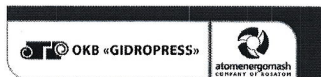




Акционерное общество «Ордена
Трудового Красного Знамени и ордена
труда ЧССР опытное конструкторское
бюро «ГИДРОПРЕСС»
(АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС»)



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

УТВЕРЖДАЮ



Генеральный конструктор

В.А. Пиминов

« 29 » 11 2015г.

О Т З Ы В

ведущей организации АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС» о диссертационной работе «**Физико-механическое моделирование деформирования и разрушения сильнооблученных аустенитных сталей и разработка методов прогнозирования свойств материалов для ВКУ ВВЭР**» соискателя ученой степени кандидата технических наук А.А. Сорокина по специальности 05.16.09 – «Материаловедение (машиностроение)»

Диссертационная работа выполнена в Федеральном государственном унитарном предприятии «Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей» (ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей»).

Актуальность работы. Одними из основных элементов реакторов типа ВВЭР, определяющих срок их эксплуатации, наряду с корпусом реактора, являются внутрикорпусные устройства (ВКУ). Это обусловлено тем, что основные элементы ВКУ являются, фактически, незаменимыми в процессе эксплуатации. Имеющийся опыт эксплуатации ВКУ ВВЭР и материаловедческие исследования влияния облучения на аустенитные стали показывают, что прочность и работоспособность ВКУ ВВЭР могут быть нарушены в процессе эксплуатации, особенно при продлении срока службы реактора сверх проектного, вследствие деградации материалов ВКУ.

Исполнитель Петрова О.Ю.

Телефон ((4967) 65-29-07

В настоящее время насущным вопросом российской атомной промышленности, помимо строительства новых блоков АЭС, является продление срока службы действующих блоков с реакторами типа ВВЭР.

В связи с этим диссертационная работа, посвященная разработке методологии оценки прочности и работоспособности элементов ВКУ ВВЭР с учетом эксплуатационных факторов, а также прогнозированию их свойств до повреждающих доз, превышающих максимальную дозу для элементов ВКУ при продленном сроке эксплуатации 60 лет является весьма актуальной.

Научная новизна работы состоит в следующем:

1) Разработана методология оценки прочности и работоспособности элементов ВКУ ВВЭР с учетом влияния основных эксплуатационных факторов.

2) Определены закономерности влияния различных режимов нейтронного облучения (температура и доза) и условий нагружения (температура и жесткость напряженного состояния) на механические свойства материалов ВКУ ВВЭР. Предложены уравнения, описывающие эти закономерности.

3) Установлены основные механизмы влияния радиационного распухания на охрупчивание облученных аустенитных сталей.

4) Определены режимы нейтронного облучения, при которых происходит фазовое $\gamma \rightarrow \alpha$ превращение, приводящее к возникновению вязко-хрупкого перехода в материалах ВКУ. Показано, что пластичность материала при квазихрупком разрушении близка к нулю.

5) При помощи разработанной физико-механической модели вязкого разрушения, получены уравнения, описывающие влияние радиационного распухания на пластичность и статическую трещиностойкость материалов ВКУ.

6) Установлены механизмы вязкого разрушения материала, приводящие к резкому снижению прочности (до величин ниже предела текучести) облученных аустенитных сталей.

7) Разработан подход к оценке скорости роста трещины при радиационной ползучести в материале ВКУ ВВЭР.

Практическая значимость работы определяется разработкой методологии оценки прочности и работоспособности элементов ВКУ ВВЭР с учетом влияния основных эксплуатационных факторов, а также созданием зависимостей для прогнозирования основных свойств материалов ВКУ, определяющих прочность и работоспособность элементов ВКУ.

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». В эти документы также вошли полученные в рамках диссертации зависимости для прогнозирования физико-механических свойств материала ВКУ ВВЭР-440 и ВВЭР-1000 – стали 08X18H10T и металла сварных соединений. Упомянутые документы одобрены Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору (РОСТЕХНАДЗОР).

Помимо руководящих документов разработанная методология оценки прочности и работоспособности элементов ВКУ ВВЭР и полученные зависимости для прогнозирования физико-механических свойств материалов ВКУ включены в международный код МАГАТЭ “Unified procedure for lifetime assessment of components and piping in WWER NPPs “Verlife”, 2003-2012”.

На базе разработанных руководящих документов ведется обоснование продления срока эксплуатации реакторов ВВЭР-440 и ВВЭР-1000.

Актуальность и практическая значимость полученных результатов не вызывает сомнений, поскольку многие из них явились основой для создания руководящих документов и методик ОАО «Концерн Росэнергоатом». На основании данных документов в настоящее время проводится обоснование продления срока службы ВКУ действующих реакторов ВВЭР-440 и ВВЭР-1000. Нельзя не отметить, что результаты работы также включены в международный код МАГАТЭ “Unified procedure for lifetime assessment of components and piping in WWER NPPs “Verlife”, 2003-2012”.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты диссертационной работы могут быть применены при оценке прочности и ресурса ВКУ эксплуатируемых реакторов типа ВВЭР-1000 и ВВЭР-440, а также для прогнозирования влияния нейтронного облучения и радиационного распухания на механические свойства и трещиностойкость стали типа X18H10T и металла ее сварного шва. Разработанная модель вязкого разрушения может быть использована для прогнозирования влияния нейтронного облучения и распухания на пластичность и трещиностойкость хромоникелевых аустенитных сталей, что позволяет применять ее при анализе ресурса элементов реакторов на быстрых нейтронах.

Результаты работы могут представлять интерес и практическую ценность для следующих предприятий: АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС», АО «ОКБМ им. И.И. Африкантова», АО «ГНЦ НИИАР», АО «Институт реакторных материалов» АО «ГНЦ РФ ФЭИ им. А.И. Лейпунского», РНЦ «Курчатовский институт» и других, а также для кафедр ВУЗов, занимающихся радиационным материаловедением.

В диссертации и автореферате четко отражен личный вклад А.А. Сорокина.

В качестве **замечаний по диссертационной работе** можно отметить следующие:

1. Сварные соединения элементов ВКУ ВВЭР не проходят термическую обработку после сварки, в связи с чем в ВКУ присутствуют остаточные сварочные напряжения. Из представленной в диссертации методологии не ясно, необходимо ли учитывать ОСН при анализе прочности и работоспособности элементов ВКУ ВВЭР.

2. Из представленной в диссертации методологии не ясно, как оценивать допускаемый размер дефекта, учитывая сильное влияние радиационного распухания на статическую трещиностойкость, приводящее к ее полной потери уже при 5%.

3. В работе предложены два критических значения радиационного распухания для анализа зарождения ЗПО по механизму $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения и при критическом снижении трещиностойкости материала, однако не указано, какое распухание необходимо рассматривать – свободное или с учетом действия напряжений.

4. В разработанной методологии оценки прочности не рассматриваются критические состояния, которые могут возникать при динамическом воздействии на элементы ВКУ – например, достижение предельной пластической деформации.

5. В диссертации и автореферате имеется ряд редакционных неточностей.

Отмеченные замечания не снижают актуальности, научной новизны и практической ценности диссертационной работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация, несомненно, посвящена важной теме – оценке прочности и работоспособности ВКУ ВВЭР, и содержит новые научные результаты. Автореферат отражает содержание диссертационной работы. Достоверность результатов подтверждена верификацией полученных расчетных данных и зависимостей на базе оригинальных экспериментальных данных, а также данных из литературных источников, полученных при сходственных условиях эксперимента. Результаты диссертационной работы в хорошо освещены в научных публикациях автора и доложены на научных семинарах и конференциях высокого уровня.

На основе изложенного можно сделать вывод, что диссертация Александра Андреевича Сорокина является научной работой, вносящей существенный вклад в исследования влияния нейтронного облучения на хромоникелевые аустенитные стали, в частности, материалы ВКУ ВВЭР, и представляет теоретическую и практическую ценность.

Диссертация удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 05.16.09 – «Материаловедение (машиностроение)», а ее автор – Александр Андреевич Сорокин, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Отзыв рассмотрен и одобрен на расширенном заседании Секции №4 НТС АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС» 19 ноября 2015 г. Протокол № 23.

Заместитель генерального директора
по научной работе

А.С. Зубченко

Заместитель генерального конструктора –
начальник отделения
конструкционной целостности

С.И. Сероштан

Начальник отдела материаловедения

В.М. Комолов

Ученый секретарь отделения
конструкционной целостности

О.Ю. Петрова