

О Т З Ы В

на автореферат диссертации Сорокина Александра Андреевича
«Физико-механическое моделирование деформирования и разрушения сильнооблученных аустенитных сталей и разработка методов прогнозирования свойств материалов для ВКУ ВВЭР», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 - Материаловедение (машиностроение)

Вх. № 3918 и/с	Исполнено
13 11 20 15 г.	В ДЕЛО
Осн. № 1	№
Подп. 312	подп.

Наряду с корпусом реактора наиболее ответственными элементами реакторных установок (РУ) типа ВВЭР, определяющими безопасность их эксплуатации, являются внутрикорпусные устройства (ВКУ), которые формируют активную зону, удерживают топливные сборки на своих местах, организуют поток теплоносителя в реакторе, удерживают и защищают органы регулирования, снижают поток нейтронов на корпус реактора (КР). ВКУ являются фактически незаменимыми и, как и КР, определяют ресурс РУ.

К моменту начала работы над диссертацией отсутствовали как методология расчета прочности и работоспособности элементов ВКУ, так и экспериментально обоснованные зависимости для прогнозирования влияния нейтронного облучения и сопутствующих процессов (радиационного распухания, радиационной ползучести, образования радиационно-индуцированных фаз и т.п.) на свойства материала ВКУ, необходимые для адекватной оценки работоспособности, в частности, на характеристики прочности и пластичности, трещиностойкости и сопротивление развитию трещин в элементах ВКУ.

Таким образом, цели диссертационной работы: разработка методологии оценки прочности и работоспособности элементов ВКУ ВВЭР с учётом эксплуатационных факторов, исследование механизмов деградации материалов ВКУ и разработка методов прогнозирования из свойств – являются актуальными, обладают научной новизной и практической значимостью.

В соответствии с авторефератом, в процессе выполнения работы решены следующие задачи:

- Выявлены основные повреждающие эксплуатационные факторы, определяющие прочность и работоспособность ВКУ ВВЭР.

- Исследованы основные механизмы деградации материалов ВКУ под действием нейтронного облучения, приводящие к снижению пластичности, трещиностойкости и прочности материала.

- Проведен комплекс экспериментальных исследований по определению механических свойств и трещиностойкости облученных материалов ВКУ в диапазоне температур облучения 320-450 °С, доз нейтронного облучения 7-150 сна и температур испытаний 20-490 °С.

- На основании экспериментального исследования механических свойств, микроструктуры и фрактографических исследований разработана физико-механическая модель, описывающая основные механизмы вязкого разрушения аустенитных сталей и учитывающая влияние на них таких факторов, как доза и температура нейтронного облучения, радиационное распухание, температура испытаний и жесткость напряженного состояния.

- Определены режимы облучения, приводящие к фазовому $\gamma \rightarrow \alpha$ превращению в аустенитных сталях. Установлено влияние радиационно-индуцированной α фазы на охрупчивание материала ВКУ. Сформулирован критерий перехода материала ВКУ из вязкого состояния в хрупкое.

- Разработана зависимость для прогнозирования скорости роста трещины в условиях радиационной ползучести.

- Разработаны зависимости для прогнозирования механических свойств, деформационного упрочнения и статической трещиностойкости материала ВКУ в процессе эксплуатации вплоть до дозы нейтронного облучения 150 сна.

Разработанная методология оценки прочности и работоспособности элементов ВКУ ВВЭР положена в основу Руководящих документов и Методик ОАО «Концерн Росэнергоатом»: РД ЭО 1.1.2.99.0944-2013 «Методика расчета прочности и остаточного

ресурса внутрикорпусных устройств ВВЭР-1000 при продлении срока эксплуатации до 60 лет» и МТ 1.2.1.15.0230-2014 «Методика расчета прочности ВКУ РУ ВВЭР-440 (В-213) при ПСЭ до 55 лет» и включены в международный код МАГАТЭ "Unified procedure for lifetime assessment of components and piping in WWER NPPs "Verlife", 2003-2012".

Разработанная в рамках диссертации физико-механическая модель вязкого разрушения использовалась при создании зависимостей для прогнозирования характеристик пластичности и статической трещиностойкости материалов основных элементов реакторных установок на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем, включенных в Методику ОАО «Концерн Росэнергоатом»: МТ 1.2.3.06.0991-2014 «Расчет прочности основных элементов реакторных установок на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем на стадии проектирования».

На базе разработанных Руководящих документов и Методик, одобренных Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору (РОСТЕХНАДЗОР), ведется обоснование продления срока эксплуатации реакторов ВВЭР-440 и ВВЭР-1000.

Экспериментальные исследования проводились согласно российским и международным стандартам на сертифицированном оборудовании. Расчетные методы использовали теорию статистической обработки результатов, а также математические методы решения нелинейных задач. Модели строились на базе методов математической физики. Достоверность результатов обусловлена соответствием полученных расчетных данных и зависимостей оригинальным экспериментальным данным, а также данным из литературных источников, полученных при сходственных условиях эксперимента.

В соответствии с авторефератом, основные результаты работы были доложены на 16 международных и российских конференциях и семинарах с 2008 по 2015 гг. и опубликованы в 6 научных статьях в изданиях, рекомендованных перечнем ВАК и 4 международных изданиях.

Таким образом, автором в процессе выполнения работы:

Проведена обработка экспериментальных результатов исследования механических свойств, статической трещиностойкости и радиационного распухания, фрактографические исследования образцов, расчеты по моделированию влияния условий облучения и испытания на пластичность, трещиностойкость и прочность материалов ВКУ, разработаны зависимости для прогнозирования механических свойств и трещиностойкости. Основные результаты по выполненной работе подготовлены к публикации автором диссертации.

Автором, совместно с научным руководителем:

- развита методология оценки прочности и ресурса элементов ВКУ;
- разработана физико-механическая модель вязкого разрушения;
- развит подход к оценке скорости роста трещины в условиях радиационной ползучести;
- сформулирован критерий охрупчивания материала ВКУ при $\gamma \rightarrow \alpha$ превращении;
- выполнена постановка экспериментальных исследований и разработана методология обработки результатов.

По материалу работ, изложенному в автореферате, следует сделать следующие замечания:

1. В тексте автореферата не представлено краткое описание конструкции и условий эксплуатации ВКУ ВВЭР, что ограничивает возможность рассмотрения полученных результатов исследований.

2. В практической значимости работы отмечено, что разработанная физико-механическая модель вязкого разрушения использовалась для прогнозирования характеристик пластичности и статической трещиностойкости материалов основных элементов реакторных установок на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем, включенных в Методику ОАО «Концерн Росэнергоатом»: МТ 1.2.3.06.0991-2014 «Расчет прочности основных элементов реакторных установок на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем на стадии проектирования». Однако далее в автореферате этот вопрос не освещён, все исследования, выполненные в рамках диссертационной работы, касаются материала ВКУ ВВЭР.

Отмеченные недостатки не снижают общую ценность представленной работы, которая является завершенным научным исследованием, имеющим научную новизну и практическую значимость.

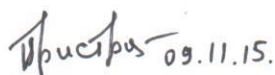
Считаем, что рассматриваемая работа удовлетворяет требованиям ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор, Сорокин Александр Андреевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 - Материаловедение (машиностроение).

Начальник отдела обоснования прочности
АО "ОКБМ Африкантов"
кандидат технических наук



Олег Юрьевич Виленский

Ведущий инженер-конструктор
отдела обоснования прочности
АО "ОКБМ Африкантов"

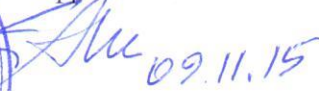


Сергей Алексеевич Пристром

Подписи О.Ю. Виленского, С.А. Пристрома заверяю.

Главный ученый секретарь АО «ОКБМ Африкантов»

Доктор естественных наук



Андрей Викторович Беспалов

Адрес АО «ОКБМ Африкантов»: 603074, г.Нижний Новгород, Бурнаковский проезд, 15

e-mail: sigma@okbm.nnov.ru

телефон (831) 246-98-58