

«Утверждаю»  
И.о. директора Федерального  
государственного бюджетного учреждения  
науки  
Института динамики геосфер  
имени академика М.А. Садовского  
Российской академии наук,  
д.ф.-м.н. С.Б. Турунтаев



## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт динамики геосфер имени академика М.А. Садовского Российской академии наук о диссертационной работе **Николенко Андрея Сергеевича «Исследование динамики импульсных плазменных струй во внешнем магнитном поле на крупномасштабной экспериментальной установке»**, представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 «Физика плазмы»

## Актуальность избранной темы

В диссертации представлены результаты экспериментального исследования комплекса явлений, развивающихся при разлете плазменных струй, создаваемых компактными коаксиальными генераторами на основе эрозионного разряда, в квазиоднородном магнитном поле в вакууме и фоновой плазме применительно к задачам моделирования активных экспериментов и астрофизических плазменных явлений. Актуальность темы и результатов работы обусловлена необходимостью решения подобных задач при разработке схем установок управляемого термоядерного синтеза, в высокоэнергетических лазерно-плазменных экспериментах, моделирующих мощные астрофизические события, а также в различных областях геофизики и астрофизики,

включая исследования процессов, связанных с распространением в ионосфере Земли и ближнем космосе плазменных потоков различного происхождения и масштаба.

### **Цели и задачи диссертационной работы**

Целью диссертационной работы являлось проведение экспериментальных исследований явлений, сопровождающих и определяющих характер эволюции высокоскоростной плазменной струи в фоновой плазме и магнитном поле, процессов связанных с замагничиванием плазмы струи, диффузии в плазму магнитного поля, образования диамагнитной полости для моделирования активных плазменных экспериментов в ионосфере и ионосферно-магнитосферных процессов, связанных в движением плазменных потоков.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Разработка и создание источников плазменных струй и диагностического комплекса, обеспечивающего измерение параметров плазмы, магнитного поля и исследование изменения геометрии плазменного потока в оптическом и микроволновом диапазонах длин волн.
2. Исследование возмущений магнитного поля и фоновой плазмы и влияния плазменных неустойчивостей на динамику диамагнитной полости и инжектированной плазмы.
3. Исследование параметров и динамики коллимированного струйного течения, формируемого при инжекции плазменной струи поперек магнитного поля в вакууме – «плазменного листа».

### **Структура диссертационной работы**

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованной литературы. Общий объем работы составляет 137 страниц, включая 67 рисунков и 5 таблиц. Список литературы содержит 94 наименования.

Во **введении** формулируются цели и задачи исследования, показана их актуальность и новизна, описаны методы исследования, приводятся положения, выносимые на защиту, сведения о достоверности результатов и их апробации.

В **первой главе** приводится обзор методов исследования явлений, связанных с распространением плазменных потоков в магнитном поле, дано описание установки «Крот», на которой выполнялись экспериментальные исследования, включая задачи и параметры источников плазмы и средств диагностики ее параметров и вариаций магнитного поля, проводится сопоставление параметров эксперимента с условиями

других лабораторных исследований и реальными параметрами космической плазмы с использованием принципов подобия.

**Во второй главе** приводятся результаты исследования динамики диамагнитной каверны, создаваемой плазменной струей при инжекции вдоль внешнего магнитного поля в вакуум и в фоновую плазму, дается общая характеристика магнитных возмущений, создаваемых плазменным потоком, обсуждаются особенности диамагнитных возмущений, дается оценка энергии плазменной струи и характер ее эволюции при распространении в поперечном магнитном поле.

**В третьей главе** дается теоретическое описание плазменных неустойчивостей на границе потока плазмы и магнитного поля, приводятся результаты исследования желобковой неустойчивости, возникающей на границе плазменной струи при инжекции вдоль магнитного поля в вакуум и фоновую плазму, обсуждаются методические вопросы определения границ пламенного потока и диамагнитной каверны.

**Четвёртая глава** посвящена результатам экспериментов по исследованию динамики плазменных струй, инжектируемых поперек магнитного поля в вакуум, в которых наблюдается формирование крупномасштабного коллимированного струйного течения плазмы – «плазменного листа», приводятся результаты моделирования распространения и коллимации потока плазмы и зависимости его параметров от индукции внешнего магнитного поля.

**В заключении** приводятся и обсуждаются основные результаты диссертационного исследования.

### **Научная новизна исследования и степень достоверности положений и выводов диссертации, замечания**

Общая постановка модельных экспериментов по инжекции плазменного потока в магнитное поле в условиях лабораторного эксперимента не является новой. Однако конкретные параметры создаваемых в камере большого размера плазменных потоков и развитые в работе диагностические методы позволили получить новые и важные для моделирования перспективных плазменных космических экспериментов в реальной геофизической среде результаты.

В работе исследован широкий спектр явлений, наблюдавшихся в активных космических экспериментах, включая образование диамагнитных каверн, коллимацию плазмы внешним магнитным полем, развитие электромагнитных нижнегибридных неустойчивостей на начальной стадии разлета и развитие желобковых неустойчивостей на

стадии торможения плазмы. Существенные результаты получены при исследовании образования крупномасштабного коллимированного потока плазмы («плазменный лист»), определена концентрация электронов в «плазменном листе», восстановлена структура и особенности конфигурации плазмы, исследована динамика магнитного поля внутри плазменной струи.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений диссертации обеспечивается прежде всего использованием уникальной экспериментальной установки «Крот», известной результатами многолетних исследований в области взаимодействия плазменных потоков с фоновой плазмой и магнитным полем.

**Личный вклад соискателя в разработку поставленных задач** заключается в модернизации имеющихся и разработке новых источников плазмы, методов и средств диагностики, в проведении экспериментов, получении и анализе полученных результатов.

**Выводы работы** строятся на основании проведения достаточного по составу и количеству экспериментов по исследованию сложной трёхмерной динамики взаимодействия плазменного потока с внешним магнитным полем. Высокое качество научного оборудования, схема и методология проведенных исследований обеспечивает **достоверность и воспроизводимость** полученных в работе результатов.

В то же время, по диссертации можно сформулировать ряд **замечаний**. В главе 1 подробно описываются использованные компактные источники плазмы эрозионного типа, которые известны достаточно давно, однако ссылки на некоторые основополагающие работы (например, В.С. Комелькова с соавторами) не приводятся. Неустойчивость, регистрируемая в магнитных сигналах и описанная Николенко А.С. во второй главе, ассоциируется им с нижнегибридной неустойчивостью. Для полноты картины было бы полезно представить физический механизм возбуждения данной неустойчивости в конкретной лабораторной постановке, как это сделано в главе 3 с желобковой неустойчивостью. Кажется, что в конце третьей главы недостаточно внимания уделено обсуждению различий наблюдаемых проявлений желобковой неустойчивости при инжекции в фоновый газ и фоновую плазму; хотелось бы видеть такую же степень теоретической проработки на уровне оценок, как и в вакуумном случае. Наконец, возникает вопрос, почему при исследовании инжекции плазмы коаксиального инжектора поперек магнитного поля в главе 4 зондовыми методами не измерялось электрическое

поле поляризации, посредством которого автор объясняет формирование струйного течения плазмы поперек магнитного поля. В диссертации присутствуют опечатки, пунктуационные и стилистические ошибки, погрешности оформления.

### **Степень завершённости исследования, научная и практическая значимость полученных результатов**

Показанные в диссертации исследования можно квалифицировать как завершённые в смысле получения большого количества новых экспериментальных результатов при изучении процессов взаимодействия плазменных потоков с фоновой средой и магнитным полем.

Разработанные в процессе подготовки и проведения экспериментов компактные коаксиальные генераторы на основе эрозионного разряда могут найти применение как при проведении новых модельных экспериментов, так и при создании плазменных инжекторов различного назначения, включая импульсные плазменные двигатели, сильноточные коммутаторы, системы инжекции плазмы в установках управляемого термоядерного синтеза. Практическая ценность и значимость результатов диссертационной работы заключается также в возможности их использования при разработке перспективных активных плазменных экспериментов в космосе, интерпретации данных проведённых плазменных экспериментов и явлений, сопровождающих взаимодействие природных плазменных потоков различного масштаба с фоновой плазмой и магнитным полем в реальной геофизической среде.

**Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации и правильно отражает задачи и результаты исследования.**

**Указанные выше замечания не влияют на положительную оценку представленной работы.** Тема диссертационного исследования соответствует заявленной специальности. Результаты работы опубликованы в достаточном количестве работ и доложены на российских и международных конференциях и семинарах. Диссертация Николенко Андрея Сергеевича является научно-квалификационной работой, в результате проведения которой получены новые и важные для решения ряда практических задач результаты, которые могут быть использованы для анализа и интерпретации природных геофизических процессов в ионосфере и магнитосфере Земли, проведении плазменных экспериментов в космосе, в ряде научных и технических приложений, связанных с созданием необходимых плазменных конфигураций и течений в условиях разреженной атмосферы и наличия сильного фонового магнитного поля. Диссертация соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного

постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени.

*Отзыв заслушан и обсужден на заседании объединенного семинара лабораторий «Литосферно-ионосферных связей» и «Электродинамических процессов в геофизике» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института динамики геосфер имени М.А. Садовского РАН, одним из основных направлений научно-исследовательской деятельности которых являются изучение электродинамических процессов в литосферно-ионосферной системе и их лабораторное моделирование, проведение крупномасштабных плазменных экспериментов в космосе, и одобрен в качестве официального отзыва ведущей организации.*

доктор физ.-мат. наук



Ю.И. Зецер

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт динамики геосфер имени академика М.А. Садовского Российской академии наук (ИДГ РАН),  
119334, г. Москва, Ленинский проспект, д.38, корпус 1,  
тел.: +7 (499) 1376611,  
e-mail: [geospheres@idg.ras.ru](mailto:geospheres@idg.ras.ru)

*Подписавший отзыв сотрудник согласен на обработку персональных данных и включение их в материалы, связанные с работой диссертационного совета.*

Подпись Ю.И. Зецера заверяю:

Ученый секретарь ИДГ РАН  (Д.Н. Локтев)