

О Т З Ы В

официального оппонента,

доктора физико-математических наук, профессора

Лиханского Владимира Валентиновича,

на диссертацию **Дреганова Олега Игоревича** по теме **«Изучение поведения твэлов ВВЭР-1000 с повышенной ураноемкостью в аварии с потерей теплоносителя при моделировании условий в реакторе МИР»**, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.03 – Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации

Заметное место в федеральной программе «Развитие атомного энергопромышленного комплекса России» занимают работы по созданию и вводу в эксплуатацию атомных станций с реакторами типа ВВЭР, которые должны отвечать современным требованиям к безопасности и быть конкурентоспособными на мировом рынке.

Для повышения конкурентоспособности российских реакторов необходимо возрастание их экономической эффективности. Так, для реакторов ВВЭР нужно увеличивать ураноемкость активной зоны и обосновать возможность безопасной эксплуатации ядерного топлива в штатных условиях, в переходных (маневренных) режимах. Эти требования ведут к необходимости модернизировать тепловыделяющие сборки (ТВС) и топливные элементы, а также обосновывать безопасность поведения модернизированного топлива при проектных авариях.

Диссертационная работа Дреганова О.И. связана с решением задачи обоснования безопасного поведения твэлов ВВЭР модернизированной конструкции в условиях аварии с потерей теплоносителя (ЛОСА), что, несомненно, **важно и актуально**, как с точки зрения решения этой конкретной задачи, так и с точки зрения более общей проблемы повышения уровня надежности и безопасности работы активных зон энергетических реакторов. Отсутствие систематизированных экспериментальных данных о поведении твэлов под облучением, в особенности, в аварийных режимах, влечет за собой необходимость введения ряда допущений, что может привести к существенным ошибкам при прогнозировании их

работоспособности. В современных условиях, характеризующихся тенденциями к увеличению выгорания ядерного топлива, повышению эксплуатационного ресурса ТВС, тема диссертационной работы Дреганова О.И. представляется своевременной, **актуальной** и интересной для изучения.

Для решения поставленной задачи на базе реактора МИР создано экспериментальное оборудование и в реакторных экспериментах, посттестовых исследованиях и расчетах получены данные о поведении твэлов ВВЭР-1000 с высоким выгоранием топлива и повышенной ураноемкостью в условиях второй и третьей стадии LOCA.

При формировании требований к разработке экспериментального устройства в работе Дрегановым О.И. был выполнен литературный обзор, в котором проанализированы проведенные ранее эксперименты. Разработаны температурный сценарий и алгоритм реакторного эксперимента, экспериментальное оборудование, определен необходимый объем датчиков контроля параметров, проведены два эксперимента в канале реактора МИР, выполнен анализ результатов испытаний твэлов и посттестовых материаловедческих исследований. В работе Дрегановым О.И. проведено расчетное моделирование параметров испытаний, получено пространственно-временное распределение температуры оболочки.

Содержание глав диссертации отражает суть проблемы и предлагаемые автором пути решения сформулированных задач.

Автореферат соответствует диссертации, в нем в достаточной степени представлено содержание и необходимые характеристики работы. Раскрыта актуальность, цель, научная новизна, практическая значимость работы, приведены данные об апробации работы, публикациях и личном вкладе автора, основные положения, выносимые на защиту.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Разработана методология реакторного эксперимента для испытания твэла ВВЭР в условиях II и III стадий LOCA.

2. Разработано экспериментальное устройство для проведения реакторных испытаний твэлов с топливом высокого выгорания в условиях LOCA, в котором:

- созданы условия для контролируемого разогрева одиночного твэла и адекватной деформации оболочки твэла;

- разработан узел крепления ТЭП на оболочку твэла с топливом высокого выгорания и изучена его термометрическая характеристика;

- в режиме реального времени определено давление газа в твэле с топливным сердечником без центрального отверстия.

3. При проведении реакторных экспериментов впервые были получены данные о поведении твэлов ВВЭР-1000 с высоким выгоранием и повышенной ураноемкостью в условиях ЛОСА с потерей теплоносителя.

4. При расчетном трехмерном моделировании получено пространственное распределение температуры оболочки твэла, что позволило получить исходные данные для расчета термомеханического состояния твэла.

Практическая значимость работы определяется тем, что:

1. Разработанное и внедренное на РУ МИР экспериментальное оборудование и методология эксперимента ЛОСА значительно расширили возможности реакторных исследований поведения свежих и облученных твэлов в условиях аварии с большой течью теплоносителя.

2. Получены экспериментальные данные, которые используются:

- при обосновании безопасности эксплуатации твэлов ВВЭР-1000 с повышенной ураноемкостью на АЭС;

- для отработки и верификации расчетных кодов для определения термомеханического состояния твэлов (в частности, кода РАПТА 5/2);

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

Достоверность и обоснованность предложенных технических решений подтверждена успешным проведением двух реакторных экспериментов в канале реактора МИР.

Термометрическая характеристика узла крепления ТЭП для измерения температуры оболочки твэла подтверждена результатами эксперимента на лабораторной установке с использованием в ЭУ имитатора твэла с внутренним электронагревателем и результатами послереакторных исследований твэла.

Нейтронно-физические расчеты условий испытаний проведены по аттестованным кодам. Результаты теплогидравлических расчетов, выполненных с использованием трехмерного моделирования, коррелируют с результатами экспериментов.

Достоверность результатов измерений обеспечена применением датчиков внутризонного контроля параметров, прошедших аттестацию и индивидуальную градуировку, и подтверждена данными послереакторных материаловедческих исследований.

По результатам исследований при участии автора в научных изданиях **опубликовано** 7 работ, в том числе, 6 – в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях. Основные результаты работы **апробированы** в докладах на многих международных, отечественных и отраслевых конференциях.

По диссертационной работе можно сделать следующие **замечания**:

1. В работе не указано, измерялась ли активность выходящих из экспериментального устройства продуктов деления и было ли зафиксировано повышение активности при разгерметизации твэла в эксперименте № 1. Определялся ли нуклидный состав в потоке среды.

2. Эксперимент на лабораторной установке проводился в паровоздушной среде (в отличие от паро-аргоновой среды в экспериментах). Не приведено сведений о состоянии оболочки твэла после лабораторного эксперимента и как это состояние могло отразиться на результате измерения температуры оболочки.

3. При моделировании поведения макетов твэлов в экспериментах 1 и 2 при исследовании сценариев LOCA неясным остался результат: почему разгерметизировался твэл с меньшим выгоранием, а твэл с большим выгоранием имел больший перепад давления и остался герметичным? В чем физические причины такого различия?

4. Имеются небольшие погрешности в оформлении автореферата и диссертации. Так, в подписях к рисункам: Рис.2.1 в диссертации и Рис.1 в автореферате перепутаны обозначения в рисунках для сценариев экспериментов с максимальными температурами 700 и 800⁰С. На Рис.2.5 диссертации пропущены цифровые обозначения, которые приведены в подписях к рисунку.

Однако, наличие указанных замечаний не снижает значимости выполненной работы и не меняет общей положительной оценки. В целом работа Дреганова О.И. выполнена на высоком научно-техническом уровне, полностью решает поставленные задачи и является самостоятельным законченным исследованием.

Диссертационная работа удовлетворяет критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор, Дреганов Олег Игоревич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.03 – Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации.

Официальный оппонент, д.ф.-м.н., профессор,
директор отделения безопасности
объектов атомной энергетики
АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ»

В.В. Лиханский

Подпись В.В. Лиханского заверяю.
Ученый секретарь
АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ», к.ф.-м.н.



А.А. Ежов

Акционерное общество «Государственный научный центр Российской Федерации Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований»

108840, Россия, г. Москва, г. Троицк, ул. Пушкиновых, вл. 12

Тел. : 8(495)841-53-08. E-mail: liner@triniti.ru

Тел: 8 (895) 851-87-19, E-mail: likhansk@triniti.ru