

**ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА
АЛЕКСЕЕВА АНДРЕЯ ГЕННАДЬЕВИЧА**

на диссертационную работу Тюхменевой Екатерины Алексеевны на тему: «Исследование эффективного заряда плазмы и радиационных потерь в сферическом токамаке Глобус-М2 в экспериментах с дополнительным нагревом пучками атомов», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 – Физика плазмы.

Работа Тюхменевой Е.А. выполнена на актуальную и научно значимую тему, напрямую связанную с проблемами удержания плазмы в установках типа сферический токамак — одного из перспективных направлений развития управляемого термоядерного синтеза. В частности, исследование проводилось на установке Глобус-М2, имеющей важнейшее значение в отечественных экспериментах по УТС.

Автором проделана значительная работа по разработке и внедрению системы измерения эффективного заряда плазмы и интенсивности линейчатого излучения примесей в видимой области спектра, а также модернизации многохордовой системы SPD-фотодиодов, в составе комплекса диагностики радиационных потерь плазмы в области вакуумного ультрафиолета. Впервые на сферическом токамаке проведены измерения эффективного заряда ионов и радиационных потерь в условиях повышенного тороидального магнитного поля (до 0,95 Тл) и тока плазмы (до 0,45 МА). В диссертации соискательницей проведён глубоко продуманный анализ процессов, определяющих поведение эффективного заряда плазмы и потерь на излучение при различных режимах работы токамака.

Диссертация включает три содержательные главы, логически выстроенные и последовательно раскрывающие поставленные задачи. В первой главе дан исчерпывающий обзор современного состояния исследований в области спектроскопии плазмы в сферических токамаках.

Вторая глава описывает экспериментальную установку Глобус-М2 и комплекс спектроскопических диагностик, а третья содержит экспериментальные результаты и их анализ, включающий выявленные зависимости параметров плазмы от условий эксперимента.

Следует особо отметить следующие научные результаты, составляющие новизну работы:

- Впервые на установке типа сферический токамак проведены измерения эффективного заряда и радиационных потерь в широком диапазоне плазменных параметров, при значениях тока по плазме до 0,45 МА и магнитного поля до 0,95 Тл;
- Сделана количественная оценка влияния боронизации на содержание примесей в плазме, продемонстрировано существенное снижение эффективного заряда ионов плазмы на 25–35% после такой процедуры;
- Продemonстрировано, что в режимах улучшенного удержания происходит накопление примесей в центральной части плазмы, а при развитии краевых неустойчивостей возрастает приток примесей в центр;
- Зафиксирована закономерность роста мощности и доли радиационных потерь с увеличением плотности плазмы;
- Впервые применена система SPD-фотодиодов для регистрации МГД-неустойчивостей на токамаке Глобус-М2 с высокой временной разрешающей способностью.

Достоверность полученных результатов подтверждается как внутренним согласованием разных методов измерений, так и сопоставлением с данными других установок, а также публикациями в рецензируемых научных журналах и выступлениями на международных конференциях.

Результаты, полученные Тюхменевой Е.А., обладают не только фундаментальной научной, но и прикладной ценностью. Разработанный комплекс диагностик уже используется в текущих экспериментах на Глобус-М2, а предложенные подходы могут быть масштабированы и адаптированы для более мощных установок, таких как Глобус-3 и TPT.

Замечания:

- 1) Обычно считается, что пилообразные колебания, развивающиеся в центральной области плазмы, выносят примеси из центра шнура, тем самым снижая эффективный заряд плазмы. В разделе 3.1.5 приводятся противоположные результаты, предположительное объясняемые синхронным возникновением краевых неустойчивостей (ELM), однако такой вывод нельзя однозначно сделать лишь на основе единственного разряда 44079, наблюдался ли такой эффект в других разрядах, и есть ли статистика такого поведения Z_{eff} при развитии пилообразных колебаний?
- 2) В работе нет примеров моделирования энергобаланса плазмы и определения коэффициентов переноса, а только ссылки на работы.

В целом, диссертационная работа Тюхменевой Е.А. представляет собой завершённое научное исследование, выполненное на высоком уровне, и отвечает всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 1.3.9 – Физика плазмы. Екатерина Алексеевна заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Считаю, что диссертационная работа Тюхменевой Екатерины Алексеевны «Исследование эффективного заряда плазмы и радиационных потерь в сферическом токамаке Глобус-М2 в экспериментах с дополнительным нагревом пучками атомов» 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 Тюхменева Екатерина Алексеевна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук.

Алексеев Андрей Геннадьевич

к.ф.-м.н., 01.04.10,

начальник отдела ИТЭР, НИЦ «Курчатовский институт»,
пл. Академика Курчатова, д. 1, Москва, 123182,

Телефон +7 499-1967220,

Alekseev_AG@nrcki.ru,

19.05.2025

Подпись Алексеева А.Г. заверяю

Заместитель Директора – Главный ученый секретарь

НИЦ «Курчатовский Институт

Алексеева О.А.