



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"  
(ОКБ "GIDROPRESS")

23 ИЮН 2017

№ 044-0-3.05-01/ 10617

УТВЕРЖДАЮ

На № 01-5280 от 15.05.2017г.

Генеральный конструктор

  
В.А. Пимзинов  
« 2017 »



### О Т З Ы В

ведущей организации АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС» о диссертационной работе «**Механизмы радиационного охрупчивания стали 15X2НМФА класс 1 корпуса реактора ВВЭР-1000 под действием облучения в диапазоне температур (50-400)<sup>0</sup>С**», представляемую к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности по специальности 05.14.03 «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации».

Диссертация Е.В. Крикун посвящена определению влияния различных температур облучения на микроструктуру, фазовый состав и механизмы радиационного охрупчивания стали 15X2НМФА класс 1 корпуса реактора ВВЭР-1000.

#### Актуальность

Тема диссертационной работы в настоящее время весьма актуальна, поскольку на данный момент практически не имеется данных о том, какие стали пригодны для безопасного использования в качестве материалов корпусов новых проектируемых реакторов ВВЭР с отличной от существующих водо-водяных реакторов температурой эксплуатации корпуса. Эти стали должны обладать высокими прочностными свойствами и стойкостью против радиационного охрупчивания под действием облучения при температурах, существенно отличающихся от температур эксплуатации корпусов реакторов ВВЭР-440 и ВВЭР-1000. Поэтому возникла необходимость проведения комплексных исследований радиационной стойкости корпусных сталей на примере стали 15X2НМФА класс 1 после облучения при различных температурах (в диапазоне от 50<sup>0</sup>С до 400<sup>0</sup>С).

Исполнитель Петрова О.Ю.

Телефон ((4967) 65-29-07

ул. Орджоникидзе, д. 21, г. Подольск, Московская обл., 142103, РФ  
21 Ordzhonikidze street, 142103 Podolsk, Moscow region, RF  
Тел./Tel. (4967) 54-2516; (495) 502-7910; (495) 502-7920  
Факс/Fax (4967) 54-2733; (4967) 69-9783; (4967) 54-2516

E-mail gpress@gpress.podolsk.ru  
www.gidropress.podolsk.ru  
ОКПО 08624607 ОГРН 1085074009503  
ИНН 5036092340 КПП 503601001

Анализ полученных результатов по стойкости сталей корпусов реакторов (КР) ВВЭР-1000 против радиационного и теплового охрупчивания в результате облучения при различных температурах позволит выявить закономерности влияния температуры облучения на действие механизмов радиационного охрупчивания сталей и обосновать возможность применения сталей для реакторов типа ВВЭР следующего поколения.

Суммируя вышесказанное, диссертационная работа по постановке задачи и своему содержанию отвечает существующей потребности в обосновании работ по созданию проектов реакторов типа ВВЭР самой разной мощности, что в свою очередь связано с сильными различиями в параметрах теплоносителя, различиями в эксплуатационных параметрах для ряда конструктивных узлов реактора.

**Новыми научными результатами автора являются:**

- комплексные исследования стали 15Х2НМФА класс 1 после ускоренного облучения при температурах: 50°C, 140°C, 400°C, а также 300°C и определение влияния изменений фазового состава и микроструктуры стали на степень ее радиационного охрупчивания;

- разработанный и зарегистрированный программный пакет «DiffraCalc», позволяющий повысить точность проведения анализа фазового состава сталей методом микродифракции;

- влияние низкотемпературного облучения (50-140)°C на механизмы радиационного охрупчивания стали 15Х2НМФА класс 1;

- влияние облучения при температуре 400°C на механизмы радиационного охрупчивания стали 15Х2НМФА класс 1;

- количественное определение сдвигов критической температуры хрупкости стали 15Х2НМФАА класс 1 в зависимости от температуры облучения;

- отличие механизмов радиационного охрупчивания стали 15Х2НМФА класс 1 при низких и повышенных температурах по сравнению с температурами облучения, характерными для корпусов реакторов ВВЭР-440 и ВВЭР-1000.

**Степень обоснованности полученных научных результатов** определяется большой базой экспериментальных результатов полученных методами просвечивающей и растровой электронной микроскопии, атомно-зондовой томографии, оже-электронной спектроскопии, подтвержденных результатами механических испытаний стали 15Х2НМФА класс 1 КР ВВЭР-1000.

**Практическую значимость работы** составляют:

- модифицированная комплексная методика микродифракции, позволяющая повысить точность и ускорить процесс индентирования дифракционных картин для широкого круга материалов за счет использования созданного и зарегистрированного программного пакета «DiffraCalc»;

- уточненные механизмы радиационного охрупчивания сталей КР ВВЭР-1000, позволяющие прогнозировать радиационную стойкость корпусных сталей в широком интервале температур возможной эксплуатации корпусов реакторов ядерных установок различного назначения;

- полученные в работе данные могут явиться основой для выбора стали 15Х2НМФА класс 1 в качестве кандидатного материала корпуса перспективного реактора со сверхкритическими параметрами.

### Замечания по диссертации:

По работе имеются следующие вопросы и замечания:

1. В работе не обоснован выбор температуры облучения применительно к реактору ВВЭР-СКД (400°C), поскольку предполагаемая температура воды на входе/выходе из реактора может составлять 280/530°C.

2. Для оценки коэффициента радиационного охрупчивания  $A_f$  стали 15X2НМФА класс 1 при температуре облучения 400°C необходимо облучение, как минимум, до двух значений флюенсов быстрых нейтронов. В работе облучение проводили только до одного значения флюенса, что только качественно показывает степень радиационной стойкости данной стали при данной температуре, но не позволят оценить ресурс на длительный период эксплуатации КР ВВЭР-СКД.

3. Из содержания автореферата и диссертации не ясно, насколько охрупчивающая термическая обработка выявляет на термическую стойкость стали 15X2НМФА класс 1 при температуре облучения 400°C.

Отмеченные недостатки являются второстепенными и не влияют на научную ценность, новизну и достоверность полученных в работе результатов и общую положительную оценку работы.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Работа является законченной и выполнена автором в достаточной степени самостоятельно на высоком научном уровне. Работа написана литературным языком, грамотно, логично. Диссертационная работа содержит большое количество исходных данных, имеет пояснения, рисунки, графики, хорошо оформлена. По каждой главе и работе в целом имеются выводы. Решенные диссертантом задачи имеют существенное значение для атомной отрасли при выборе материалов для корпусов реакторов будущих поколений.

Основные этапы работы, выводы и результаты полностью представлены в автореферате. Автореферат и публикации по теме исследований достаточно полно отражают основное содержание диссертации. Диссертация представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу, выполненную на актуальную тему, и соответствует пункту 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор - Е.В. Крикун достоин присуждения искомой степени по специальности 05.14.03 – ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации.

Отзыв рассмотрен и одобрен на расширенном заседании отделения конструкционной целостности отделения 3.00 АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС» (Протокол № 58 от 22 июня 2017 года).

Заместитель генерального конструктора –  
начальник отделения  
конструкционной целостности

С.И. Сероштан

Начальник отдела материаловедения

В.М. Комолов

Ученый секретарь отделения  
конструкционной целостности

О.Ю. Петрова