

УДК 621.039.548

## МЕТОД ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РЕСУРСА ОБОЛОЧКИ ТВЭЛА ВВЭР-1000 В РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ НАГРУЖЕНИЯ

Максимов М.В., Пелых С.Н., Маслов О.В., Баскаков В.Е. (Одесский нац. политехнический ун-т, Украина)

За последние 30 лет наблюдается тенденция к увеличению полноты и глубины обоснования элементов ВВЭР-1000, поскольку прочность элементов АЭС играет важную роль в обеспечении безопасности. В нормативной литературе недостаточно четко изложены требования к термомеханическим расчетам безопасности ВВЭР-1000 — наиболее распространенного реактора на АЭС России и Украины [1].

Согласно экспериментальным исследованиям при увеличении числа циклов нагружения прочность оболочки твэла определяется, в основном [2]:

коррозионным растрескиванием под напряжением в атмосфере агрессивных продуктов деления;

повреждением под действием многократных циклических и длительных статических нагружений.

Исключение механического повреждения оболочки в результате коррозионного растрескивания под напряжением обеспечивается ограничением линейной мощности и скачкообразного изменения мощности реактора и в настоящей статье не рассматривается.

Одним из перспективных подходов к оценке повреждения материала оболочки в условиях многократных циклических и длительных статических нагружений является использование энергетического варианта теории ползучести. Предлагаемый метод оценки эксплуатационного ресурса оболочки твэла легководного реактора в различных режимах нагружения может рассматриваться как развитие метода [3], разработанного для оценки момента разрушения оболочки твэла при развитии тяжелой аварии, связанной с потерей теплоносителя.

При выборе для расчетного анализа развития напряжений и деформаций в оболочке программы FEMAXI (Япония) учитывалось такое ее важное достоинство, как совместное решение уравнений теплопроводности и механической деформации [4]. Программа FEMAXI пригодна для анализа поведения топлива при нормальной эксплуатации до выгорания более 50 МВт·сут/кг и позволяет определять реакцию одиночного

твэла на комбинированное воздействие с учетом изменений мощности, параметров теплоносителя и конструктивных характеристик твэла.

Согласно модели, использованной в программе FEMAXI, твэл разделен на 10 аксиальных сегментов, в центральной точке каждого из них задается линейная мощность, пропорциональная текущей мощности реактора. Линейная мощность в других точках аксиальных сегментов вычисляется путем экстраполяции значений, заданных для центральных точек.

Распределение температуры в твэле с расхождением между численным и аналитическим решением не более 0,1% предсказывается для одномерной радиальной геометрии на основе учета внутреннего тепловыделения, изменений теплопроводности таблетки и зазора, теплообмена между поверхностью твэла и теплоносителем. С помощью метода конечных элементов рассчитываются упругая и пластическая деформация, деформация ползучести и механического взаимодействия таблетки с оболочкой. Согласно принятой в программе модели выхода газообразных продуктов деления рассчитывается их диффузия, формирование пузырьков с выходом на границы зерен и во внутреннее пространство твэла, рост внутреннего давления в твэле.

Шаг по времени задается автоматически как минимум из четырех значений, обеспечивающих выполнение каждого из следующих требований:

линейная мощность в течение одного временного шага изменяется в пределах 10 Вт/см;

выгорание в течение одного временного шага изменяется в пределах 0,5 МВт·сут/кг;

деформация ползучести в течение одного временного шага не превышает упругую деформацию;

ширина последующего временного шага превышает ширину предшествующего временного шага не более чем в 1,5 раза.

Первые два условия необходимы для стабилизации решения, вторые два — во избежание расходимости при расчете ползучести для всех аксиальных элементов [4].

Эксплуатация твэла характеризуется длительным воздействием высокого температурно-силового нагружения, обуславливающего разви-

тие неконтролируемых процессов ползучести конструкционного материала оболочки твэла, которые в определенный момент времени приводят к ее разрушению с выходом продуктов деления в контур в количестве, превышающем пределы безопасной эксплуатации.

Согласно методу [3] при рассмотрении ползучести оболочки твэла принимается во внимание тот факт, что процессы ползучести и накопления повреждений в металле протекают совместно и влияют один на другой, т.е. являются связанными. В качестве структурного параметра повреждения используется функция  $\omega$ . Данный подход успешно применялся также при анализе высокотемпературной ползучести и разрушения корпуса реактора при тяжелой аварии [3].

В последнее время повысился интерес к работе ВВЭР-1000 в режиме переменных нагрузок энергосистемы, что предполагает многократные циклические изменения мощности. Кроме того, для действующих блоков с ВВЭР-1000 актуально увеличение единичной мощности блока на 4% и более. Поскольку стратегия развития атомной отрасли Украины предполагает диверсификацию поставок ядерного топлива, актуальной проблемой также является сравнение эффективности различных вариантов топливной загрузки активной зоны ВВЭР-1000.

Необходимо принимать во внимание, что исследования долговечности оболочки специалистами Европы, США, Японии и Канады не могут быть применены для верификации российских кодов в связи с существенным различием топлива PWR и ВВЭР [3]. Несмотря на то что все производители обосновывают надежность и безопасность эксплуатации своих ТВС, возникла необходимость в разработке единого метода оценки эксплуатационного ресурса оболочки твэла ВВЭР-1000 в различных условиях нагружения для различных вариантов топливной загрузки и параметров активной зоны.

Предлагаемый метод отличается от развитого в работе [3] следующими особенностями. В работе [3] уравнения механического состояния (ползучести и накопления повреждений) циркониевых сплавов для оболочек твэлов записаны в виде

$$\dot{\rho}_e = f[k_i, T, \sigma_e, \omega(\tau)]; \quad (1)$$

$$\dot{\omega}(\tau) = \frac{\sigma_e \dot{\rho}_e}{A_0}, \quad (2)$$

где  $\dot{\rho}_e$  — скорость эквивалентной деформации ползучести,  $\text{с}^{-1}$ ;  $k_i$  — параметры материала, которые определяются путем испытаний микрообразцов, вырезанных из оболочки твэла вдоль направлений ортотропии;  $T$  — абсолютная температура, К;  $\sigma_e$  — эквивалентное напряжение, Па;  $\omega(\tau)$  — безразмерный параметр повреждения материала оболочки;  $A_0$  — удельная рассеянная энергия,  $\text{Дж/м}^3$ , характерная для начала разрушения материала оболочки и известная для данного материала либо из эксперимента, либо из расчета [5].

Для аварии с потерей теплоносителя, используя условие разрушения оболочки твэла  $\omega = 1$ , по уравнениям (1), (2) находим удельную рассеянную энергию  $A_0$ , накопленную к моменту разрушения материала оболочки и зависящую только от температуры [3]. При этом принимается как экспериментально доказанный факт, что при анализе высокотемпературной ползучести и разрушения оболочки твэла в ходе аварии с потерей теплоносителя удельная рассеянная энергия  $A_0$  не зависит от предыстории нагружения.

Сложность оценки времени сохранения целостности оболочки твэла при стационарных и переменных нагрузках заключается в том, что экспериментальное изучение ползучести оболочки модельного твэла в условиях, соответствующих эксплуатационным режимам переменных нагрузок, или чрезвычайно затруднительно, или просто невозможно, поскольку продолжительность таких испытаний может составлять несколько лет.

При оценке срока службы оболочки твэла в режиме переменных нагрузок представляется некорректным использование экспериментальных данных о ползучести материала оболочки, полученных в условиях стационарных и аварийных режимов, поскольку необходимо учитывать всю историю нагружения материала оболочки.

В настоящей статье не анализируются аварийные режимы, приводящие к пластической деформации оболочки твэла при аварийном повышении температуры. Таким образом, для оценки срока службы оболочки твэла при многократных циклических изменениях мощности реактора достаточно ограничиться вычислением удельной энергии, накопленной в процессе ползучести к моменту разрушения материала оболочки и затраченной на разрушение [6].

В отличие от развитого в работе [3] экспериментального метода определения удельной рассеянной энергии  $A_0$ , накопленной к моменту разрушения материала оболочки, в данном случае предлагается расчетный подход на основании критерия разрушения оболочки твэла, записываемого следующим образом:

$$\omega(\tau) = A(\tau)/A_0 = 1, \quad (3)$$

где  $A(\tau) = \int_0^\tau \sigma_e \dot{p}_e d\tau$ ;  $A_0$  определяется как удель-

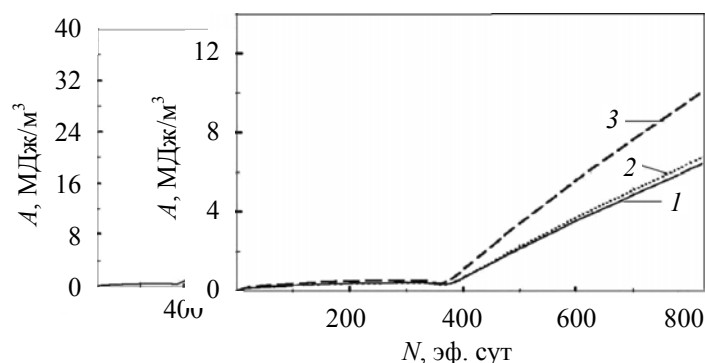
ная рассеянная энергия в момент  $\tau_0$  потери устойчивости материала оболочки, когда эквивалентное напряжение  $\sigma_e^{\max}(\tau)$  равно пределу текучести  $\sigma_0^{\max}(\tau)$  в точке, расположенной на внутренней поверхности центрального аксиального сегмента и имеющей максимальную температуру.

Предлагаемый метод позволяет для постоянного и переменного режимов нагружения ВВЭР-1000 количественно оценить повреждение материала оболочки с учетом реальной истории нагружения [7, 8].

Примем, что реактор в будние дни недели работает по суточному циклу нагружения, согласно которому в течение первых 16 ч каждого расчетных будних суток его мощность равна 100% номинальной, затем в течение одного часа она снижается до 75%, в течение последующих 6 ч мощность равна 75% номинальной, далее в течение последнего часа она повышается до 100% (время начала расчетных и календарных суток в общем случае разное). Однако в течение последнего часа каждого пятого расчетных суток недели мощность снижается до 50% и остается такой в течение шестых и 23 ч седьмых суток, далее в течение последнего часа каждого седьмых расчетных суток повышается до 100%. Такой комбинированный режим работы, сочетающий суточный и недельный циклы нагружения, означает, что в течение 85, 35 и 48 ч каждой недели мощность равна 100, 75 и 50% номинальной соответственно.

Отметим, что в настоящее время для указанного комбинированного режима отсутствуют как экспериментальные, так и расчетные данные об удельной рассеянной энергии  $A_0$ , приводящей к разрушению оболочки.

На рис. 1 видно, что при уменьшении диаметра центрального отверстия таблетки и про-



Р и с. 1. Накр и с. 2. Изменение удельной рассеянной энергии для оболочки твэуТВС (1), ТВС-А (2), ТВС-В (3) в зависимости от числа летки 0,14 ( $l_{\text{эфф.сут}}$  при работе реактора в комбинированном режиме)

чих равных условиях накопленная в циркуляционной оболочке удельная рассеянная энергия значительно увеличивается с ростом выгорания [9].

Из сопоставления эквивалентного напряжения  $\sigma_e^{\max}(\tau_0)$  и предела текучести  $\sigma_0^{\max}(\tau_0)$  следует, что ресурс циркуляционной оболочки увеличивается для таблеток с более широким центральным отверстием. При диаметре центрального отверстия 0,112 см ресурс  $\tau_0$  циркуляционной оболочки составит 2074 эф. сут, при этом удельная рассеянная энергия  $A_0$  будет равна 25,5 МДж/м³.

Определив для конкретных режимов и конструктивных параметров ТВС удельную рассеянную энергию  $A_0$  в момент потери устойчивости оболочки, по выражению  $\omega(\tau) = A(\tau)/A_0$  находим повреждение оболочки для заданной истории нагрузок при любом числе циклов мощности.

Представляет интерес сравнить эксплуатационный ресурс оболочки твэла различных типов ТВС ВВЭР-1000 в переменном режиме нагружения.

В качестве материала топливной таблетки в программе выбран спеченный диоксид урана, поэтому если пренебречь различиями технологии изготовления топлива, то используемые модели физических процессов одинаково применимы к твэлам ТВС-В корпорации «Вестингауз» (США) и ТВС ОАО «Твэл» (Россия). Однако в программе в качестве материала оболочки выбран циркалой, тогда как в ТВС-В применяется сплав ZIRLO, в УТВС и ТВС-А ОАО «ОКБМ Африкантов» — сплав Э-110.

С учетом привязанности программы FEMAXI к указанным материалам при сравнении эксплуатационного ресурса оболочек твэлов

УТВС, ТВС-А и ТВС-В принимали во внимание только конструктивные характеристики (наличие центрального отверстия в таблетке, диаметр таблетки и др.). Режимы работы ВВЭР-1000 были приняты для всех ТВС одинаковыми [9]. В качестве материала оболочки и топлива всех ТВС были выбраны циркалой и диоксид урана [4].

Для сравнения эксплуатационного ресурса оболочек указанных ТВС достаточно ограничиться вычислением для заданной истории нагрузок удельной рассеянной энергии для центрального аксиального сегмента твэла ТВС каждого типа.

На рис. 2 для трех указанных типов ТВС представлена расчетная зависимость накопленной удельной рассеянной энергии  $A$  от числа эффективных суток  $N$  при работе реактора в принятом комбинированном режиме. Получается, что оболочка ТВС-В накапливает наибольшую удельную рассеянную энергию при работе как в базовом, так и в переменном режиме нагружения. Поэтому для сравнительной оценки эксплуатационного ресурса оболочек указанных ТВС в базовом режиме нагружения в качестве аналога  $A_0$  целесообразно принять удельную рассеянную энергию  $A_0(900) = 16,03$  МДж/м<sup>3</sup>, достигнутую после работы ТВС-В в течение 900 эф. сут в базовом режиме нагружения. Аналогичным образом при переменном режиме нагружения в качестве аналога  $A_0$  принимается удельная рассеянная энергия  $A_n(900) = 11,51$  МДж/м<sup>3</sup>, достигнутая после работы ТВС-В в течение 900 эф. сут в переменном режиме нагружения. Используя  $A_0(900)$  и  $A_n(900)$ , сравнительная оценка эксплуатационного ресурса оболочек указанных ТВС выполняется путем расчета относительной удельной рассеянной энергии  $A_i(900)/A_0(900)$  и  $A_i(900)/A_n(900)$  (табл.

1).

Относительная разница  $\Delta A_i(N)$  между удельной рассеянной энергией  $A_i(N)$  в случае реальных параметров конструкции и режима  $\{X_{1,0}, X_{2,0}, \dots, X_{i,0} + \Delta X_i, \dots, X_{k,0}\}$  и  $A_0(N)$  в случае базового набора параметров  $\{X_{1,0}, X_{2,0}, \dots, X_{i,0}, \dots, X_{k,0}\}$ , зависящая от числа эффективных суток  $N$  и отклонения  $\Delta X_i$   $i$ -го варьируемого параметра, определяется по выражению

$$\Delta A_i(N) = \frac{A_i(N) - A_0(N)}{A_0(N)}.$$

Расчеты  $\Delta A_i(N)$  для оболочки из циркалой показали, что основные параметры режима активной зоны и конструкции ТВС-А по степени их влияния на эксплуатационный ресурс оболочки, определяемый в соответствии с критерием разрушения (3), могут быть условно разделены на три группы.

К группе несущественно влияющих параметров, отклонение каждого из которых на 20% изменяет ресурс оболочки не более чем на 0,1%, относятся разница температуры газа в верхнем компенсационном объеме и теплоносителя, начальный размер зерна таблетки, обогащение топлива <sup>235</sup>U, размер верхнего компенсационного объема.

К группе умеренно влияющих параметров, отклонение каждого из которых на 3% изменяет ресурс оболочки в пределах 2%, относятся толщина оболочки, начальное давление гелия под оболочкой, начальное содержание гелия в газовой смеси под оболочкой, эффективная плотность диоксида урана, давление теплоносителя на входе в активную зону, скорость теплоносителя, шаг твэлов, диаметр центрального отверстия таблетки.

К группе сильно влияющих параметров, от-

Т а б л и ц а 1. Относительная удельная рассеянная энергия материала оболочек после 900 эф. сут работы

| Параметр                                        | Режим нагружения |       |       |                 |       |       |
|-------------------------------------------------|------------------|-------|-------|-----------------|-------|-------|
|                                                 | базовый (100%)   |       |       | комбинированный |       |       |
|                                                 | УТВС             | ТВС-А | ТВС-В | УТВС            | ТВС-А | ТВС-В |
| Выгорание топлива, МВт-сут/кг                   | 63,83            | 59,45 | 56,88 | 63,95           | 59,56 | 57    |
| Эквивалентная деформация ползучести оболочки, % | 10,06            | 10,32 | 12,52 | 7,648           | 7,862 | 9,402 |
| Удельная рассеянная энергия, МДж/м <sup>3</sup> | 9,933            | 10,42 | 16,03 | 7,313           | 7,721 | 11,51 |
| Относительная удельная рассеянная энергия, %    | 62               | 65    | 100   | 63,5            | 67,1  | 100   |

клонение каждого из которых на 3% изменяет ресурс оболочки более чем на 2%, относятся наружный диаметр оболочки твэла, диаметр таблетки, максимальная линейная мощность, температура теплоносителя на входе в реактор.

На основании критерия разрушения (3) в случае постоянной и переменной нагрузки ВВЭР-1000 вычислены параметр повреждения  $\omega$  циркаловой оболочки ТВС-А после 1576 эф. сут непрерывной работы, значения  $\tau_0$  и  $A_0$  для различной максимальной линейной мощности твэла (табл. 2). Согласно этим результатам работа в комбинированном режиме нагружения предпочтительна по сравнению с непрерывной работой в базовом стационарном режиме при линейной мощности в центральном аксиальном сегменте твэла  $q_{l,\max} \leq 273$  Вт/см. При  $q_{l,\max} > 273$  Вт/см работа реактора в базовом стационарном режиме предпочтительна по сравнению с работой в режиме переменной нагрузки.

Таким образом, одним из достоинств предлагаемого метода является возможность выявить области режимных параметров, в которых периодическая разгрузка реактора по мощности (работа в переменном режиме) позволяет ослабить негативное влияние переменного режима нагружения на долговечность оболочки.

Важно отметить, что этот вывод, полученный путем расчетов по программе FEMAXI V, требует уточнения как путем адаптации программы для материалов ВВЭР-1000, так и путем расчетов по более современной версии программы с менее грубой сеткой конечных эле-

ментов.

Предлагаемый метод анализа долговечности оболочки в нормальных условиях эксплуатации реактора может рассматриваться как модификация метода [3], предложенного и верифицированного для анализа долговечности оболочки в аварийных режимах.

Таким образом, данный метод оценки эксплуатационного ресурса оболочки твэла ВВЭР-1000 пригоден для различных ТВС в режиме как постоянной, так и переменной нагрузки.

Для корректного сравнения долговечности оболочки твэлов разных изготовителей требуется адаптация программы FEMAXI V к применяемым в ТВС российского производства материалам оболочки и топлива. Предлагаемый метод требует верификации и пока не может служить альтернативой нормативным методам оценки долговечности оболочки при переменной нагрузке. При верификации метода с помощью адаптированной версии FEMAXI необходимо сопоставление результатов оценки ресурса оболочки по существующим нормативам и данному методу.

Расчетный результат, свидетельствующий о большей долговечности оболочек твэлов ВВЭР-1000 в комбинированном режиме переменных нагрузок по сравнению с долговечностью в базовом стационарном режиме при максимальной линейной мощности  $q_{l,\max} \leq 273$  Вт/см, является предварительным и требует уточнения в процессе адаптации программы FEMAXI и верификации метода.

Т а б л и ц а 2. Параметр повреждения  $\omega$  для случая постоянной и комбинированной нагрузки ВВЭР-1000

| Параметр                   | Максимальная линейная мощность твэла, Вт/см                                      |                      |                      |                     |                     |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
|                            | 248                                                                              | 258                  | 263                  | 273                 | 298                 |
|                            | Средняя плотность потока быстрых нейтронов, $\text{с}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$ |                      |                      |                     |                     |
|                            | $1 \cdot 10^{14}$                                                                | $1,04 \cdot 10^{14}$ | $1,06 \cdot 10^{14}$ | $1,1 \cdot 10^{14}$ | $1,2 \cdot 10^{14}$ |
| Постоянная нагрузка        |                                                                                  |                      |                      |                     |                     |
| $\tau_0$ , эф. сут         | 2211                                                                             | 2078                 | 2016                 | 1904                | 1631                |
| $A_0$ , МДж/м <sup>3</sup> | 33,37                                                                            | 35,66                | 36,87                | 39,74               | 47,64               |
| $\omega$ , %               | 60                                                                               | 65                   | 68                   | 74                  | 94                  |
| Комбинированная нагрузка   |                                                                                  |                      |                      |                     |                     |
| $\tau_0$ , эф. сут         | 2246                                                                             | 2102                 | 2032                 | 1903                | 1576                |
| $A_0$ , МДж/м <sup>3</sup> | 27,36                                                                            | 29,14                | 30,05                | 32,10               | 37,69               |
| $\omega$ , %               | 57                                                                               | 64                   | 67                   | 74                  | 100                 |

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семишкин В.П., Рыжов С.Б., Мохов В.А., Пимин В.А. Нормативные требования к прочности и надежности элементов РУ ВВЭР и вопросы безопасности. — В сб.: Тезисы докл. 6-й Межд. научно-техн. конф. «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР». Подольск, 2009, с. 119.
2. Новиков В.В., Медведев А.В., Богатырь С.М. и др. Обеспечение работоспособности ядерного топлива в маневренных режимах. — В сб.: Украинско-рос. научно-практич. сем. «Опыт эксплуатации и внедрения топлива ВВЭР нового поколения». Хмельницкий, 2005, с. 1—22.
3. Семишкин В.П. Расчетно-экспериментальные методы обоснования поведения твэлов и ТВС ВВЭР в аварийных режимах с большой течью из первого контура РУ. Автореф. дис. на соискание ученой степени д.т.н. М., МИФИ, 2007. 48 с.
4. Suzuki M. Light Water Reactor Fuel Analysis Code FEMAXI V (Ver.1). Tokai, Japan Atomic Energy Research Institute, 2000. 285 p.
5. Соснин О.В., Горев Б.В., Никитенко А.Ф. Энергетический вариант теории ползучести. Новосибирск, Ин-т термодинамики СО РАН, 1986. 95 с.
6. Немировский Ю.В. Об оценке времени безопасной эксплуатации конструкций и сооружений. — В сб.: Межд. конф. по материаловедению. Новосибирск, 2001, т. 6, с. 328—333.
7. Максимов М.В., Пельх С.Н., Маслов О.В., Баскаков В.Е. Метод оценки эффективности алгоритма маневра мощностью энергоблока с реактором типа ВВЭР. — Изв. вузов. Ядерная энергетика, 2008, вып. 4, с. 128—139.
8. Maksimov M.V., Pelykh S.N., Maslov O.V., Baskakov V.E. Model of cladding failure estimation for a cycling nuclear unit. — Nucl. Engng Design, 2009, v. 239, № 12, p. 3021—3026.
9. Шмелев В.Д., Драгунов Ю.Г., Денисов В.П. и др. Активные зоны ВВЭР для атомных электростанций. М.: Академкнига, 2004. 220 с.

Поступила в Редакцию 26.03.09

УДК 621.039.51

# РАБОТЫ ПО ПРОГРАММЕ СНИЖЕНИЯ ОБОГАЩЕНИЯ ТОПЛИВА В ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РЕАКТОРАХ ДО 19,7% В РНЦ «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

Насонов В.А., Рязанцев Е.П., Талиев А.В., Егоренков П.М. (РНЦ «Курчатовский ин-т», г. Москва)

Работы по снижению обогащения топлива исследовательских реакторов в нашей стране были прекращены в 1991 г. в связи с проведением экономической реформы и возобновлены после совещания представителей Министерства энергетики США, Аргоннской национальной лаборатории (США), НИКИЭТа, ВНИИНМ и РНЦ «Курчатовский институт», состоявшегося в марте 1993 г. Цель совещания заключалась в обмене информацией и подготовке дальнейшего сотрудничества по программе снижения обогащения топлива исследовательских и испытательных реакторов.

В 1994 г. была введена в действие отраслевая программа создания твэлов и ТВС для ис-

следовательских реакторов с топливом обогащением  $^{235}\text{U}$  20%, являющаяся частью программы США по снижению обогащения топлива исследовательских реакторов. Российская часть программы включала продолжение создания твэлов и ТВС ВВР-М2, ИРТ-3М, МР с диоксидурановым топливом, разработку высокоплотного топлива, а также твэлов и ТВС ВВР-М5, ИРТ-3М, ИВВ-10 с таким топливом [1].

**Разработка твэлов и ТВС типа ИРТ-4М с диоксидурановым топливом, обогащенным  $^{235}\text{U}$  до 19,7%.** При снижении обогащения топлива до 19,7% необходимо увеличить содержание  $^{235}\text{U}$  по сравнению с топливом 36%-ного обогащения. С этой целью РНЦ «Курчатовский