

**ОТЗЫВ**  
**рецензента**  
**на диссертационную работу Чектыбаева Бауржана Жамбуловича**  
**на тему «Развитие методов диагностики процессов в плазме и на поверх-**  
**ности первой стенки установки токамак», представленную на соискание**  
**степени доктора философии (PhD)**  
**по специальности 6D072300 – «Техническая физика».**

**1. Актуальность темы исследования и ее связь с общенациональными и общегосударственными программами**

В настоящее время вводится в эксплуатацию токамак КТМ. На КТМ планируется проведение исследования поведения кандидатных материалов первой стенки будущих термоядерных реакторов под воздействием тепловых потоков плазмы. Установка КТМ является одним из значительных звеньев в кооперации передовых стран мира по созданию экологически чистой и безопасной термоядерной энергетики будущего. На установке КТМ должна быть получена плазма с током  $I_p=750$  кА и аспектным отношением  $A=2$ . Установок с подобным аспектным отношением до настоящего времени не создавалось, поэтому исследование физики плазмы в подобной установке также является весьма интересным. Таким образом, совершенствование и использование методов диагностики, предназначенных для измерения параметров плазменного шнура токамака КТМ и взаимодействия плазмы с исследуемыми материалами первой стенки будущих ТЯР, является очень актуальным.

В работе предложено решения ряда проблем связанных с эксплуатацией токамака КТМ.

На стадии ввода в эксплуатацию установки токамак одной из первоочередных задач является достижение лавинного пробоя. Одним из главных условий получения пробоя является организация минимума полоидального магнитного поля в вакуумной камере (нуль поля). Для создания такого поля проводятся расчеты с использованием расчетных кодов с использованием

модели ЭМС токамака с учетом проводящей структуры вакуумной камеры. Первые эксперименты показали, недостаточность такого подхода и необходимость точного измерения поля в вакуумной камере и построения точной модели вакуумной камеры для проведения расчетов.

В конструкции вакуумной камеры КТМ ограничено визуальное наблюдение за плазмой. Так как система наблюдения за плазмой является одной из базовых диагностик, требуется разработка системы позволяющей организовать видеонаблюдение за плазменным шнуром КТМ.

Поскольку на токамаке КТМ будут проводиться исследования поведения материалов под воздействием потоков высокотемпературной плазмы, то требуется разработка надежных методов измерения температуры поверхности исследуемых образцов.

Таким образом, создание и использование специальных средств и способов измерения позволяющих получать экспериментальные данные, обеспечивающие проведение исследований на токамаке КТМ имеет большое значение для реализации всей научно-исследовательской программы на уникальной установке.

Поэтому актуальность диссертационной работы Чектыбаева Б.Ж., посвященной разработке и развитию методов диагностики плазмы для установки токамак КТМ, не вызывает сомнения.

Работа выполнена в рамках темы грантового финансирования, а результаты работы внедрены в производство для получения результатов в рамках бюджетных тем, что однозначно говорит о ее актуальности.

## **2. Научные результаты и их обоснованность**

Итогом проведенных научных исследований являются:

– способ прямого измерения конфигурации ноля магнитного поля в вакуумной камере КТМ. В результате измерений было показано, что фактическая конфигурация ноль поля в токамаке КТМ отличается от значения, полученного с помощью расчетных кодов. Результаты измерений приняты для коррекции существующих моделей КТМ.

- система визуализации плазменного шнуря для токамака КТМ, которая позволила расширить поле зрения и значительно повысить эффективность проводимых исследований.
- диагностика ИК визуализации для наблюдения за распределением температуры на поверхности исследуемых материалов на токамаке КТМ.
- Предложен оригинальный способ коррекции термографических измерений металлических образцов на токамаке КТМ, который позволит значительно повысить точность измерения температуры на поверхности исследуемых материалов. Способ позволяет отследить изменение степени черноты исследуемых материалов, в первую очередь металлов, вследствие нагрева и модификации поверхности под воздействием потоков высокотемпературной плазмы. Работоспособность способа подтверждена расчетными и экспериментальными методами.

### **3. Степень обоснованности и достоверности каждого научного результата (научного положения), выводов и заключения соискателя, сформулированных в диссертации**

Обоснованность и достоверность полученных результатов и выводов диссертационной работы обеспечивается использованием современных теоретических и практических методов исследования, обоснованием полученных результатов.

В качестве подтверждения результативности проведенных исследование является публикации в международных высокорейтинговых журналах по УТС.

Основные результаты работы внедрены в состав диагностического комплекса токамака КТМ, что подтверждается актами внедрения.

Результаты исследований представлены на различных международных конференциях и опубликованы в научных высокорейтинговых рецензируемых журналах, в том числе рекомендованных ККСОН.

#### **4. Степень новизны каждого научного результата (положения), вывода соискателя, сформулированных в диссертации**

Научная новизна результатов диссертационной работы Чектыбаева Б.Ж. заключается в том, что в работе впервые:

- разработаны устройство и способ прямого измерения конфигурации нуль поля в токамаке КТМ;
- проведена верификация расчетных кодов моделирования и восстановления распределения полоидальных магнитных полей для токамака КТМ на основе прямых измерений конфигурации магнитного поля;
- разработана эндоскопическая система наблюдения за плазмой в видимом диапазоне для токамака КТМ;
- разработана система ИК визуализации токамака КТМ для наблюдения за распределением температурных полей на поверхности исследуемых материалов под воздействием тепловых потоков плазмы;
- разработан способ коррекции термографических измерений температуры металлов в широком температурном диапазоне в условиях быстрого нагрева под воздействием потоков высокотемпературной плазмы

#### **5. Практическая и теоретическая значимость научных результатов**

Практическая значимость результатов работы диссертации, заключается в следующем:

- разработанный способ прямого измерения конфигурации нуль-поля позволил провести верификацию расчетных кодов. Полученные результаты измерений были использованы для уточнения моделей ЭМС КТМ, что в свою очередь повысило точность проводимых расчетов. Способ применим на других установках УТС;
- разработанная система визуализации плазмы токамака КТМ позволила проводить видеонаблюдение за плазменным шнуром, решив проблему длинных экваториальных патрубков, и значительно расширила возможности экс-

периментальных исследований на КТМ. Подобная система также может быть использована на других установках УТС;

–способ коррекции термографических измерений металлических образцов способствует повышению точности термографических измерений температуры поверхности исследуемых материалов, в частности металлов, под воздействием потоков плазмы в условиях токамака КТМ.

Основные результаты работ позволили осуществить своевременную подготовку и проведение физического пуска (первого и второго этапов) токамака КТМ, а также продемонстрировать работоспособность установки на ЭКСПО 2017.

## **6. Замечания, предложения по диссертации**

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. На рисунке 1, где схематический изображен поперечное сечение вакуумной камеры КТМ недостаточно информации, в таком виде рисунок бесполезный. Например, в тексте диссертации ссылаясь на этот рисунок, приводится, что там показаны датчики напряжения и массивный токопроводящий столик дивертора, однако на указанном рисунке эти данные не отмечены.

2. На рисунках 9, 10, 23, 29, 33, 56 и 69 обозначения приведены очень мелким шрифтом и на английском языке.

3. Старые графики на рисунках 13 и 14 рекомендую обновить с помощью оцифровки на компьютерной программе.

4. В рисунке 15 показана фотография линейки в огромном размере, а сама демонстрируемая деталь очень мелким размером. Рекомендую указать масштаб другим путем.

5. В рисунке 22 сигналы от датчика Холла до и после фильтрации не различимы, и ось ординаты не обозначена.

6. Как я понял, питание катушек PF3, PF6 и TF осуществляется с использованием аналогичного источника постоянного тока. Чем отличается данный источник питания от источника самого КТМ-а?

7. Что означают отрицательные значения времени на графике токов в обмотках на рисунке 26? С чем связано отсутствие тока в катушке РF3 несмотря на то что в экспериментах было измерено магнитное поле именно этой катушки.

8. Рекомендую убрать рисунки 40 и 41, так как они не дают никакой полезной конструкционно-технической информации или объяснить особенности и важности данных рисунков.

9. В нескольких местах в диссертации встречается словосочетание «медленная видеокамера», вместе этого рекомендую писать «videокамера со стандартной частотой кадров».

10. В списке использованных источников имеются некоторые замечания по оформлению.

Отмеченные замечания носят рекомендательный характер и не снижают научной и практической значимости результатов, полученных в ходе выполнения диссертации.

## **7. Соответствие содержания диссертации в рамках требований Правил присуждения ученых степеней**

Представленная к защите диссертационная работа на тему «Развитие методов диагностики процессов в плазме и на поверхности первой стенки установки токамак» является законченным научным трудом и отвечает всем требованиям Правил присуждения ученых степеней, а ее автор Чектыбаев Бауржан Жамбулович заслуживает присуждения степени доктора философии по специальности 6D072300 – «Техническая физика».

Рецензент,  
ВНС НИИЭТФ при КазНУ им.  
Аль-Фараби, к.ф.-м.н., доцент  
КазНУ им. аль-Фараби,

**РАСТАЙМЫН**  
әл-Фараби атындағы ҚазҰУ Фылыми кадрларды  
даярлау және аттесттаттау басқармасының басшысы  
**ЗАВЕРЯЮ**  
Начальник управления подготовки и аттестации  
научных кадров КазНУ им. аль-Фараби  
Р.Е. Кудайбергенова  
«25 » ноябрь 2019 ж.т.

