

ВЫЯВЛЕНИЕ ФАКТОРОВ УСКОРЕННОГО НАКОПЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ В ОБОЛОЧКАХ ТВЭЛОВ, ОБЛУЧЕННЫХ В РЕКТОРЕ БН-600, НЕРАЗРУШАЮЩИМИ МЕТОДАМИ КОНТРОЛЯ

В.В. Чуев*, К.В. Митюрёв, И.И. Коновалов****

**Белоярская АЭС, г. Заречный Свердловской обл.*

***ИПЯТ НИЯУ МИФИ, г. Москва*



Приведены результаты анализа экспериментальных исследований твэлов, облученных в активной зоне (АЗ) реактора БН-600 вплоть до повреждающей дозы ~ 90 сна. Исследования, проведенные методами профилометрии, гамма-спектроскопии и импульсной вихретоковой дефектоскопии в «горячей» камере БН-600, направлены на выявление факторов ускоренного накопления повреждений, приводящих к разгерметизации оболочки.

Ключевые слова: дефектоскопия, «горячая» камера, контроль, послереакторные исследования, спектрометрия, импульсная вихретоковая дефектоскопия твэлов.

Key words: flaw detection, hot cell, verification, post-irradiation examination, spectrometry, pulse whirlcurrent defectoscopy, fuel pin.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение выгорания топлива в реакторах на быстрых нейтронах (РБН) является важной задачей, которая решается путем увеличения длительности топливной кампании. Увеличение выгорания топлива может быть осуществлено только совместно с обеспечением безопасности работы твэлов в топливной сборке (герметичности твэлов) на протяжении всего их жизненного цикла.

За время эксплуатации реактора БН-600 накоплен богатый опыт [1], показывающий, что при стабильном режиме ее работы разгерметизации большого числа твэлов, имеющих сильно сниженные физико-механические свойства оболочек, не происходит. Однако разгерметизации оболочек твэлов исключены не полностью, но их число остается в рамках, допускаемых требованиями эксплуатации. Даже в случае, когда количество разгерметизировавшихся твэлов не выходит за пределы безопасной эксплуатации, повышать выгорание топлива и увеличивать при этом повреждающую дозу на оболочку необходимо с учетом всех факторов риска.

При обосновании ресурса работыборок реакторов на быстрых нейтронах в общем случае принято рассматривать комплекс физико-механических и технологических свойств конструкционных материалов, обеспечивающих сохранение

работоспособности реакторных сборок при заданных параметрах эксплуатации. В работе [1] предпринята попытка обобщить факторы, определяющие во взаимосвязи работоспособность реакторных сборок БН-600 и выделить из них наиболее важные, устранение которых способствовало бы повышению выгорания топлива реактора БН-600. Результаты экспериментальных работ по исследованию структуры и свойств диоксида урана, по физико-химическому взаимодействию топлива и его продуктов деления с материалами оболочек твэлов быстрых реакторов показывают, что несмотря на обширность накопленного материала требуется детальный анализ поведения твэлов при достаточно высоких повреждающих дозах и уровнях выгорания топлива. Углубленному выявлению основных факторов, приводящих к ускоренному накоплению повреждений в оболочке твэла, посвящен анализ результатов послеексплуатационного исследования твэлов, что и является целью работы.

МЕТОДИКИ И МАТЕРИАЛЫ

Две тепловыделяющие сборки (ТВС) 1374 и Ц-63 (номера ТВС определены нормативами завода [1]) с оболочками твэлов из стали ЧС-68 х.д. (химический состав, соответствующий ТУ 14-3-1511-87, приведен в табл. 1) прошли облучение в АЗ «малого обогащения» реактора БН-600 до максимальных повреждающих доз 93 и 87 сна соответственно. Всю кампанию обе сборки отработали без отклонений.

После выгрузки из АЗ ректора ТВС 1374 была установлена во внутриреакторное хранилище (ВРХ). После выдержки в ВРХ сборка прошла отмывку и перегрузку в «горячую камеру» (ГК) БН-600. ТВС Ц-63 была выгружена из АЗ реактора и передана на исследования в ГК БН-600, минуя ВРХ. Обе сборки в ГК БН-600 были исследованы по штатной схеме методами профилометрии, гамма-спектроскопии и импульсной вихретоковой дефектоскопии.

Из таблицы 1 видно, что химический состав оболочек твэлов из стали ЧС-68 х.д. имеет разброс по содержанию легирующих элементов в рамках ТУ. Такая неопределенность в содержании легирующих элементов является одним из факторов, приводящих к разбросу свойств оболочек твэлов и, соответственно, к различной радиационной стойкости материала.

Значения выгорания, повреждающей дозы, линейной мощности твэлов рассматриваемых ТВС приведены в табл. 2 и 3 соответственно. Все данные указаны по микрокампаниям облучения. Обе сборки были выгружены из АЗ реактора без замечаний.

Обе сборки проходили облучение в АЗ реактора при стабильном режиме работы АЗ. Условия облучения обеих сборок идентичны (см. табл. 2 и 3). Это дает право сравнивать состояния обоих твэлов.

Таблица 1

Химический состав стали ЧС-68

Сталь	C	Cr	Ni	Mn	Mo	Ti	Si	P	B
ЧС-68 х.д.	0,05–0,08	15,5–17,0	14,0–15,5	1,3–2,0	1,9–2,5	0,2–0,5	0,3–0,6	< 0,2	0,001–0,003

Таблица 2

ТВС Ц-63

МКК	Сумм. эфф.сут	q_l , кВт/м	$B_{ср}$, % т.а.	Доза, сна	$T_{обл}$ (max), °C
15	0	45,4	–	0	639
19	538	34,1	9,5	87,5	–

Таблица 3

ТВС 1374

МКК	Сумм. эфф.сут	q_l , кВт/м	$B_{ср}$, % т.а	Доза, сна	$T_{обол}$ (max), °C
24	0	37,3	0	0	644
27	659,5	30,2	10,9	91,3	600

Профилометрия твэлов

Одним из основных методов исследований состояния облученных твэлов является определение геометрических параметров, которые составляют их радиационное формоизменение. В «горячей» камере БН-600 для профилометрии твэлов применялись несколько конструкций установок. Для измерений твэлов ТВС Ц-63 и 1374 использовались две различные системы, одной из которых был автоматизированный профилометр ТВЭЛ. Эта система предназначена для проведения измерений диаметра твэла в двух взаимно перпендикулярных направлениях вдоль образующей профиля поперечного сечения оболочки и длины твэла с фиксацией координаты измеряемой точки по длине твэла, угла поворота. Профилометр ТВЭЛ состоял из следующих основных частей: стенда профилометрии; системы автоматического управления, сбора и обработки информации; калибров геометрических размеров. Элемент устанавливался в любом положении по высоте с погрешностью $\pm 0,5$ мм на любое необходимое для проведения измерений время. Погрешность измерений составляла $\pm 0,01$ мм.

Гамма-спектрометрические исследования

Гамма-спектрометрические исследования твэлов проводятся на установке гамма-сканирования. Метод измерений основан на получении спектра собственного излучения изделия и анализе распределения продуктов деления по высоте активной зоны этого изделия с помощью вычислений площадей пиков полного поглощения соответствующих энергий. Типичные спектры излучения Cs^{137} приведены на рис. 1. Параметры пиков и их погрешности указаны в табл. 4.

Установка для гамма-спектрометрических исследований состоит из следующих основных узлов: устройства для перемещения элемента; коллимационной системы; счетного спектрометрического тракта. Исследуемый элемент на расстоянии 200 мм вертикально располагается перед входным окном коллиматора-ограничителя, представляющего собой отверстие диаметром 23 мм, просверленное в стене «горячей» камеры толщиной 1100 мм, на выходе которого размещен дополнительный регулируемый коллиматор.

При исследовании твэлы перемещаются перед входным окном коллиматора-ограничителя краном «горячей» камеры с постоянной скоростью 0,25 м/мин с

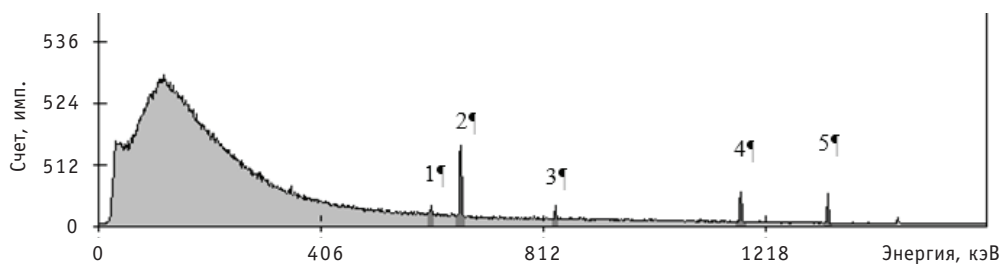


Рис. 1. Типичные характеристики фонового гамма-излучения в месте установки детектора (цифрами обозначены анализируемые пики)

Таблица 4

Типичные характеристики фонового гамма-излучения [1]

№ пика	Энергия, кэВ	Площадь пика, имп.	Погрешность, %	Подложка, имп.	Нуклид
1	605	106	35	1070	Cs-134
2	662	2380	34	721	Cs-137
3	835	501	6	802	Mn-54
4	1174	989	15	2140	Co-60
5	1333	1450	3	87	Co-60

одновременным контролем координаты. Элемент может устанавливаться в любом положении по высоте с погрешностью 0,5 мм на любое необходимое для проведения измерений время.

Из типичных спектров гамма-излучения (рис. 1) и характеристик фонового гамма-излучения (табл. 4) видно, что основной вклад в его формирование вносят такие радиационно-активные нуклиды, как Mn-54, Co-60, Cs-137 – продукты активации компонентов конструкционных материалов и деления топлива. Фоновое излучение при проведении измерений определяется, в основном, наличием в защитной камере топливных и других элементов реакторных сборок, отходов от их разделки, которые не представлялось возможным удалить из камеры [2].

Вихретоковая дефектоскопия

Одним из экспрессных методов неразрушающего контроля облученных оболочек твэлов служит импульсная вихретоковая дефектоскопия. Приборы позволяют проводить исследования на отработавших твэлах БН-600 с целью поиска дефектов оболочек (трещин, коррозионных зон, магнитных включений и т.п.).

Принцип действия дефектоскопа основан на возбуждении в оболочке твэла импульсных вихревых токов длительностью 8,5 мкс с частотой следования 30 кГц. В результате взаимодействия электромагнитных полей в обмотках вихретокового преобразователя (ВТП) и полей вихревых токов в твэле на встречновключенных приемных обмотках ВТП формируется сигнал отклика в виде импульса напряжения. В данном сигнале заключена информация о характерных особенностях состояния оболочки в участке, находящемся в данный момент под обмотками ВТП. Образование дефекта под одной из приемных обмоток вызывает разбаланс напряжений и, соответственно, изменение формы и амплитуды сигнала отклика, который оцифровывается с помощью последовательного стробирования. В режиме полного стробирования оцифровка происходила каждые 33 нс (255 стробов на один импульс) с минимальным шагом сканирования по длине твэла, равным 0,5 мм. Таким образом, в цифровом виде создавался и хранился массив данных откликов на дефекты исследуемого твэла. Анализируя полученные результаты в сравнении с библиотекой эталонных дефектов, оцениваются размеры и идентифицируются координаты дефектов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

I. На рисунке 2 представлены результаты профилометрии, выполненные в двух перпендикулярных направлениях (сплошная и пунктирная линии), по высоте АЗ пристеночного твэла, облученного в составе ТВС 1374. Значения формоизменения твэла приведены в относительных единицах, что позволяет наглядно проде-

монстрировать локальные изменения диаметра твэла. Также на этом рисунке приведены значения эффективного формоизменения по высоте АЗ твэла, которое определяется как отношение разности значений диаметров твэлов, измеренных во взаимно перпендикулярных направлениях, к исходному диаметру твэла.

Максимум эффективного формоизменения ($\Delta d_{\text{эфф}}/d$) твэла (рис. 2) находится в области 100 мм ниже центра АЗ. На концах АЗ значения эффективного формоизменения спадают практически до нуля. Такое поведение эффективного формоизменения является следствием распухания оболочки твэла. В то же время максимальное формоизменение, измеренное вдоль одной из образующих твэла, расположено в области центра АЗ этого твэла и достигает значения $\sim 12\%$ приращения диаметра.

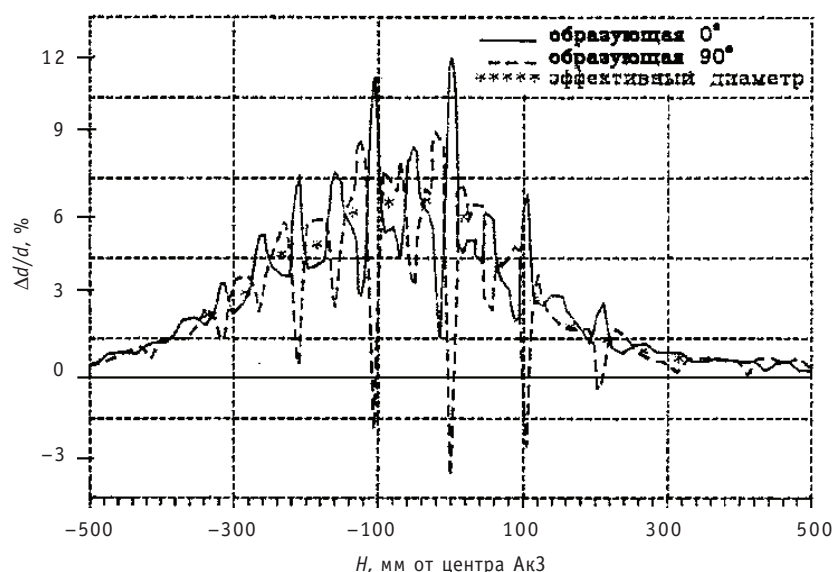


Рис. 2. Профилограмма активной зоны пристеночного твэла ТВС 1374. Показаны изменения диаметра твэла вдоль образующих, расположенных в двух перпендикулярных направлениях (сплошная и пунктирная линии), и значения эффективного диаметра твэла (снежинки)

Очевидно, особенностью профилограммы, представленной на рис. 2, является наличие областей резкого увеличения диаметра твэла, измеренного вдоль образующей 0° , соответствующих таким же резким уменьшениям диаметра, измеренного вдоль образующей во взаимно перпендикулярном направлении. Эти области резкого изменения диаметра локализованы в достаточно узком интервале по высоте АЗ твэла и имеют периодическую повторяемость. Интервал повторяемости соответствует шагу навивки дистанционирующей проволоки.

Для более детального исследования деформации оболочки твэла в областях резкого увеличения диаметра проведена профилометрия твэла при его вращении вокруг своей оси. На рисунке 3 показана профилограмма твэла, на котором в двух областях по высоте твэла, соответствующих наибольшим формоизменениям твэла (10 и 114 мм ниже центра активной зоны твэла), проведена профилометрия твэла при его вращении. Отметим, что исследование проведено на твэле из периферийного ряда, поскольку степени свободы у твэлов этого ряда ограничены стенкой чехла ТВС, и они оказываются в наиболее напряженном состоянии.

Внутренний пунктирный круг на рисунках, сделанных при исследовании профиля твэла с его вращением вокруг своей оси (см. рис. 3), показывает исходный диаметр твэла (6,9 мм), каждый последующий круг описывает диаметр, отличаю-

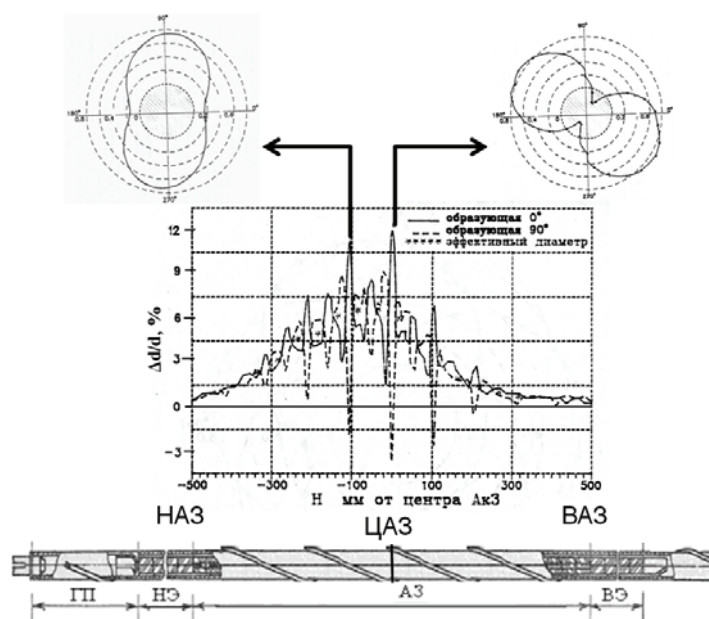


Рис. 3. Профилеграмма твэла из ТВС 1374. Окружность радиусом 0 изображает исходный диаметр оболочки твэла 6,9 мм; каждая последующая окружность – увеличение диаметра на 0,2 мм

щийся от исходного на 0,2 мм. Профиль твэла, соответствующий каждому уровню по высоте, выстраивался в этих условных координатах.

Вид профиля твэла, определенный на уровне 10 мм ниже центра АЗ (рис. 3), показывает максимальную деформацию по всей длине твэла. Видно, что диаметр твэла вдоль одной из образующих стал меньше исходного диаметра твэла в этой области. Профиль остальных сечений на этом твэле имеет менее значительные деформации, однако очевидно, что в областях наибольшего увеличения диаметра вид деформации является следствием влияния дистанционирующей проволоки. Такая деформация определяется как овализация оболочки твэла.

Возникновение локальных областей овализации оболочки твэла объясняется взаимодействием пучка твэлов и нераспухающего чехла ТВС. Процесс деформирования пучка твэлов и его взаимодействие с чехлом ТВС при эксплуатации можно разделить на следующие стадии [3, 4].

1. Изначально каждый твэл в сборке находится в свободном состоянии (рис. 4а). На первой стадии деформирования, в силу различных причин, выбирается технологический зазор, который необходим для проведения технологической операции по загрузке пучка твэлов в шестигранный чехол. Пучок твэлов приходит в контакт с шестигранным чехлом ТВС.

2. Поскольку шестигранный чехол ТВС изготовлен из практически нераспухающей ферритно-мартенситной стали, деформация пучка твэлов оказывается ограничена стенкой чехла ТВС, происходит взаимодействие пучка твэлов с шестигранным чехлом. Периферийные твэлы оказываются плотно прижатыми к чехлу ТВС, а центральные деформируются более свободно, «приспосабливаясь» к новому состоянию (рис. 4б).

3. В местах контакта оболочки твэла с дистанционирующей проволокой возникают постепенно возрастающая деформация. Оболочка твэла под дистанционирующей проволокой механически изгибается, создавая в этом месте уменьшение диаметра, а в диаметрально противоположном направлении происходит «выдавливание» оболочки, что приводит к увеличению диаметра в этом месте. Это при-

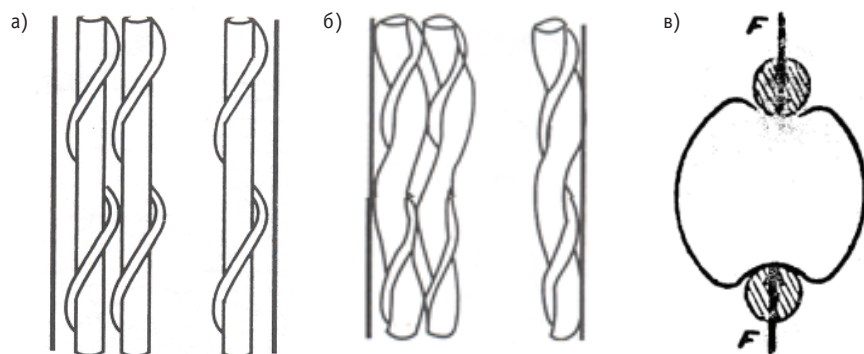


Рис. 4. Схема деформирования пучка твэлов: а) исходное состояние пучка; б) деформированный пучок; в) схематичное изображение овализации оболочки под влиянием дистанционирующей проволоки

водит к различным значениям диаметров в двух взаимно перпендикулярных направлениях, что является овализацией оболочки (рис. 4в).

Таким образом, показано, что распухание – не единственный фактор, ограничивающий работоспособность твэлов при их эксплуатации до повреждающих доз выше штатных. Кроме распухания твэлы претерпевают овализацию, что является дополнительным фактором для накопления повреждений.

II. На рисунке 5 показаны гамма-спектры распределения Cs^{137} по длине АЗ угловых твэлов, облученных в составе ТВС 1374 и ТВС Ц-63. Напомним, что после выгрузки из активной зоны реактора ТВС Ц-63 была передана на исследование в ГК БАЭС, минуя ВРХ, в то время как ТВС 1374 прошла выдержку в ВРХ.

Видно, что на спектрах твэлов, облученных в составе ТВС 1374, пики более узкие, высокие и расположены чаще, чем на спектрах твэлов ТВС Ц-63. Это отличие, по-видимому, связано с процессом выдержки ТВС 1374 в ВРХ, во время которого произошло перераспределение Cs^{137} по длине АЗ твэла. Причиной этого перераспределения может явиться изменение агрегатного состояния Cs^{137} в условиях ВРХ.

Обратимся еще раз к виду спектров на твэлах из обеих ТВС. Пики на спектрах определяют места скопления коррозионно-активных продуктов деления Cs^{137} . Наиболее узкие и часто встречающиеся на спектрах пики являются, по-видимому, скоплениями продуктов деления в промежутках между брикетами топлива и в микротрещинах [5]. Также на спектрах наблюдаются пики, расположение которых по высоте АЗ твэлов имеет периодичный характер с интервалом, кратным шагу навивки дистанционирующей проволоки. Эти пики имеют большую полуширину и выделяются на общем фоне.

На рисунке 6 путем сопоставления профилограммы и гамма-спектра Cs^{137} , измеренных по высоте АЗ твэлов, облученных в одной ТВС 1374, показано, что достаточно широкие пики, выделяющиеся на общем фоне, расположены периодически с шагом, кратным навивке дистанционирующей проволоки.

Исследования, проведенные методом гамма-спектроскопии, показали, что скопление коррозионно-активного продукта деления Cs^{137} происходит в местах овализации оболочки твэла. По мнению специалистов [5], это связано с локальным изменением температуры в этих местах. Совместное влияние температуры и коррозионно-активных продуктов деления является термодинамическим стимулом ускоренного развития повреждений. Анализ повреждений в оболочке твэлов в данной работе проведен методом импульсной вихретоковой дефектоскопии.

III. На рисунке 7а показана профилограмма твэла, облученного в составе ТВС 1374. Твэл отработал в реакторе без разгерметизации и разрушился при разделке в «горячей» камере. Результаты исследования повреждений оболочки этого твэла

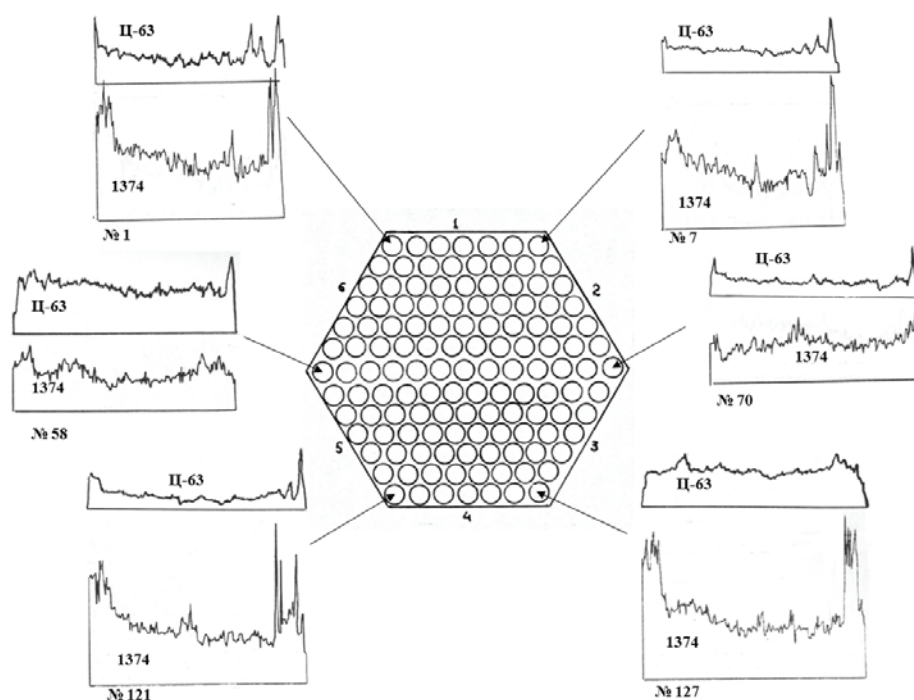


Рис. 5. Гамма-спектры угловых твэлов из ТВС 1374 и ТВС Ц-63, привязанные к картограмме расположения твэлов в сборке

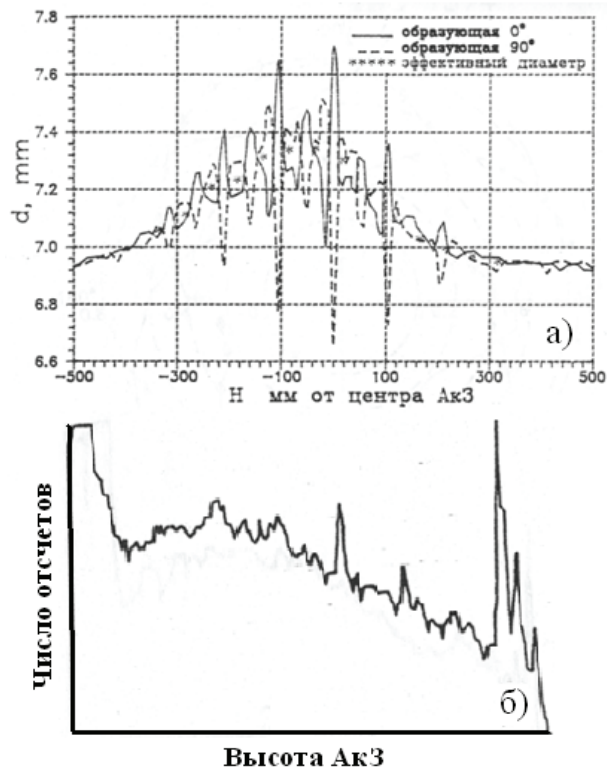


Рис. 6. Профилограмма (а) и гамма-спектр (б), измеренные по длине активной зоны твэла, облученного в ТВС 1374

методом импульсной вихретоковой дефектоскопии приведены на рис. 7б. На рисунке 7 данные вихретоковой дефектоскопии сопоставлены с профилограммой твэла. Видно, что повреждения, обнаруженные импульсной вихретоковой дефектоскопией, расположены вблизи области овализации оболочки твэла.

Французские специалисты при оценке остаточного ресурса работы твэла используют единственный критерий – момент наступления контакта между оболочкой периферийного твэла и стенкой чехла ТВС, что приводит к росту температуры в точке касания, сопровождаемому резким увеличением деформации термической ползучести оболочки под воздействием контактных сил, и разрушению в точке контакта [4].

Таким образом, показано, что в области овализации оболочки твэла происходит ускоренный процесс накопления повреждений в результате действия многих факторов. Он определяется распределением температуры и коррозионно-активных продуктов деления по высоте АЗ твэла, возможностью твэлов воздействовать друг на друга посредством дистанционирующей проволоки. Методом импульсной вихретоковой дефектоскопии показано, что область формирования повреждения локализована в области овализации оболочки. Результаты работы во многом согласуются с критерием, предложенным французскими специалистами.

Однако по данным французских исследователей [6] работоспособность твэлов ограничена распуханием оболочек ~10% объема, которое определяет допустимую деградацию механических свойств оболочек, изготовленных из аустенитной холоднодеформированной стали типа 316Ti. Как показано экспериментально, твэлы реактора БН-600 работоспособны при распухании оболочек из аналогичной отечественной стали ЧС68 х.д. (холодная деформация), равном $(14,7 \pm 3,0)\%$ об. в среднем по пучку ТВС с максимальной повреждающей

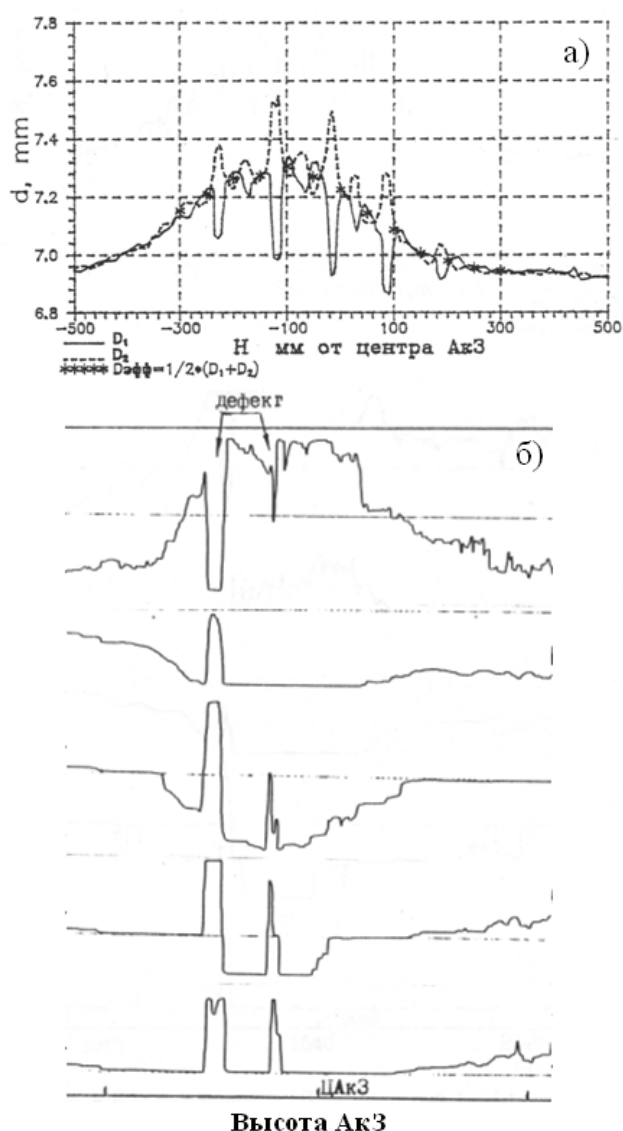


Рис. 7. Сопоставление профилограммы (а) и строга вихретоковой дефектоскопии (б), измеренных по длине АЗ твэла, облученного в ТВС 1374

дозой 82 сна при максимальном распухании ($16,2 \pm 0,6$)% об., усредненном для группы из 36-ти аномальных твэлов той же ТВС [7]. Твэлы ТВС 1374 отработали без разгерметизации в реакторе до усредненного по пучку распухания ($22,2 \pm 2,7$)% об. при максимальной по сборке дозе 93 сна, но показали полную деградацию механических свойств оболочек группы твэлов, составляющей ~ 25% от их количества в ТВС. Выявленные особенности указывают на актуальность уточнения критериев работоспособности твэлов быстрых реакторов, оболочки которых изготовлены из сталей аустенитного класса, и продолжения углубленного анализа накопленного экспериментального материала при распухании в интервале 15–20% при соответствующих высоких повреждающих дозах и глубоком выгорании топлива.

ВЫВОДЫ

- Экспериментально выявлена овализация пристеночных твэлов, облученных до высоких повреждающих доз.
- Исследовано распределение Cs^{137} по высоте активной зоны твэлов методом гамма-спектроскопии как для твэлов, прошедших выдержку во внутриреакторном хранилище, так и выгруженных минуя внутриреакторное хранилище. Показано, что в областях овализации твэла скапливается Cs^{137} , являющийся коррозионно-активным продуктом деления.
- Методом импульсной вихретоковой дефектоскопии установлено, что в местах овализации оболочки твэла возникают повреждения, определяющие остаточный ресурс твэла.
- Овализация, вызванная ограничением формоизменения пучка твэлов чехлом ТВС, является важным фактором в накоплении радиационных повреждений в оболочках твэлов, облученных до высоких повреждающих доз. Ее необходимо учитывать при оценке работоспособности твэлов на повышенные выгорания и повреждающие дозы.

Авторы выражают благодарность О.С. Коростину (ФГУП ВНИИНМ) за предоставленные экспериментальные данные и высказанные полезные замечания при обсуждении статьи.

Литература

1. Чуев В.В. Поведение конструкционных материалов в спектре нейтронов быстрого реактора большой мощности/Дисс. на соиск. уч. ст. д.т.н. Заречный, 2007. – 312 с.
2. Бушуев А.В., Петрова Е.В., Кожин А.Ф. Практическая гамма-спектрометрия: Учебное пособие. – М.: МИФИ, 2006. – 124 с.
3. Разработка, производство и эксплуатация тепловыделяющих элементов энергетических реакторов/Под ред. Ф.Г. Решетникова. Кн. 2. – М.: Атомиздат, 1995. – 340 с.
4. Truffert J., Jbin N. Une Rupture daiguille Phenix en 316 ecroui par interaction mecanique entre le faisceau et le tube hexagonal origine et consequences. Rencontre CEA/GKAE . Mars. 1987.
5. Alvin Boltax. Mixed oxide fuel pin performance. Materials Science and Technology. v.10B. Part II. 1994.
6. Dubuisson P.H., Seran J.L., Soulat P. Irradiation embrittlement of reactors internals materials. Effect of irradiation on Water reactors internals. June. 1997. V. 3
7. Баканов М.В., Мальцев В.В., Н.Н. Ошканов, Чуев В.В. Основные результаты контроля работоспособности твэлов с оболочками из аустенитных сталей нового поколения//Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2011. – № 1.

Поступила в редакцию 17.01.2011

УДК 621.039.548.5

Revealing of Factors of the Accelerated Accumulation of Damages in Fuel Pin Cladding Irradiated in Reactor BN-600 a Nondestructive Quality Monitoring \V.V. Chuev, K.V. Mityurev, I.I. Kononov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 10 pages, 4 tables, 7 illustrations. – References, 7 titles.

This work presents the results of the analysis of the experimental studies related to fuel pins, irradiated in reactor BN-600 core up to a damaging dose of ~ 90 dpa. Studies had made by methods of profilometry, gamma spectroscopy and pulse whirlcurrent defectoscopy in a «hot» cell BN-600, lead to determine factors accelerated accumulation damages that cause cladding depressurization.

УДК 621.039:37

Professionally-Oriented ESL Instruction for Nuclear Engineering Students at INPE NNRU MEPhI \E.A. Avramova; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 7 pages. – References, 5 titles.

The paper discusses some issues of teaching English as a Second Language (ESL) to nuclear engineering students at INPE NNRU MEPhI. Description is given of the ESL teaching package designed by the author and her colleagues for INPE NNRU MEPhI students. The sequence of presenting the course materials to be acquired by learners is discussed. Special emphasis is given to building communicative, information and socio-cultural skills required for effective communication in English in a professional context.

УДК 621.039:37

State-of-the-Art Computer Technologies Used to Train Nuclear Specialists and to Conduct Research \Ju.A. Korovin, A.V. Tikhonenko; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 6 pages. – References, 10 titles.

The paper discusses innovative methods used in the process of training nuclear specialists and conducting research which are based on state-of-the-art computer technologies. The approach proposed makes wide use of mathematical modeling and state-of-the-art programming techniques. It is based on the development, improvement and application of problem-oriented computer codes to support the teaching process and to solve fundamental and applied problems of nuclear physics and nuclear engineering.

УДК 621.039.586

Temperature Distribution in a Ball Placed in Well Mixed Liquid \M.V. Kascheev, Yu.I. Zagorulko; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 6 pages. – References, 8 titles.

The task of determination of temperature in a ball placed in a liquid the temperature of which does not depend on a co-ordinate is solved. In a ball sources of heat changing in time under any law operate. The initial temperatures of ball and liquid are set. The task is solved by the method of integral transformation of Laplace.