

## ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ОБОЛОЧЕК ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ РЕАКТОРА БН-600 ИЗ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ ЧС-68

**И.И. Коновалов\*, К.В. Митюрев\*, В.В. Попов\*\*, С.М. Ганина\*\***

\*ИПЯТНИЯУМИФИ, г. Москва

\*\*ГНЦ РФ-Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского, г. Обнинск

**Р**

Проведен расчет распухания аустенитной стали ЧС68-ИД х.д. и формоизменения оболочек тепловыделяющих элементов (ТВЭлов) из этой стали, прошедших эксплуатацию в активной зоне реактора БН-600, достигнув значений повреждающей дозы, превышающих штатные. Сравнение расчетов с экспериментальными данными [1], полученными на облученных ТВЭлах, показало, что при проведении расчетов остаточного ресурса необходимо учитывать фактор овализации оболочки.

**Ключевые слова:** тепловыделяющий элемент (ТВЭЛ), распухание стали, формоизменение, ресурс ТВЭла, повреждающая доза.

**Key words:** fuel pin, swelling, diameter profiles, damage dose.

### ВВЕДЕНИЕ

Штатная глубина выгорания топлива в активной зоне реактора БН-600 в настоящее время составляет  $\beta \sim 11,2\%$  т.а. Повреждающая доза оболочек ТВЭлов, соответствующая штатному выгоранию топлива, составляет  $\sim 82$  смещения на атом (сна). Аустенитная сталь ЧС68-ИД в холоднодеформированном (х.д.) состоянии является штатным материалом оболочек ТВЭлов реактора БН-600 и одним из возможных материалов для эксплуатации в качестве оболочек ТВЭлов в реакторах на быстрых нейтронах нового поколения. Однако необходимо оценить остаточный ресурс материала при планируемых штатных параметрах эксплуатации реакторов нового поколения, которые превышают штатные параметры реактора БН-600 [3].

В работе проводится расчет распухания стали ЧС68-ИД х.д. и формоизменения оболочек ТВЭлов из этой стали, отвечающих повреждающим дозам, превышающим штатные, в активной зоне реактора БН-600. На основании такого расчета может быть оценен остаточный ресурс материала оболочки ТВЭла, что позволит обосновать увеличение выгорания топлива и эксплуатацию данного материала в активной зоне реактора нового поколения.

Экспериментальные данные [1] показывают, что при эксплуатации ТВЭлов до повреждающих доз, превышающих штатные, формоизменение оболочек определяется не только распуханием материала, но и фактором механического взаимодействия ТВЭлов через дистанционирующую проволоку. Такое механическое взаи-

действие приводит к локальной пластической деформации оболочки твэла, которую принято называть овализацией.

Цель работы – показать, что при оценке остаточного ресурса материала оболочек твэлов, прошедших эксплуатацию до повреждающих доз, соответствующих уровню распухания 10–15 % об. (обуславливающих повышение чувствительности материала к деградации механических свойств), необходимо учитывать механическое взаимодействие твэлов через дистанционирующую проволоку.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для проведения расчета напряженно-деформированного состояния были взяты данные по формоизменению двух тепловыделяющих сборок (ТВС) 1374 и 0841 (номера ТВС соответствуют заводским маркировкам зав. № 9 17 1374 89 и зав. № 10 21 0841 88). Время эксплуатации и величина повреждающей дозы на оболочках твэлов обеихборок в активной зоне реактора БН-600 превышают штатные значения (табл. 1).

Оболочки твэлов ТВС 1374 и ТВС 0841 изготовлены из аустенитной стали ЧС68-ИД х.д. (0,05С- 16Cr- 15Ni- 1,5Mn- 2Mo- Ti, В, Р, Si), холоднодеформированной на конечный размер. Чехлы обеих ТВС изготовлены из ферритно-мартенситной стали ЭП-450 (0,1С- 12Cr- 0,3Nb). Максимальная повреждающая доза, достигнутая на оболочках твэлов ТВС 1374 за время эксплуатации, составила 93 сна, а на оболочках твэлов ТВС 0841 – 87 сна. Обе ТВС прошли эксплуатацию без замечаний и также без замечаний были выгружены из активной зоны реактора.

Таблица 1

#### Параметры эксплуатации твэлов в начале и в конце кампании

МКК*	Сумм. эфф.сут	$q_l$ , кВт/м	$\beta$ , % т.а. max	Доза, сна max	$T_{обол}$ , °С max
ТВС 0841 (твэл № 40)					
21	0	41,6	–	0	548
24	610	31,6	11,1	86,5	509
ТВС 1374 (твэл № 9)					
24	0	37,3	0	0	644
27	659,5	30,2	10,9	91,3	600

\* – МКК – номер микрокампании (работа реактора между перегрузками)

#### Параметры эксплуатации твэлов

Исходные данные: распределение линейной мощности и выгорания, распределение температуры и повреждающей дозы по длине активной зоны были получены непосредственно на БН-600 с помощью программного комплекса ГЕФЕСТ [4]. В таблице 1 приведены значения перечисленных параметров эксплуатации твэлов в начале и в конце кампании работы топлива.

#### Профилометрия твэлов

Профилометрия твэлов проводилась с использованием автоматизированного профилометра ТВЭЛ [5]. Эта система предназначена для проведения измерений диаметра твэла в двух взаимно перпендикулярных направлениях вдоль образующей профиля поперечного сечения оболочки и длины твэла с фиксацией координат.

наты измеряемой точки по длине твэла и угла поворота. Погрешность измерений составляла  $\pm 0,01$  мм.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 1 приведены результаты измерения распухания оболочек твэлов. Данные по распуханию были получены методом гидростатического взвешивания на образцах, вырезанных из области активной зоны твэлов, прошедших эксплуатацию в ТВС 1374 (до 93 сна) [6] и ТВС 0841 (до 87 сна) [7]. Погрешность определения плотности при гидростатическом взвешивании составляла 0,2% [8]. Координата области, из которой был вырезан образец, указана на рис. 1, начиная от центра активной зоны (центра топливного столба).

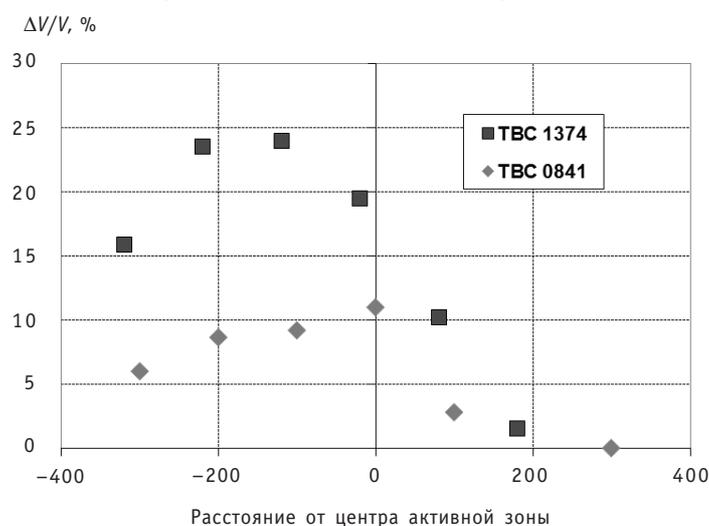


Рис. 1. Распухание оболочек, измеренное на образцах, вырезанных из различных точек по высоте активной зоны твэла, прошедшего облучение в составе ТВС 0841 (до 87 сна) и в составе ТВС 1374 (до 93 сна)

На рисунке видно, что значения распухания оболочки твэла, прошедшего эксплуатацию в ТВС 1374, в два раза превышают значения распухания оболочки твэла, прошедшего эксплуатацию в ТВС 0841. Такое поведение твэлов с оболочками из стали ЧС-68 х.д. было установлено в работе [9].

На рисунке 2 приведена зависимость распухания твэлов, эксплуатировавшихся в соответствующих экспериментальных сборках, в зависимости от максимальной повреждающей дозы, достигнутой в ТВС [9]. Каждая точка на рисунке определяет среднее по сборке распухание твэлов, а погрешность указывает разброс между максимальным и минимальным распуханием твэлов в сборке.

Из рисунка 2 видно, что до повреждающей дозы 50 сна распухание твэлов с оболочками из стали ЧС68-ИД х.д. практически равно нулю – инкубационный период. Распухание становится заметным, начиная с повреждающих доз, больших 50 сна. Характер распухания стали ЧС68-ИД х.д. до повреждающей дозы ~ 80 сна не очень интенсивный, и в интервале 50 – 80 сна может быть описан линейной зависимостью от повреждающей дозы [10]. В области повреждающих доз 90 сна характер распухания оболочек твэлов из стали ЧС68-ИД х.д. изменяется [10].

В программном коде PINCOD линейный характер зависимости распухания от повреждающей дозы положен в основу расчета распухания [2]. Входными данными для расчета были параметры облучения твэлов в указанных сборках (распределение повреждающей дозы, выгорания, температуры по высоте твэла и пр.),

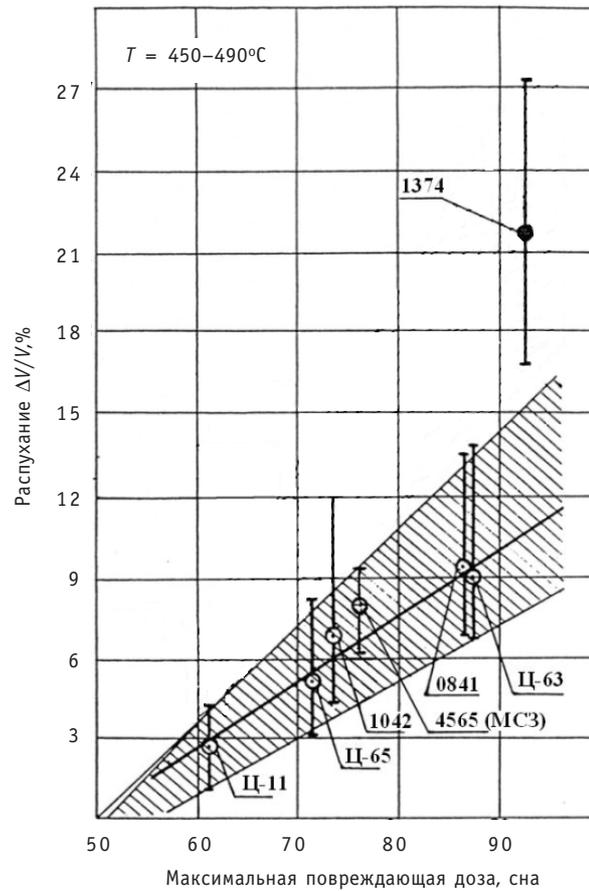


Рис. 2. Зависимость распухания твэлов с оболочками из стали ЧС-68 х.д. от величины максимальной повреждающей дозы, достигнутой эксплуатировавшейся ТВС (номера сборок указаны)

полученные с помощью программы ГЕФЕСТ. Результаты расчета приведены на рис. 3.

Значения распухания оболочек твэлов, полученные расчетом по программе PINCOD, на рис. 3 сопоставлены со значениями распухания, полученными экспериментально. Экспериментальные значения распухания на рисунке (показаны точками) были аппроксимированы функцией [11]

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{d}{d(dpa)} \left( \frac{\Delta V}{V_0} \right) \cdot \exp \left\{ -\frac{(T-T_0)^2}{2} \right\} \cdot (dpa - dpa_0), \quad (1)$$

где  $\Delta V/V_0$  – распухание (изменение объема оболочки под облучением к исходному значению);  $dpa$  – повреждающая доза, сна;  $T$  – температура облучения, °C;  $d/d(dpa)(\Delta V/V_0)$  – скорость распухания, %/сна;  $T_0$  – характеристическая температура максимального распухания, °C;  $dpa_0$  – инкубационная доза, сна.

Для определения зависимости распухания от величины повреждающей дозы температурная область распухания дискретно разбивалась на интервалы, в которых экспериментальные данные описывались в приближении:

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{d}{d(dpa)} \left( \frac{\Delta V}{V_0} \right) \cdot (dpa - dpa_0). \quad (2)$$

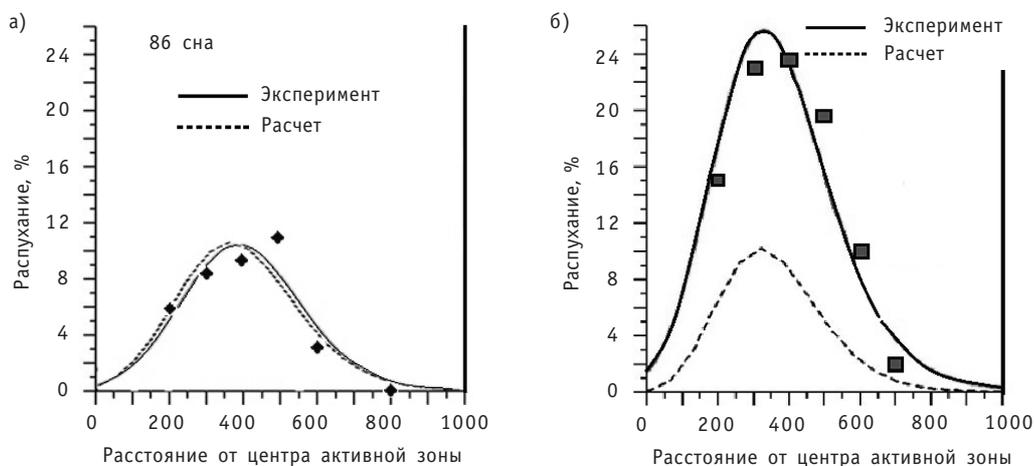


Рис. 3. Сравнение распухания, рассчитанного с помощью программы PINCOD (пунктирная линия) и измеренного экспериментально методом гидростатического взвешивания, в зависимости от координаты по высоте активной зоны, начиная от низа топливного столба твэлов из ТВС 0841 (а) и твэла из ТВС1374 (б)

Параметры  $d/d(dpa)(dV/V_0)$ ,  $T_0$ ,  $dpa_0$  определялись методом наименьших квадратов.

Из рисунка 3а видно, что для твэла, прошедшего эксплуатацию в составе ТВС 0841 до повреждающей дозы 86 сна, рассчитанное по программе PINCOD распухание совпадает со значением распухания, полученным методом гидростатического взвешивания. Аналогичное сравнение значений распухания для твэла, прошедшего эксплуатацию в составе ТВС 1374 до повреждающей дозы 93 сна, показало значительное отличие экспериментальных и рассчитанных данных, которое следовало ожидать вследствие изменения поведения распухания, показанного на рис. 2, в то время как в расчетах заложена линейная зависимость распухания от дозы.

Расчет формоизменения проводили по рассчитанным значениям распухания, учитывая данные давления газообразных продуктов деления (ГПД) и механическое взаимодействие топлива с оболочкой [2].

На рисунках 4 и 5 представлены профилограммы твэлов, прошедших эксплуатацию в составе ТВС 0841 и 1374 [1]. Профилограммы показывают профиль твэла по взаимно перпендикулярным образующим на всех уровнях по высоте активной

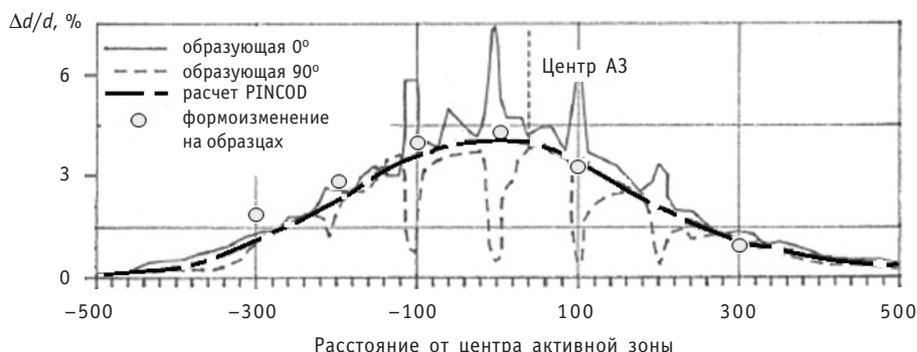


Рис. 4. Сравнение профилограммы твэла, прошедшего эксплуатацию в составе ТВС 0841, и значений формоизменения, полученных расчетом по программе PINCOD, а также рассчитанных по данным распухания, полученным на образцах оболочки твэла

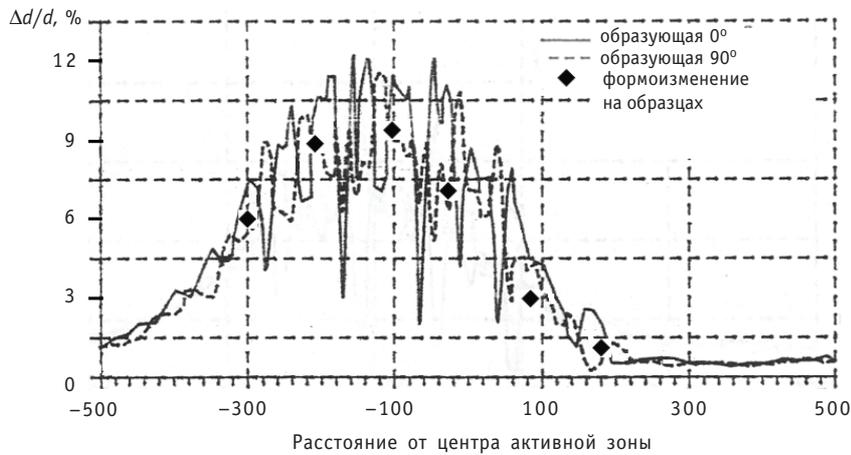


Рис. 5. Сравнение профилограммы твэла, прошедшего эксплуатацию в составе ТВС 1374, и значений формоизменения, рассчитанных по данным распухания, измеренным на образцах оболочки твэла

зоны (один профиль обозначен сплошной линией, другой – пунктиром). На профилограммах наблюдаются локальные области, в которых увеличения диаметра вдоль одной образующей соответствуют локальным уменьшениям диаметра вдоль образующей, перпендикулярной первой. Подобные локальные изменения формы твэла являются результатом деформации оболочки, вызванной взаимодействием твэлов через дистанционирующую проволоку [12].

Как правило, процесс деформирования пучка твэлов и его взаимодействие с чехлом ТВС при эксплуатации разделяется на следующие стадии [12, 13]:

- в процессе распухания твэлов выбирается технологический зазор, который необходим для проведения операции по загрузке пучка твэлов в шестигранный чехол; пучок твэлов приходит в контакт с шестигранным чехлом ТВС;
- периферийные твэлы оказываются плотно прижатыми к чехлу ТВС. Шестигранный чехол ТВС изготовлен из практически нераспухающей ферритно-мартенситной стали.

Оболочка твэла в областях контакта с дистанционирующей проволокой механически изгибается, создавая в этом месте уменьшение диаметра, а в областях, диаметрально противоположных первым, наблюдается деформация оболочки в свободное межтвэльное пространство. Это приводит к различному значению диаметров в двух взаимно перпендикулярных направлениях (овализация), что наблюдается на профилограммах.

Приведенные на рис. 4 экспериментальные значения формоизменения (точки) оболочки твэла рассчитаны из распухания по формуле

$$\frac{\Delta D}{D_0} = \frac{1}{3} \left( \frac{\Delta V}{V_0} \right), \quad (3)$$

где  $\Delta D/D_0$  – отношение изменение диаметра образца оболочки твэла к значению диаметра необлученного образца (формоизменение). Экспериментальные значения хорошо согласуются со значениями формоизменения, рассчитанными с помощью программы PINCOD.

Соотношение значений формоизменения со значениями распухания, представленные формулой (3), выполняется в случае отсутствия иных сил, направленных на изменение формы твэла. К таким силам можно отнести ползучесть, вызванную давлением газообразных продуктов деления, и давление топлива.

Расчет формоизменения по программе PINCOD для твэлов, отработавших в ТВС 1374 (см. рис. 5), не проводился в связи с тем, что рассчитанные значения распухания этих твэлов значительно отличались от экспериментальных значений (см. рис. 3б).

Из сопоставления формоизменений, рассчитанного по программе PINCOD и измеренного с помощью профилометрии, видно, что в областях овализации по высоте твэла истинные значения диаметра твэла значительно отличаются от предсказанных расчетом. Причина такого различия заключается в механическом взаимодействии твэлов, что в программном коде PINCOD не учитывается.

По значениям формоизменения в рамках программы PINCOD рассчитываются значения противодействующих механических напряжений, создаваемых оболочкой твэла на влияние факторов, вызывающих формоизменение. Рассчитанные значения механического напряжения, рассчитанные с помощью программы PINCOD, могут быть поставлены в соответствие областям твэла, где результаты расчета формоизменения незначительно отличаются от данных профилометрии [2]. Для проведения таких расчетов оболочку твэла условно разделяют на внутренний и внешний слои. Расчет проводился отдельно для каждого слоя, а затем результаты «сшивают», предполагая, что деформация обоих слоев проходит одинаково. На рисунке 6 приведены результаты расчета внутренних напряжений в оболочке твэла, отвечающие уровню 15 мм выше центра активной зоны по длине твэла.

Отрицательные значения напряжений на рис. 6 имеют характер сжимающих напряжений, положительные – растягивающих. Видно, что на внутреннем слое оболочки изначально сжимающий характер напряжений, а на внешнем слое оболочки – растягивающий.

За весь период эксплуатации ТВС 0841 происходило четыре остановки реактора на перегрузку. Работа реактора между перегрузками называется микроампа-

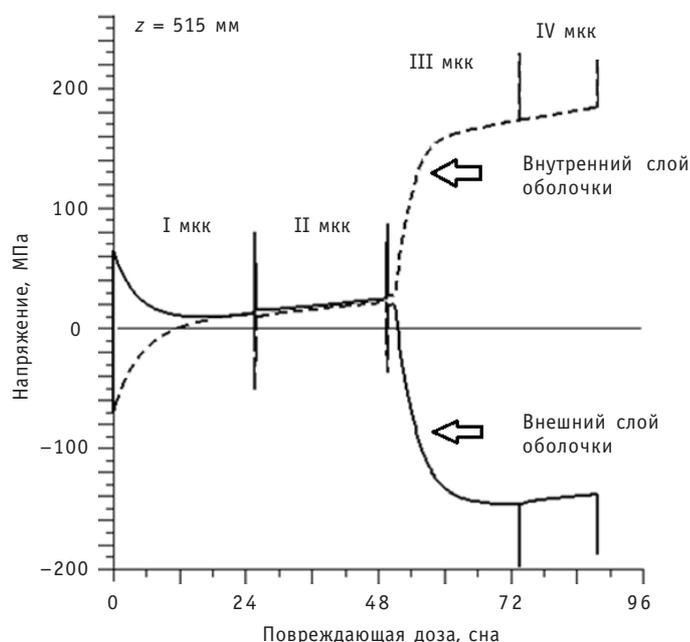


Рис. 6. Кинетика изменения напряжений на условно выделяемых внутреннем (пунктирная линия) и внешнем (сплошная линия) слоях оболочки твэла. Расчет проведен на уровне 15 мм выше центра активной зоны твэла, прошедшего эксплуатацию в ТВС 0841

нией (МКК). Во время остановки реактора на перегрузку происходит значительное уменьшение рабочей температуры, в результате чего происходит значительное уменьшение термических напряжений. Таким образом, в конце каждой микрокампании напряжения в обоих (условно выделенных) слоях претерпевают резкий скачок. На рисунке 6 такие скачки напряжений имеют вид острых пиков.

В первых двух микрокампаниях напряжения на внутреннем и внешнем слоях оболочки твэла постепенно выравниваются. Это связано с термической релаксацией напряжений. В течение третьей микрокампании происходит изменение знаков напряжений: на внутреннем слое напряжения становятся растягивающими, а на внешнем слое – сжимающими. Причина такого изменения заключается в том, что на любом уровне по высоте твэла температура на внешнем слое оболочки ниже температуры на внутреннем слое.

Сопоставление рассчитанных напряжений оболочки твэла с пределом длительной прочности конструкционного материала оболочки, облученного до исследуемой повреждающей дозы, позволяет выставить критерий остаточного ресурса. Однако значения длительной прочности определены только для необлученной стали ЧС-68 х.д. и отсутствуют данные по длительной прочности, измеренные внутри реактора.

Другим методом анализа ресурса твэла является исследование поведения свойств материала оболочки твэла в зависимости от параметров облучения. В основе метода лежит закономерность изменения свойств оболочки в зависимости от кинетики изменения пористой структуры материала оболочки под влиянием параметров облучения твэла [12]. Исследуемым параметром материала оболочки является «жесткость» кристаллической решетки – совокупный параметр физических свойств материала. Отношение силы, возникающей между атомами при их перемещении друг относительно друга, к величине этого перемещения по определению является «жесткостью» кристаллической решетки

Выражение для расчета «жесткости» кристаллической решетки  $H$  (измеряется в единицах (Н/м)) имеет вид [14]

$$H = [36 \cdot \pi^4 m]^{1/3} w^2 \rho^{2/3}, \quad (4)$$

где  $\rho$  – плотность образца (кг/м<sup>3</sup>);  $m$  – масса атома (кг);  $w$  – скорость распространения ультразвуковых колебаний в образце (м/с):

$$w = \left[ \frac{1}{3} \left( \frac{\rho}{G} \cdot \frac{3G - E}{4G - E} \right)^{3/2} + \frac{2}{3} \left( \frac{\rho}{G} \right)^{3/2} \right]^{-1/3}, \quad (5)$$

где  $E$ ,  $G$  – модули Юнга и сдвига образца соответственно (ГПа).

Отношение «жесткости» кристаллической решетки для образцов, вырезанных из облученных оболочек твэлов, к «жесткости» кристаллической решетки необлученного образца-свидетеля  $H_0$ , рассчитанное по формуле (4), построено в зависимости от величины повреждающей дозы на рис. 7.

Видно, что до повреждающей дозы  $\sim 70$  сна изменения «жесткости» кристаллической решетки не наблюдаются. Значения «жесткости» кристаллической решетки, соответствующие исследованным твэлам из ТВС 0841 и 1374, расположены в области резкой деградации, что соответствует данным по распуханию (рис. 2).

В работе [14] показано, что параметр «жесткости» кристаллической решетки может быть определен из экспериментальных исследований ультразвуковой резонансной спектроскопии. Следовательно, параметр «жесткости» кристаллической решетки может быть определен экспериментально.

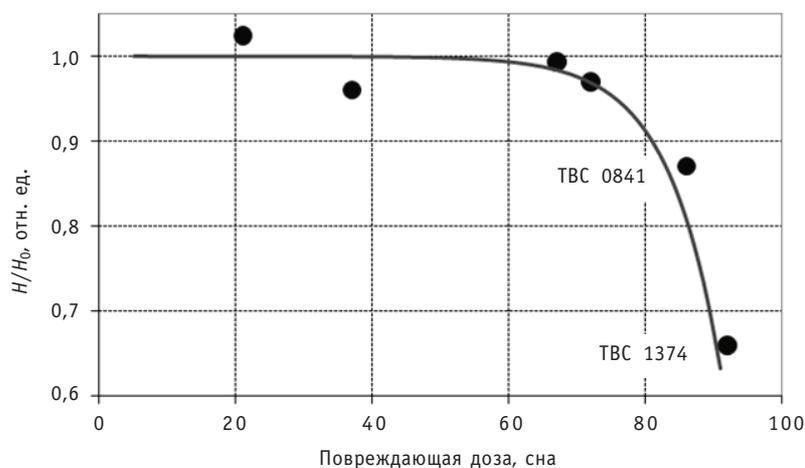


Рис. 7. Зависимость относительного изменения «жесткости» кристаллической решетки образцов из облученных оболочек твэлов (сталь ЧС-68 х.д.) от величины повреждающей дозы; сплошной линией показана аппроксимация экспоненциальной зависимостью

## ВЫВОДЫ

1. Для определения ресурса стали ЧС-68 х.д. методом расчета распухания материала и формоизменения оболочки твэла с помощью программы PINCOD необходимо учитывать изменение режима распухания при увеличении повреждающей дозы.

2. Для определения ресурса твэла стали ЧС68-ИД х.д. методом распухания материала и формоизменения оболочки твэла с помощью программы PINCOD необходимо учитывать пластическую деформацию оболочки твэла, вызванную механическим взаимодействием твэлов через дистанционирующую проволоку.

3. Параметр «жесткость» кристаллической решетки позволяет выявить резкое ухудшение физико-механических свойств материала оболочки твэла и оценить остаточный ресурс материала оболочки твэла.

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

## Литература

1. Чуев В.В., Коновалов И.И., Митюрев К.В. Выявление факторов ускоренного накопления повреждений в оболочках твэлов, облученных в реакторе БН-600, неразрушающими методами контроля // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2011. – №2. – С. 171-180.
2. Хмелевский М.Я., Попов В.В., Малахова Е.И. Термомеханический код PINCOD. Теоретическая часть / Препринт ФЭИ-3153. – Обнинск, 2009.
3. Ежегодный доклад МАГАТЭ за 1999 г. – Vienna, 2000. – С. 190.
4. Селезнёв Е.Ф., Альперович М.Н., Росляков В.Ф. и др. Опыт внедрения комплекса ГЕФЕСТ в штатную эксплуатацию на Белоярской АЭС/Сб. науч. трудов «Физика и теплофизика реактора БН-600». – Екатеринбург: УрО РАН, 1994. – С. 18-217.
5. Козманов Е.А., Огородов А.Н., Чуев В.В. Методическое обеспечение первичных послереакторных исследований элементов активной зоны реактора БН-600/Сб. науч. трудов «Исследование конструкционных материалов элементов активной зоны быстрых натриевых реакторов». Екатеринбург: УрО РАН, 1994. – С. 3-47.

6. Козлов А.В., Е.А. Кинев, С.В. Брюшкова и др. Влияние вида нагружения на величину определяемых прочностных и пластических характеристик оболочек твэлов после их эксплуатации в составе ТВС БН-600/Сб. докл. V Межотраслевой конференции по реакторному материаловедению (Дмитровград, 8-12 сентября 1997 г.). Т.2. Ч. 2 «Конструкционные, поглощающие и замедляющие материалы». – С. 113-122.
7. Дмитриев В.Д., Поролло С.И., Воробьев А.Н. и др. Исследование распухания и механических свойств оболочек твэлов из стали 06Х16Н15М2Г2ТФР после облучения в реакторе БН-600 до повреждающей дозы 87,5 сна. – Радиационное материаловедение/Труды Международной конференции по радиационному материаловедению (Алушта, 1990 г.). – Т. 3. – Харьков, 1990. – С. 49-55.
8. Епанчинцев О.Г., Чистяков Ю.Д. Исследование степени совершенства кристаллической структуры методом гидростатического взвешивания//Заводская лаборатория. – 1967. – №5. – С. 569.
9. Огородов А.Н., Асташов С.Е., Козманов Е.А., Чуев В.В., Шейкман А.Г., Коростин О.С., Забудько Л.М. Формоизменение оболочек твэлов из стали ЧС-68 в холоднодеформированном состоянии при повреждающих дозах 60–93 сна/Сб. докл. IV Межотраслевой конференции по реакторному материаловедению (Дмитровград, 15-19 мая 1995 г.). В 4-х томах. Т3. Дмитровград, 1996. – С. 110-121.
10. Garner F.F. Irradiation Performance of Cladding and Structural Steels in Liquid Metal Reactors// Materials Science and Technology. – 1994. – V. 10A. – Part 1.
11. Вотинов С.Н., Прохоров В.И., Островский З.Е. Облученные нержавеющие стали. – М.: Наука, 1987. – С. 128.
12. 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/GKAЕ, Mars, 1987.
13. Решетников Ф.Г., Бибилашвили Ю.К., Головнин И.С. и др. Разработка, производство и эксплуатация тепловыделяющих элементов энергетических реакторов. В 2 кн. Кн. 2/Под ред. Ф.Г. Решетникова – М.: Энергоатомиздат, 1995. – С. 336.
14. Митюрев К.В., Коновалов И.И., Щербаков Е.Н., Шихалев В.С. Зависимости радиационно-индуцированных изменений характеристик кристаллической решетки стали ЧС-68 с температурой и дозой нейтронного облучения/Сборник научных трудов сессии МИФИ. – 2009. – Т.1. – С.251.

Поступила в редакцию 12.01.2012

**УДК 623.454.86**

*Integrated Approach to Proliferation Risk Assessment Based on Multiple Objective Analysis Framework* \A.A. Andrianov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 9 pages, 4 tables, 6 illustrations. – References, 7 titles.

The approach to the assessment of proliferation risk using the methods of multi-criteria decision making and multi-objective optimization are presented. The approach allows taking into account the specific features of the national nuclear infrastructure, and possible proliferator strategies (motivations, intentions, and capabilities). Simple examples of applying the approach are shown.

**УДК 621.039.543.4**

*On the Issues of Uranium Reprocessed from High Burnup Fuels* \A.I. Dyachenko, N.A. Balagurov, V.V. Artisyuk; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 9 pages, 5 tables, 6 illustrations. – References, 13 titles.

The present paper focuses on analysis of nuclide composition in spent fuel of VVER-1000 from the view point of uranium reprocessing. The consideration is given to even uranium isotopes compensation, savings of separate work units, associated saving of uranium resources and economics.

**УДК 621.039.84**

*Control Uniform Distribution of Plutonium by Fuel Pin Length BN-800* \M.I. Stasevich, E.V. Skachkov, V.V. Kadilin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 5 pages, 2 illustrations. – References, 4 titles.

In this paper, was considered a method of determining the mass of plutonium and getter (additive in the form of uranium metal) in a fragment of a fuel pin reactor BN-800 10 mm by mathematical modeling, the method based on measuring the intrinsic emission of granulated MOX fuel. There were researched the influence of the presence of a getter, the vibrations of the inner radius and thickness of the cladding, the determination of the mass of plutonium.

**УДК 621.039.548**

*Residual Resource Estimation of the Fuel Pins Cover of Austenitic Stainless Steel ChS-68 of the Reactor BN-600* \K.V. Miturev, I.I. Konovalov, V.V. Popov, S.M. Ganina; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 10 pages, 1 table, 7 illustrations. – References, 14 titles.

It have been done calculation of swelling austenitic stainless steel ЧС-68 and diameter profiles of fuel pins cladding from this steel, passed operation in an active zone of reactor BN-600, having reached the values of a damaging dose exceeding the regular in work. Comparison of calculations with the experimental data [1] received on irradiated fuel pins, has shown that at carrying out of calculations of a residual resource it is necessary to consider the ovality factor.

**УДК 621.039.53**

*Computational Analysis and Estimation of LWR Cladding Radioactivity* \A.V. Korzunin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 5 pages, 2 tables, 2 illustrations. – References, 5 titles.

Time evolution of specific radioactivity and gamma watts for four types of zirconium based structural materials light elements activation products were estimated. Some chemical elemental analysis was performed. The advantages of zirconium purification after irradiation were shown.

**УДК 621.039.37**

*Training for Faculty Training and Retraining INPE NRNU MEPhI* \V.V. Tkachenko, S.P. Saakyan; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 7 pages.

The history of the organization and formation of In-Services Training Department of the INPE NRNU MEPhI. The functioning of the faculty to train specialists for the nuclear industry of additional professional education programs. It is shown that the most popular are retraining programs in «Operation of Nuclear Power Plants», to maintain the skills of managers and specialists of NPP, as well as training in various areas of nuclear energy profile.