций в ловушке-галатее «Пояс». Она включает в себя постановку двумерной нестационарной МГД-задачи с конечной проводимостью плазмы, выбор и реализацию численного

метода ее решения, комплекс программ, обеспечивших расчеты процессов в ловушке с использованием высокопроизводительных вычислительных систем.

2. Расчеты одномерных вариантов задачи с одним токнесущим проводником подтвердили основную концепцию формирования конфигураций, отделенных от проводника, справедливую для широкого класса ловушек-галатей.
3. В расчетах двумерных задач получена серия квазиравновесных режимов конфигураций плазмы, изолированных от проводников и установлена зависимость их свойств и времени существования от основных параметров задачи.

Новизна полученных результатов подтверждается содержательным изложением результатов предшествующих работ во Введении и правильно указанным местом данной работы среди них в обсуждаемой области.

Достоверность результатов, полученных в численном решении нелинейных задач, устанавливается, как это принято, их «внутренней сходимостью» при измельчении расчетной сетки, а также совпадением с возможными точными решениями в более простых вариантах задачи.

Полученные в диссертации результаты имеют теоретическое значение, поскольку вносят вклад в теорию магнитных ловушек и содействуют пониманию происходящих с них процессов и закономерностей, а также в теорию математического моделирования процессов. Они имеют и практическое значение, т.к. могут быть востребованными при разработке новых вариантов магнитных ловушек и их оптимизации. Они могут быть полезными специалистам по близким вопросам математического моделирования в ТРИНИТИ, РНЦ «Курчатовский институт», МИРЭА, ИВМ, ИОФАН, МГУ им. М.В. Ломоносова, МФТИ, НИЯУ МИФИ, в институтах СО РАН — ИМ им. С.Л. Соболева, ИГ им. М.А. Лаврентьева, ИВМиМГ, ИВТ.

Результаты диссертации полностью опубликованы в 3 статьях в журналах, рекомендованных ВАК и тезисах 13 докладов на научных конференциях и съездах.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

В качестве замечания к тексту диссертации отметим неоднородность изложения методической части работы: метод коррекции потоков и коррекция по Залесаку даны излишне подробно, особенности расчетов в центре круга лишь упомянуты, а нарушение гладкости в углу квадрата вообще оставлена без внимания. В качестве пожелания можно посоветовать уделить больше внимания модели тока в проводниках: в существующем

варианте в расчетах видны особенности распределения тока в районе условной границы проводника, что, по-видимому, относится к методу, а не к природе явления.

Оценивая диссертацию в целом, следует квалифицировать ее как решение актуальной задачи математического моделирования физического явления, внесшее вклад в теорию и практику моделирования и исследования физических процессов в плазме. Работа соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 05.13.18, и ее автор Наталья Александровна Давыдова (Чмыхова) заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Отзыв составил главный научный сотрудник,

д. ф.-м. н., профессор



В.Е. Трошиев

Отзыв обсужден и одобрен на заседании секции №6 «Расчетно-теоретические и экспериментальные исследования физических процессов в плазме и твердых телах» Научного Совета АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ», протокол № 151 от «04» декабря 2015 г.

Председатель Секции

д. ф.-м. н., профессор



А.П. Напартович

Ученый секретарь Секции

к. ф.-м. н.



И.В. Кочетов

Акционерное общество "Государственный научный центр Российской Федерации Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований"

142190, г. Москва, г. Троицк, ул. Пушкиных, вл. 12

Телефон: 8(495)841-53-08, Факс: 8(495)841-57-76

E-mail: liner@triniti.ru

www.triniti.ru