

**Отзыв рецензента  
на диссертационную работу Чектыбаева Бауржана Жамбуловича  
на тему «Развитие методов диагностики процессов в плазме и на  
поверхности 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**

Казахстанский токамак материаловедческий (КТМ) занимает особое место в международных программах работ по развитию термоядерной энергетики. Назначение токамака КТМ отличает четко сформулированная цель, он предназначен для комплексных исследований и испытаний материалов защиты первой стенки, приемных пластин дивертора, диафрагм, лимитера и других внутрекамерных элементов в широком диапазоне интенсивностей и флюенсов тепловых и плазменных потоков, свойств композиционных материалов, физических и технических решений, условий проведения испытаний.

В токамаке КТМ могут быть доступны испытания материалов и узлов при флюенсах, соответствующих не только международному термоядерному экспериментальному реактору (ИТЭР), но и будущим термоядерным установкам и реакторам. Это позволяет программе разработки и совершенствования КТМ занять уникальное лидирующее место в общемировой программе по разработке и исследованию материалов для термоядерной промышленности. Ввод токамака КТМ в строй действующих установок, предшествующий завершению строительства, монтажа и начала полноценных экспериментальных исследований на ИТЭР, может служить основой широкого международного сотрудничества в области термоядерного материаловедения, включая разработку и исследование не только новых материалов, но и новых технологических решений и конструкций.

Следует отметить, что токамак КТМ является единственной мегаамперной установкой в мире с аспектным отношением  $A=2$ , использование которой позволит получить базу данных для физики процессов удержания плазмы в пограничной области между сферическими и классическими токамаками, поэтому результаты работ на КТМ могут внести существенный вклад в развитие термоядерной энергетики.

В связи с этим, диссертационная работа Чектыбаева Б.Ж., направленная на развитие методов диагностики процессов в плазме и на поверхности первой стенки установки токамака КТМ, несомненно, является актуальной. Актуальность и высокий научно-практический потенциал данного исследования подтверждается связью с государственными программами Республики Казахстан, а именно с программой грантов Комитета науки Министерства образования и науки по направлению «Прикладные научные исследования технологического

характера» на 2015-2016 и 2018-2020 годы и с республиканской бюджетной программой «Прикладные научные исследования технологического характера» на 2015-2017 годы.

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

Задачи, поставленные в данной диссертационной работе, соответствуют общей цели разработки и совершенствования средств измерения и методов диагностики плазмы. Выполнен анализ проблем, требующих решения для успешного проведения исследований на токамаке КТМ, сформулирована цель и задачи исследования, выбраны методы исследования в соответствии с поставленными задачами.

При выполнении диссертационной работы Чектыбаевым Б.Ж. были получены следующие научные результаты:

1. Разработан способ прямого точного 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. По результатам измерений внесены коррекции в модель электромагнитной системы (ЭМС) КТМ, что позволило значительно повысить точность моделирования начальной стадии пробоя. Рассчитанный токовый сценарий с уточненной моделью ВК позволил достичь лавинного омического пробоя на токамаке КТМ.

2. Разработана система визуализации плазменного шнура для токамака КТМ. Система позволила проводить наблюдения за плазмой на токамаке КТМ и позволила значительно повысить эффективность проводимых исследований на токамаке КТМ.

3. Разработана диагностика инфракрасной (ИК) визуализации для наблюдения за распределением температуры на поверхности исследуемых материалов на токамаке КТМ.

4. Предложен оригинальный способ коррекции термографических измерений металлических образцов на токамаке КТМ. Проведенные расчеты показали реализуемость предложенного способа, экспериментальные измерения подтвердили работоспособность способа. Способ позволяет отследить изменение степени черноты исследуемых материалов, в первую очередь металлов, вследствие нагрева и модификации поверхности под воздействием потоков высокотемпературной плазмы. Что позволяет значительно повысить точность измерения температуры на поверхности исследуемых материалов.

Таким образом, в процессе выполнения диссертационной работы был решен широкий комплекс задач, направленных на разработку и совершенствование средств измерения и методов диагностики плазмы для обеспечения проведения научных исследований на токамаке КТМ.

Результаты получены с применением современных апробированных методов экспериментальных исследований, таких как оптическая и инфракрасная пирометрия, ИК термография.

Основные результаты, полученные в ходе исследования, подтверждаются публикациями научных результатов в международных научных журналах и широким представлением на международных конференциях и семинарах (8 докладов). По результатам изложенных в диссертации исследований опубликовано 9 статей в реферируемых научных журналах, из них 2 статьи в журналах, индексируемых в Scopus и Web of Science и 3 в журналах, рекомендованных ККСОН.

По результатам исследования получено 3 акта внедрения разработанных способов измерения и диагностики в филиале института атомной энергии (ИАЭ) РГП НЯЦ РК

Таким образом, научные результаты диссертации являются значимыми и обоснованными, поставленные в данной диссертации задачи выполнены полностью.

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

Диссертация, изложенная на 129 страницах, состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованной литературы, включающего 95 наименований и 3-х приложения (актов внедрения), включает 86 рисунков и 37 таблиц. Диссертационная работа выполнена в соответствии с требованиями, с соблюдением внутреннего единства, взаимосвязанности разделов работы и логической последовательности представления результатов. Результаты, выводы и заключения соискателя, сформулированные в диссертации, соответствуют поставленным задачам.

Положения, выносимые на защиту, вполне обоснованы полученными результатами. Основные положения, выносимые на защиту:

Способ прямого измерения конфигурации нуля магнитного поля внутри вакуумной камеры токамака КТМ с использованием матрицы трехкомпонентных датчиков Холла.

Система визуализации плазменного шнура токамака КТМ;

Способ измерения распределения температуры на поверхности исследуемых образцов кандидатных материалов в токамаке КТМ.

Обоснованность и достоверность каждого научного результата (положения) не вызывает сомнения, так как данные результаты (научные положения) получены с использованием апробированных и хорошо зарекомендовавших себя методов исследования, базируются на данных, полученных с применением известных и общепринятых в данной области методов физического эксперимента, подкрепляются актами внедрения и публикациями в рецензируемых изданиях.

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

Новизна научных результатов (положений), выводов, сформулированных в диссертации заключается в том, что:

- впервые разработаны устройство и способ прямого измерения конфигурации нуль поля в токамаке КТМ;
- впервые проведена верификация расчетных кодов моделирования и восстановления распределения полоидальных магнитных полей для токамака КТМ;
- 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;
- впервые 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**

Научные результаты, полученные в диссертации обладают несомненной практической и теоретической значимостью.

Разработанный способ прямого измерения конфигурации нуль-поля позволил провести верификацию расчетных кодов. Полученные результаты измерений были использованы для уточнения модели электромагнитной системы КТМ, что в свою очередь повысило точность проводимых расчетов. Способ применим на других установках управляемого термоядерного синтеза (УТС).

Разработанная система визуализации плазмы токамака КТМ позволила проводить видеонаблюдение за плазменным шнуром, решив проблему длинных экваториальных патрубков, и значительно расширила возможности экспериментальных исследований на КТМ. Подобная система также может быть использована на других установках УТС.

Соискателем предложен способ значительного повышения точности термографических измерений температуры поверхности исследуемых материалов, в частности металлов, под воздействием потоков плазмы в условиях токамака КТМ.

В диссертации отмечается, что полученные результаты 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**

В замечаниях к диссертационной работе необходимо отметить следующее: во втором разделе диссертации, озаглавленном «Способ прямого измерения ноля поля с использованием матрицы трехмерных датчиков Холла», говорится об измерении ноль поля и его конфигурации,

что предполагает реконструкцию конфигурации магнитных полей внутри вакуумной камеры, однако в данном разделе, как и в диссертации в целом отсутствует описание собственно математической модели или основной идеи вычисления конфигурации поля. Отмечается, что расчеты токового сценария были проведены с использованием расчетного кода Plasmaless Tokscen и дается ссылка на работу авторов А.Д. Садыков, М.К. Скаков, Г.В. Шаповалов, М.С. Садыкова Расчетный код моделирования динамики магнитных полей с учетом наведенных вихревых токов в установках типа токамак // Вестник НЯЦ РК.– 2015.– Вып. 3.– С. 55-58, но описание упомянутой теории в данном разделе диссертации отсутствует. Следовало привести пояснения по существу используемого моделирования и расчетов..

В работе имеются отдельные стилистические погрешности и опечатки.

Однако, эти замечания не снижают научной новизны и практической значимости работы и не влияют на общую положительную оценку диссертации.

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

В целом, работа Чектыбаева Бауржана Жамбуловича «Развитие методов диагностики процессов в плазме и на поверхности первой стенки установки токамак» отвечает всем требованиям Правил присуждения ученых степеней, обладает необходимым уровнем новизны и научно-практической значимости, а ее автор заслуживает присуждения степени доктора философии по специальности 6D072300 – «Техническая физика».

Доктор физико-математических наук,  
профессор физики,  
профессор факультета инженерии  
Восточно-Казахстанского государственного  
технического университета  
(ВКГТУ) им. Д. Серикбаева

Дарья Львовна Алонцева

