

Акционерное общество
«Ордена Трудового Красного Знамени и
ордена труда ЧССР опытное
конструкторское бюро «ГИДРОПРЕСС»
(АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС»)



Joint Stock Company
"Experimental and Design Organization
"GIDROPRESS" awarded the Order of the Red
Banner of Labour and CZSR Order of Labour"
(OKB "GIDROPRESS")

4 АПР 2018 № 044-001.4-02/ 5719

На № _____ от _____

О направлении отзыва
ведущей организации

НИЦ «Курчатовский институт»
Председателю диссертационного
совета Д 520.009.06
Штромбаху Я.И.
123182, Москва, площадь
Академика Курчатова, д.1

Уважаемый Ярослав Игоревич!

Направляю Вам отзыв ведущей организации по диссертационной работе Маркова Д.В. на тему «Основные закономерности изменения свойств и характеристик топлива ВВЭР и РБМК нового поколения в период эксплуатации по результатам комплексных послереакторных исследований» по специальности 05.14.03 «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации».

Приложение: 1. Отзыв ведущей организации – 9 л. 2 экз.
2. Сведения о ведущей организации – 1 л. 2 экз.

Заместитель генерального конструктора
по научной работе

05.04/8

В.П.Семишкин

Исполнитель Бурмистрова Н.А.

Телефон (4967)65-29-73



УТВЕРЖДАЮ
Генеральный конструктор
АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС»

В.А.Пиминов

«29» 03 2018г.

ОТЗЫВ

ведущей организации-АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС» * на диссертационную работу Маркова Дмитрия Владимировича «Основные закономерности изменения свойств и характеристик топлива ВВЭР и РБМК нового поколения в период эксплуатации по результатам комплексных послереакторных исследований», представленную на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 05.14.03 – Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации.

Актуальность для науки и практики темы диссертационной работы обусловлена необходимостью удовлетворения постоянно возрастающих эксплуатационных требований потребителей ядерного топлива (ЯТ), повышения его конкурентоспособности на традиционных рынках сбыта и завоевания новых рынков сбыта, улучшения технико-экономических показателей ядерного топливного цикла при обеспечении необходимого уровня безопасности. Указанные требования ставят перед производителями и поставщиками ядерного топлива задачи по увеличению глубины выгорания топлива, повышению эксплуатационного ресурса и надёжности тепловыделяющих сборок и твэлов, реализации безопасных, экономически эффективных и гибких топливных циклов, созданию ремонтпригодных тепловыделяющих сборок. Для решения этой актуальной проблемы с перечисленными выше научно-техническими задачами, которые составляют суть решаемой научно-технической проблемы, необходимо проведение послереакторных исследований тепловыделяющих сборок и твэлов, содержащих те или иные усовершенствования конструктивных элементов,

изготовленных с применением новых технологических подходов. В АО «ГНЦ НИИАР» были проведены послереакторные исследования тепловыделяющих сборок для реакторов ВВЭР-1000: ТВСА, эксплуатировавшихся на блоке 1 Калининской АЭС в течение 1-6 топливных циклов, а также сборки ТВС-2 после эксплуатации на блоке 1 Балаковской АЭС в течение 1-го и 4-х топливных циклов, соответственно, а также пяти тепловыделяющих сборок реактора РБМК-1000, с блоков 1 и 2 Ленинградской АЭС, содержащих уран-эрбиевое топливо, обогащённое по урану-235 до 2,6% с циркониевыми и стальными дистанционирующими решетками и твэлами с оболочками без финишных операций травления и анодирования. Проведенные исследования являются ключевым элементом программ экспериментального обоснования внедрения в эксплуатацию ядерного топлива нового поколения, как с точки зрения повышения эффективности его использования, так и с точки зрения обеспечения безопасности эксплуатации.

Диссертация оформлена на 397 страницах и состоит из шести основных глав: первая глава с характеристиками исследованных ТВС и методиками их исследования; вторая глава с систематизацией и обобщением результатов послереакторных исследований ТВС ВВЭР; третья глава с результатами исследований по ремонтпригодности ТВС; четвертая глава с систематизацией и обобщением результатов послереакторных исследований ТВС РБМК; пятая глава с систематизацией и обобщением результатов исследований негерметичных твэлов; шестая глава содержит сведения о базе данных послереакторных исследований ядерного топлива ВВЭР и РБМК.

Основные научные результаты и их новизна состоят в том, что:

Впервые в России проведены комплексные послереакторные исследования ТВС ВВЭР и РБМК нового поколения после эксплуатации на российских АЭС до различных выгораний топлива. Был проведён всесторонний анализ результатов этих исследований, что позволило:

– установить экспериментально и в дальнейшем верифицировать закономерности изменения геометрических параметров и силовых характеристик ТВСА и ТВС-2 ВВЭР-1000, их несущих каркасов и конструкционных элементов, отработавших на действующих энергоблоках АЭС;

– показать, что изменение геометрических параметров, газовыделение из топлива, коррозионное повреждение оболочек, взаимодействие «топливо-оболочка» не ограничивают работоспособности твэлов ВВЭР-1000 вплоть до значительных выгораний топлива ($\sim 72 \text{ МВт} \cdot \text{сут/кг U}$);

– дать рекомендации по разработке критериев ремонтпригодности негерметичных ТВС ВВЭР-1000 и подтвердить возможность ремонта ТВСА и ТВС-2 ВВЭР-1000;

– установить, что на этапе проектирования ТВС отмена финишных технологических операций травления и анодирования твэлов РБМК не будет оказывать негативного влияния на коррозионную стойкость топливных сборок нового поколения в исследованном диапазоне выгораний топлива,

-установить экспериментальным путем, что для новых образцов твэлов РБМК-1000 развитая нодульная коррозия и фреттинг-износ их оболочек наблюдаются на участках под стальными дистанционирующими решётками;

– показать, что при длительной эксплуатации топливныхборок нового поколения в реакторе РБМК при достижении выгораний топлива $\sim 30 \text{ МВт} \cdot \text{сут/кг U}$, в стенках ячеек СДР наблюдаются сквозные и не сквозные трещины, обусловленные коррозией под напряжением, при этом обеспечивается надёжное дистанционирование твэлов и сохранение геометрии пучков;

– установить, что основная причина разгерметизации твэлов ТВС ВВЭР и РБМК нового поколения (debris-повреждение их оболочек из-за взаимодействия с инородными предметами в потоке теплоносителя) не связана с особенностями их конструкций, и на этом основании дать

рекомендации по совершенствованию конструкции сборок для превентивного предупреждения случаев таких повреждений.

Значимость полученных автором диссертации результатов для развития атомной энергетики

Энергоблоки с ВВЭР и РБМК составляют основу атомной энергетики России. При этом энергоблоки с ВВЭР не только сооружаются в России, но и составляют ее экспортный потенциал. Вопросы надежности и ресурса топлива на современном этапе развития относятся к важнейшим, определяющим технико-экономические характеристики атомной энергетики.

Научное и практическое значение имеют впервые полученные результаты обследований полномасштабных ТВС нового поколения: ТВС-2 и ТВСА для реакторов ВВЭР-1000 и ТВС РБМК-1000 с уран-эрбиевым топливом. На основе анализа результатов и дополнительных исследований разработаны рекомендации о ремонтпригодности ТВС ВВЭР, об отсутствии ограничений работоспособности твэлов ВВЭР-1000 до выгорания топлива ~ 72 МВт сутки/кг UO_2 , а также разработаны представления о причинах разгерметизации твэлов РБМК. Эти данные имеют практическое значение для дальнейшего совершенствования топлива для сооружаемых реакторов «Поколения 3+» ВВЭР-1200 и ВВЭР-1300, а также для совершенствования режимов эксплуатации действующих энергоблоков ВВЭР-1000.

Согласно материалам диссертации подтверждается, что топливо нового поколения характеризуется улучшенными характеристиками геометрической стабильности при повышении глубины выгорания топлива и значительным эксплуатационным ресурсом, возможностью реализации безопасных, экономически эффективных и гибких топливных циклов (ТЦ).

Автором также представлены материалы, обосновывающие ремонтпригодность ТВС.

Полученные данные позволили:

- экспериментально обосновать работоспособность ТВС ВВЭР-1000 нового поколения (ТВСА и ТВС-2) при длительности эксплуатации вплоть до 6 топливных циклов и рекомендовать новое поколение ТВС для реакторных установок ВВЭР-1200 и ВВЭР-1300 («Поколение-3+»);

- подтвердить работоспособность твэлов ВВЭР-1000 при достижении высоких выгораний топлива вплоть до ~ 72 МВт*сут/кг U при эксплуатации в штатных режимах работы действующих энергоблоков АЭС;

- экспериментально подтвердить работоспособность твэлов РБМК-1000 с уран-эрбиевым топливом при эксплуатации в условиях действующих энергоблоков АЭС до достижения выгораний ~ 32 МВт*сут/кг U и/или при длительности эксплуатации до ~ 10 лет;

- установить основные причины и механизмы разгерметизации твэлов ВВЭР-1000 и РБМК-1000 и дать рекомендации по их устранению;

- экспериментально подтвердить ремонтпригодность ТВСА и ТВС-2 в условиях исследовательских защитных камер.

Достоверность результатов

Достоверность полученных результатов и выводов подтверждается: применением аттестованных испытательных установок и методик измерений, воспроизводимостью полученных экспериментальных данных, а так же успешным внедрением в эксплуатацию ТВСА, ТВС-2 и ТВС-2М (ВВЭР-1000), ТВС РБМК-1000 с уран-эрбиевым топливом и оболочками без финишных операций травления и анодирования.

Публикация основных научных результатов

Требования ВАК (см. «Положение о присуждении ученых степеней» п.11-13) об опубликовании основных научных результатов в т.ч. в рецензированных научных изданиях выполнены. По результатам исследований опубликовано 109 публикаций, из которых 10 опубликованы в рецензируемых изданиях, входящих в список ВАК, зарегистрировано 2 патента на изобретение.

Автореферат соответствует диссертации, в нём в достаточной степени представлено содержание работы. Раскрыта актуальность, цель, научная новизна, практическая значимость работы, представлены сведения об апробации работы, публикациях и личном вкладе автора, основные положения, выносимые на защиту. Содержание глав диссертации отражает суть решаемой проблемы и предлагаемые автором пути решения сформулированных задач.

Рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертации

Полученные в диссертационном исследовании результаты и рекомендации на основе их анализа крайне важны для разработчиков нового поколения ТВС (ТВС-2М) и твэлов, для топливной кампании ТВЭЛ и для эксплуатирующей АЭС организации РОСЭНЕРГОАТОМ (см. например, стр.159, 197 и 352 диссертации с рекомендациями).

Личный вклад автора

Автор – известный в отрасли высококвалифицированный научный работник, который длительное время лично осуществлял разработку программ НИОКР и постановку конкретных задач для проведения экспериментальных работ в защитных камерах, описанных в диссертационной работе; проводил исследования по указанным темам в защитных камерах и получал основные экспериментальные результаты, самостоятельно проводил анализ и обобщение полученных экспериментальных данных и выявил ряд важных закономерностей, сопутствующих жизненному циклу ЯЭУ, тем самым создал базу новых знаний применительно к конструированию и производству ТВС. Вклад Маркова Д.В. в получение основных результатов работы, представленной к защите, является определяющим.

Замечания и рекомендации по работе

1. В разделе «Введение» диссертации целесообразно было бы кратко отразить развитие данного направления с 60-х годов прошлого столетия и

указать, что работа является продолжением исследований, начатых в НИИАР в 70-е годы и результаты которых, в частности, отражены в диссертационных работах Смирнова В.П. и Смирнова А.В. в 90-х годах прошлого столетия.

2. В настоящее время характеристики проекта, определяющие работоспособность и надежность ТВС, конкретизируются для проектных режимов категорий 1 и 2 (для НУЭ или ННУЭ), а именно - для условий «лимитной зависимости», т.е. зависимостей $q^{\max} = F_1(z)$ и $q^{\max} = F_2(B)$, где q - линейная плотность теплового потока (тепловая нагрузка), z - аксиальная координата, B - выгорание. Реальная эксплуатация большинства ТВС в НУЭ проводится, как правило, при меньших значениях нагрузки: $q \leq q^{\max}$, т.е. в щадящих режимах. Поэтому практический интерес представляет сравнение проектных характеристик (в т.ч. так называемых приемочных критериев) и соответствующих измеренных параметров и характеристик ТВС после ее эксплуатации и оценка в результате сравнения реальных коэффициентов запаса.

3. В разделе «Основные результаты и выводы» автореферата об использовании созданной базы данных сказано: «База данных может быть использована конструкторами и проектантами ТВС для верификации технологических расчетов и результатов моделирования, направленных на улучшение и оптимизацию технологических процессов изготовления ТВС, повышение их надежности». Аналогичной фразы по смыслу и содержанию нет в «Основных результатах и выводах» диссертации, что вряд ли целесообразно.

4. В соответствии с п. 10 «**Положения о присуждении ученых степеней**» «...должны приводиться сведения о практическом использовании полученных автором диссертации научных результатов».

В работе вместо требуемой информации о практическом использовании приведены рекомендации о возможном использовании (см. п.3). Поэтому, как организация – Главный Конструктор РУ ВВЭР,

подтверждаем практическое применение полученных результатов при создании новых проектов ВВЭР и при повышении тепловой мощности действующих АЭС с ВВЭР-1000. Предлагаемое автором использование системы: Fuel Elements Data System, в которой накапливаются результаты исследований, является удобной для пользователей системой не только архивирования, накопления данных, но и для использования результатов.

5. Рассмотренные в работе результаты исследований относятся к стационарным режимам работы АЭС. Вместе с тем, имеются наряду со стационарными и маневренные режимы эксплуатации, также относящиеся к НУЭ. Параметры маневренных режимов конкретизированы в EUR, а требования выполнения EUR излагаются в зарубежных контрактах. Несмотря на то, что эти режимы не характерны для эксплуатации российских АЭС, в диссертации целесообразно было проанализировать возможное влияние этих режимов на свойства и характеристики топлива, что представляет практическое значение для выполнения зарубежных контрактов.

6. Имеются ошибки в оформлении. Например, оформление надписи рис. 5.19 на стр. 297-и стр.298.


Следует отметить, что наличие указанных замечаний и рекомендаций не снижает значимости выполненной работы и не меняет общей положительной оценки. В целом работа Маркова Д.В. выполнена на высоком научно-техническом уровне и является самостоятельным законченным исследованием, в результате которого решена актуальная научно-техническая проблема.

Диссертационная работа удовлетворяет критериям положения о порядке присуждения учёных степеней, а её автор, Марков Дмитрий Владимирович заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 05.14.03 – Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании научно-технического совета
АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС» 29 марта 2018г. (протокол № 2/18.)

Отзыв подготовили:

Главный конструктор,
начальник департамента


29.03.18 С.А.Кушманов


Начальник отдела


29.03.18 В.В.Вьялицин

Главный эксперт,
доктор технических наук


29.03.18 В.М.Махин

Ученый секретарь НТС,
зам.генерального конструктора,
доктор технических наук

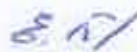

В.П.Семишкин

Подписи Кушманова С.А., Вьялицына В.В., Махина В.М. заверяю

Подпись ученого секретаря НТС Семишкина В.П. заверяю

Начальник отдела кадров
АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС»





Сведения о ведущей организации по диссертационной работе

Маркова Дмитрия Владимировича

«Основные закономерности изменения свойств и характеристик топлива ВВЭР и РБМК нового поколения в период эксплуатации по результатам комплексных послереакторных исследований» на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.03-Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации

<p>Полное и сокращенное наименование организации</p>	<p>Акционерное общество «Ордена Трудового Красного Знамени и ордена труда ЧССР опытное конструкторское бюро «ГИДРОПРЕСС»; АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС»</p>
<p>Место нахождения (город, область)</p>	<p>Ул. Орджоникидзе, д. 21, г.Подольск, Московская область</p>
<p>Почтовый адрес, телефон, адрес электронной почты, адрес официального сайта организации в сети Internet (при наличии)</p>	<p>Ул. Орджоникидзе, д. 21, г.Подольск, Московская область, 142103, РФ, тел. (4967)54-2516, факс (4967) 69-9783 E-mail grpress@grpress.podolsk.ru ; www.gidropress.podolsk.ru</p>
<p>Список основных публикаций работников ведущей организации по тематике диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет</p>	<p>1.Иванов Н.А.(ОКБ «ГИДРОПРЕСС»), Лиханский В.В. и др. (ТРИНИТИ) Оценка эффективного гидравлического диаметра дефекта в оболочке твэла РК-3 ВВЭР-440 //Атомная энергия, 2012, т.113, вып.4, стр. 214-218. 2.Гришаков А.В., Лушин В.Б. Обоснование внедрения модернизированного топлива на АЭС «ПАКШ» //Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика ядерных реакторов, 2015, вып.3, стр.68-73. 3.Махин В.М., Беркович В.Я., Никитенко М.П. и др. Интенсификация теплообмена в тепловыделяющих сборках ВВЭР–СКД//Тяжелое машиностроение,11-12/2014, 2014. 4. Махин В. М., Мохов В. А., Беркович В. Я. и др., Концептуальные предложения по стенду-прототипу реактора ВВЭР-СКД. // Тяжелое машиностроение, №6, 2015, с.40-45. 5.Егоров Ю.В., Макаров В.В., Афанасьев А.В. и др. Экспериментальные исследования вибрации и фреттинг-износа твэлов ТВС-КВАДРАТ //Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика ядерных реакторов, 2015, вып.3, стр.74-81. 6. Чуркин А.Н., Безруков Ю.А., Васильченко И.Н. и др. Экспериментальные исследования под обоснование представительности термоконтроля активной зоны реакторной установки ВВЭР-ТОИ //Тяжелое машиностроение,7-8/2015, спецвыпуск, 2015, стр.41-44. 7. Махин В.М., Чуркин А.Н.Концептуальные предложения по водоохлаждаемому реактору со сверхкритическими параметрами (обзор зарубежных и российских разработок SCWR) // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика ядерных реакторов, 2017,</p>

