

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Дреганова Олега Игоревича "Изучение поведения твэлов ВВЭР-1000 с повышенной ураноемкостью в аварии с потерей теплоносителя при моделировании условий в реакторе МИР", представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.14.03 - Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию, и вывод из эксплуатации

Одним из путей повышения конкурентоспособности АЭС с ВВЭР является улучшение топливоиспользования, которое может быть достигнуто за счет увеличения выгорания топлива и внедрения тепловыделяющих элементов (твэл) с повышенной ураноемкостью.

При лицензировании топлива для эксплуатации на АЭС необходимы экспериментальные данные о поведении твэл не только в условиях нормальной эксплуатации, но и в условиях аварий. До настоящего времени выполнено ограниченное количество реакторных экспериментов в условиях аварии с потерей теплоносителя с твэл имеющими большое выгорание. Экспериментальные данные по поведению твэл с увеличенной ураноемкостью отсутствуют.

Работа Дреганова О.И. посвящена экспериментальному исследованию поведения твэл с повышенной ураноемкостью в условиях аварии с потерей теплоносителя. В связи с этим тематика работы является **актуальной** для атомной энергетики с точки зрения улучшения топливоиспользования и повышения конкурентоспособности АЭС с ВВЭР.

Автор решил следующие задачи: 1) разработал методологию выполнения эксперимента (сценарий и алгоритм его реализации в реакторной установке); 2) разработал экспериментальное устройство для испытания твэл с повышенной ураноемкостью с выгоревшим топливом в условиях аварии с потерей теплоносителя, 3) подготовил номенклатуру средств измерения параметров и стендового оборудования; 4) выполнил эксперименты на реакторе МИР; 5) выполнил расчетное моделирование распределения температуры в твэл.

Научная новизна полученных в диссертации результатов заключается в следующем:

При выполнении экспериментов впервые получены данные о поведении твэл ВВЭР-1000 с высоким выгоранием и повышенной ураноемкостью в условиях аварии с потерей теплоносителя.

Достоверность результатов подтверждается применением общепризнанных методов и подходов при выполнении экспериментов на реакторных установках. Точность экспериментальных данных обеспечена использованием датчиков системы внутризонного контроля параметров, прошедших индивидуальную градуировку.

Практическая ценность результатов состоит в:

1) методологии эксперимента, что значительно расширило возможности реакторных исследований поведения свежих и облученных твэл в условиях аварии с потерей теплоносителя.

2) полученные экспериментальные данные используются:

- при обосновании безопасности эксплуатации твэл РУ ВВЭР с повышенной ураноемкостью;

- для верификации расчетных кодов для определения термомеханического состояния твэл (код РАПТА 5/2);

- для лицензирования ядерного топлива АЭС "Темелин" в Надзорном органе Чешской Республики.

Полнота изложения материалов диссертации является достаточной. Основные результаты диссертации Дреганова О.И. опубликованы в 7 печатных работах (включая три из Перечня изданий, рекомендованных ВАК).

Личный вклад автора

Лично автором:

- выполнен анализ существующих экспериментальных баз для испытаний твэл с высоким выгоранием топлива водоохлаждаемых энергетических реакторов, на основании которого сформулированы технические требования к экспериментальному устройству;

- на лабораторной установке изучена термометрическая характеристика узла для измерения температуры оболочки твэла;

- выполнены экспериментальные исследования твэл с большим выгоранием топлива;

- выполнено расчетное моделирование с использованием полученных экспериментальных данных;

- подготовлены исходные данные для верификации кода, рассчитывающего термомеханическое состояние твэла.

При непосредственном участии автора:

- разработан сценарий и алгоритм выполнения эксперимента для изучения поведения твэл в условиях аварии с потерей теплоносителя;

- разработано и внедрено на реакторе МИР экспериментальное устройство, определена номенклатура датчиков для выполнения эксперимента;

- разработана программа и выполнены эксперименты.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов и списка литературы. Работа представлена на 105 страницах, содержит 68 рисунков и 11 таблиц. Список литературы содержит 42 наименования.

Во введении обоснована актуальность исследуемой проблемы, определены цели и задачи работы; дана общая характеристика выполненных в диссертации исследований.

В первой главе содержится обзор исследований по теме диссертации. По результатам литературного обзора, определены технические требования, необходимые для разработки экспериментального оборудования (с учетом особенностей реактора МИР):

– увеличение длины оболочки твэл для получения деформации оболочки приближенной к реальным условиям (учет центральной дистанционирующей решетки);

– измерение температуры оболочки твэл в зоне максимальной деформации без механического воздействия на оболочку датчика температуры;

– отсутствие азимутальной неравномерности температуры оболочки;

– внешний обогрев твэл на начальной стадии эксперимента (моделирование температурных условий твэл в штатной кассете реактора ВВЭР в аварии).

В второй главе рассмотрены: - методология выполнения реакторного эксперимента, которая включает сценарий, алгоритм его реализации в исследовательском реакторе МИР; - особенности конструкции экспериментального устройства и стендового оборудования для обеспечения

работы внутриканального устройства в течение эксперимента - номенклатура средств измерений параметров.

Приведено описание объекта испытания. Твэл изготовлен методом рефабрикации из фрагмента штатного твэл новой конструкции для ВВЭР с повышенной ураноемкостью.

Твэл инструментован датчиком для измерения давления газа под оболочкой твэл. Этот датчик также используется как индикатор фиксации момента разгерметизации твэл. В номенклатуру измерительных датчиков входят датчики для измерения температуры оболочки в трех точках по высоте, измерения температуры теплоносителя на входе и на выходе активной части экспериментального устройства.

Для измерения относительного изменения мощности твэла установлен детектор прямого заряда с гафниевым эмиттером. Изменение относительного уровня мощности твэл выполнялось также ионизационной камерой, которая входит в измерительную систему реактора МИР.

На стадии подготовки экспериментов выполнен комплекс нейтронно-физических и теплофизических расчетов условий испытания твэл. По результатам расчетов определена динамика повышения мощности твэл и ее конечная величина для достижения заданных параметров, а также учтены вопросы ядерной безопасности.

Для выполнения экспериментов разработана специальная картограмма загрузки активной зоны реактора МИР, в которой срабатывание автоматического регулятора мощности возможно при минимальной мощности реактора и при этом достигается заданная скорость разогрева оболочки твэл.

В третьей главе представлены результаты реакторных экспериментов. В них определены характеристики и эксплуатационные возможности экспериментального устройства и исследовано поведение твэл с повышенной ураноемкостью в условиях РУ ВВЭР. В главе приведены также результаты послереакторного исследования твэлов.

В экспериментах испытывались твэл с выгоранием топлива $45 \text{ МВт}\cdot\text{сут}/\text{кгU}$ и с выгоранием топлива $69 \text{ МВт}\cdot\text{сут}/\text{кгU}$.

По результатам реакторных экспериментов и послереакторных исследований

сделан вывод о применимости разработанного экспериментального оборудования для выполнения испытаний твэл с целью изучения их поведения в условиях аварии с потерей теплоносителя. Диапазон рабочих температур оболочки твэл в реакторном эксперименте составил (500-1000) °С. Диапазон скорости разогрева оболочки твэл – (1-5) °С/с.

В четвертой главе представлены результаты расчетного моделирования экспериментов. Целью расчётов являлось получение более подробного определения условий испытания твэл. Решена задача по определению пространственно-временного распределения температуры оболочки твэл на всех стадиях разогрева. Результаты расчетного моделирования использованы для анализа послереакторного исследования.

Расчеты выполнены с использованием 3D-модели по методу конечных элементов с использованием модуля Flow Simulation программного комплекса SolidWorks.

Подготовлены исходные данные необходимые для выполнения расчетов и определены значения начальных и граничных условий для решения трехмерной задачи.

Выполнено расчетное моделирование, результаты сравнены с данными измерения температуры оболочки, полученными в экспериментах. Сравнение расчетных и экспериментальных данных позволило сделать вывод об их удовлетворительном согласии, что доказывает правильность принятых решений при разработке расчетной модели.

Замечания по диссертационной работе:

1. Установка рабочего спая выше дистанцирующей решетки даст минимальную температуру (расположение "горячего" спая в зоне турбулентности). Для получения консервативной оценки необходимо устанавливать "горячий" спай под дистанцирующей решеткой (по ходу потока).

2. Не дано объяснение - почему твэл № 2 (с бóльшим выгоранием и бóльшим давлением под оболочкой) остался герметичным и слабо деформированным.

3. Нет информации об учете γ - излучение на показания датчиков температуры.

4. В списке литературы имеются неточности в указании исходных данных.

Перечисленные замечания не снижают научную ценность результатов диссертационной работы.

Диссертационная работа Дреганова Олега Игоревича представляет собой законченное, самостоятельно выполненное на современном уровне научно-квалификационное исследование.

Автореферат и публикации автора отражают основные положения и выводы диссертации. Тема диссертации и ее содержание соответствуют паспорту специальности 05.14.03 - Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации.

Считаю, что представленная работа соответствует требованиям "Положения о присуждении ученых степеней", утвержденным постановлением правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям, а ее автор, Дреганов Олег Игоревич, заслуживает присвоения степени кандидата технических наук по специальности 05.14.03 "Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию, и вывод из эксплуатации".

Ведущий научный сотрудник
НИЦ "Курчатовский институт",

Блок атомных станций.

Официальный оппонент,
доктор технических наук

123182 Россия, Москва,

пл. Академика Курчатова, д. 1.

Телефон: +7 (499) 196-95-39

Факс: +7 (499) 196-17-04

Электронная почта: nrcki@nrcki.ru

И.В. Елкин

Подпись Елкина Ильи Владимировича заверяю

Главный ученый секретарь

НИЦ "Курчатовский институт"



С.Ю. Стремоухов