

Минобрнауки России
Федеральное государственное
бюджетное учреждение науки
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ
им. Г.И. Будкера
Сибирского отделения Российской
академии наук
(ИЯФ СО РАН)

Утверждаю
Директор ИЯФ СО РАН,
академик РАН
д.ф.-м.н.
П. В. Логачев

« _____ » _____ 2025 г.
МП

ОТЗЫВ

ведущей организации

на диссертационную работу

Солохи Владимира Владимировича

«Магнитогидродинамическая устойчивость краевой плазмы в сферических
токамаках Глобус-М и Глобус-М2»

представленную на соискание учёной степени кандидата физико-
математических наук по специальности 1.3.9 — «Физика плазмы»

Диссертация Солохи В.В. посвящена изучению устойчивости краевой плазмы сферических токамаков, в частности токамаков Глобус-М и Глобус-М2. Дестабилизация краевой плазмы в токамаках приводит к росту тепловых нагрузок на компоненты токамака, обращённые к плазме. В случае ЭЛМов типа 1 в токамаке ИТЭР величина тепловых ударов на материалы становится неприемлемо большой. Решение проблемы стабилизации краевой плазмы является одной из ключевых задач УТС на протяжении последних 40 лет, что подчеркивает несомненную актуальность работы.

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка литературы. Во введении представлена актуальность, проведённого исследования, сформулирована научная новизна, цели и задачи исследования, методология, выносимые на защиту положения и личный вклад автора, который является определяющим. Приведены списки докладов и публикаций, определяющие достоверность результатов.

Первая глава носит обзорный характер и описывает современное состояние численных и экспериментальных исследований краевых неустойчивостей.

Представлены модели магнитогидродинамических неустойчивостей, способных предсказать устойчивость краевой плазмы токамака. Описаны типы экспериментально наблюдавшихся краевых неустойчивостей. Приведено описание токамаков Глобус-М, Глобус-М2 и Глобус-3 и используемые диагностические системы. Сформулированы задачи диссертационного исследования.

Во второй главе представлены экспериментальные исследования краевых неустойчивостей на токамаке Глобус-М и Глобус-М2. Показана необходимость введения классификации наблюдаемых краевых неустойчивостей ввиду их синхронизации с внутренними перезамыканиями. Произведено обобщение экспериментальных условий каждого типа неустойчивостей.

В третьей главе представлено моделирование развития пилинг-баллонной моды в условиях разряда токамаков Глобус-М и Глобус-М2. Проанализирована устойчивость пилинг-баллонной моды в токамаке Глобус-М и описана гипотеза о механизме связи развития краевых неустойчивостей и внутренних перезамыканий, приводящая к наблюдению синхронизации данных неустойчивостей. Применена модель типа EPED для оценки предельных параметров пьедестала токамака Глобус-М2 и к предсказанию параметров пьедестала проекта токамака Глобус-3, что придаёт выводам прогностический характер.

В четвёртой главе произведена дополнительная валидация ранее описанных моделей с помощью анализа устойчивости краевой плазмы в условиях разрядов с низкой треугольностью. Проведенные эксперименты показали, что дестабилизация краевых неустойчивостей происходит при низких давлениях. Моделирование развития пилинг-баллонной моды продемонстрировало, что понижение предельного давления может быть связано её дестабилизацией. Показано, что понижение давления в пьедестале, необходимого, для дестабилизации моды, приводит к недооценке ширины пьедестала имеющимся скейлингами, что может представлять область дальнейших исследований.

В заключении сделаны выводы о выполнении всех поставленных целей диссертационного исследования. Список литературы включает в себя 187 наименований.

Достоверность результатов диссертации подтверждается многократным повторением измерений и отсутствием противоречий между

диссертационными результатами и результатами общемировых исследований. Диссертационное исследование обладает логической структурой и понятно читателю. Работа выполнена на высоком научном уровне.

Автореферат диссертации полностью отражает ее основное содержание.

К диссертации Солохи В.В. имеются следующие замечания:

1. В Главе 1 при выводе формул магнитной гидродинамики недостаточно полно указаны использованные источники информации. Например, в параграфе 2.2 при выводе сложных формул вообще нет ни одной ссылки, так же как и в параграфе 2.3 вплоть до формулы (1.24). Из-за этого у читателя может возникнуть ощущение, что все сложные теоретические выкладки выполнены самим соискателем.

2. На странице 39 недостаточно пояснена фраза «режимы с частыми и неразрушительными краевыми неустойчивостями не подходят для использования в ITER и будущих реакторах». В данной формулировке это противоречит одному из основных подходов для подавления ЭЛМов первого типа для будущих реакторов – высокочастотной инжекции дейтерия или твердых гранул для запуска высокочастотных ЭЛМ с пониженной энергией [Nucl. Fusion 65 (2025) 053001, стр. 33]. Этот подход далее упомянут в самой диссертации (Таким образом, увеличивая частоту следования можно понизить долю энергии пьедестала, выбрасываемой за один цикл, и, соответственно, понизить пиковые тепловые нагрузки на дивертор.)

3. На странице 6 среди «Наиболее эффективных реакций» почему-то не упомянута реакция D-D, хотя ее сечение при энергиях ниже 70 кэВ выше чем у D-³He и p-¹¹B.

4. В тексте нет пояснений как измерен профиль давления плазмы, представленный на Рис. 2.4, и чем определяется точность измерений.

Вышеуказанные замечания не снижают ценности диссертационной работы.

Результаты исследований могут быть использованы в научной работе профильных учреждений, таких как: Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» и в других институтах и учреждениях, где проводятся работы по управляемому термоядерному синтезу и разработке термоядерного источника нейтронов.

Материал диссертации Солохи Владимира Владимировича «Магнитогидродинамическая устойчивость краевой плазмы в сферических токамаках Глобус-М и Глобус-М2» рассмотрен на семинаре плазменных лабораторий Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт Ядерной Физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук 22 апреля 2025 года.

Считаем, что диссертационная работа Солохи В.В. «Магнитогидродинамическая устойчивость краевой плазмы в сферических токамаках Глобус-М и Глобус-М2» отвечает всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 "Физика плазмы" согласно Положению о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-техническом институте им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук, а ее автор Солоха Владимир Владимирович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук.

Отзыв подготовлен:

Шошин Андрей Алексеевич
кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник
Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН
Специальность 01.04.08 – физика плазмы
Тел: +7 913 393 53 20
email: A.A.Shoshin@inp.nsk.su
05 мая 2025 г.

Шошин Андрей Алексеевич

Багрянский Петр Андреевич
Заместитель директора по научной работе
доктор физико-математических наук
Специальность 01.04.08 – физика плазмы
Тел: +7 383 329 42 24
email: P.A.Bagryansky@inp.nsk.su
05 мая 2025 г.

Багрянский Петр Андреевич

Подпись Шошина А. А. и Багрянского П. А. заверяю:

Ученый секретарь,
ИЯФ СО РАН, к.ф.-м.н.

_____ / Резниченко А. В. /