

ОБОБЩАЮЩИЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННО- КОНСТРУКТИВНЫЙ ПАРАМЕТР ДЛЯ ВОДО-ВОДЯНЫХ РЕАКТОРОВ

В.И. Королев

*Государственная морская академия (ГМА) им. адм. С.О. Макарова,
г. Санкт-Петербург*



В статье предлагается комбинация эксплуатационно-конструктивных параметров, которая является универсальной для активных зон различных размеров и назначения. Данная комбинация рассматривается как обобщенный безразмерный параметр для подобных активных зон. Величина этого параметра может быть найдена с использованием эксплуатационно-конструктивных параметров или только конструктивных характеристик твэлов. Данный обобщающий параметр может быть применен при проектировании новых активных зон с заданными характеристиками.

Для оценки эффективности использования ядерного топлива в реакторе применяется ряд показателей, определяющих его глубину выгорания. Рассматривается отношение суммарной энерговыработки реактора от момента загрузки топлива до момента полной выгрузки его из активной зоны к общей массе загружаемого в активную зону металлического урана (U-235 + U-238) G_u^0 . Эту величину называют *средней удельной энерговыработкой активной зоны* или глубиной выгорания ядерного топлива, МВт·сут/тУ:

$$\bar{B} = \frac{1}{G_u^0} \sum_i^n Q_{p,i} \tau_i = \frac{1}{G_u^0} Q_{p,0} T_{эф}, \quad (1)$$

где $Q_{p,i}$, $Q_{p,0}$ – мощность реактора соответственно на i -м режиме и номинальная; τ_i , $T_{эф}$ – время работы реактора соответственно на i -м режиме и эффективное время; n – количество режимов за время использования ядерного топлива в активной зоне.

В процессе выгорания топлива уменьшается количество атомов U-235, поскольку они превращаются в атомы других элементов. При этом часть образующихся элементов (осколки деления) имеют большое сечение поглощения нейтронов, и размножающая способность среды активной зоны постепенно снижается. Таким образом, выгорание топлива можно измерять не только величиной энерговыработки, но и массой выгоревшего топлива или накоплением продуктов деления.

В этой связи важным удельным показателем эксплуатации активной зоны является отношение массы выгоревшего U-235 ΔG_5 (осколков деления) к общей массе загруженного в активную зону металлического урана (U-235 + U-238), кг/тУ:

$$\bar{\rho}_{\text{н.д.}} = \frac{\Delta G_5}{G_U^0}. \quad (2)$$

При использовании дисперсионного ядерного топлива (в транспортных реакторах) рассматривается отношение массы выгоревшего U-235 к объему топливной матрицы $V_{\text{тм}}$, г/см³:

$$\bar{g}_{\text{н.д.}} = \frac{\Delta G_5}{V_{\text{тм}}}. \quad (3)$$

Можно установить связь между глубиной выгорания топлива в МВт·сут/тU (1) и г/см³ (3).

$$\frac{\bar{B}}{\bar{g}_{\text{н.д.}}} = \frac{W_p}{G_U^0} \frac{V_{\text{тм}}}{\Delta G_5} = \frac{W_p}{\Delta G_5} \frac{V_{\text{тм}}}{G_U^0} = \frac{W_p}{kW_p \cdot 10^{-3}} \frac{V_{\text{тм}}}{\frac{235z_5 + 238(1-z_5)}{267z_5 + 270(1-z_5)} \gamma_{\text{ду}} b_{\text{ду}} V_{\text{тм}} \cdot 10^{-6}}, \quad (4)$$

где \bar{k} – полный удельный расход делящихся нуклидов; z_5 – обогащение топлива U-235; $\gamma_{\text{ду}}$ – удельный вес двуокиси урана; $b_{\text{ду}}$ – объемное содержание двуокиси урана в топливной композиции.

Полный удельный расход делящихся нуклидов \bar{k} учитывает наличие конкурирующих с делением реакций радиационного захвата и вклад изотопов плутония.

Величина $\frac{235z_5 + 238(1-z_5)}{267z_5 + 270(1-z_5)}$ для ядерного топлива, содержащего двуокись урана, в широком диапазоне изменения обогащения топлива U-235 z_5 имеет значение $\approx 0,88$. Тогда выражение (4) можно записать в следующем виде:

$$\bar{B} = 1,1346 \cdot 10^9 \frac{\bar{g}_{\text{н.д.}}}{k \gamma_{\text{ду}} b_{\text{ду}}}. \quad (5)$$

Примем плотность двуокиси урана 10200 кг/м³, объемное содержание двуокиси урана в керамическом топливе $b_{\text{ду}} = 1$, тогда глубина выгорания в МВт·сут/тU

$$\bar{B} \approx 11,1 \cdot 10^4 \bar{g}_{\text{н.д.}} / \bar{k}. \quad (6)$$

Связь между выражениями (3) и (2) для ядерного топлива из двуокиси урана записывается следующим образом:

$$\frac{\bar{\rho}_{\text{н.д.}}}{\bar{g}_{\text{н.д.}}} = \frac{\Delta G_5}{G_U^0} \frac{V_{\text{тм}}}{\Delta G_5} = \frac{V_{\text{тм}}}{G_U^0} = \frac{V_{\text{тм}}}{\frac{235z_5 + 238(1-z_5)}{267z_5 + 270(1-z_5)} \gamma_{\text{ду}} b_{\text{ду}} V_{\text{тм}} \cdot 10^{-6}}, \quad (7)$$

откуда

$$\bar{g}_{\text{н.д.}} = \bar{\rho}_{\text{н.д.}} \frac{235 \cdot z_5 + 238(1-z_5)}{267 \cdot z_5 + 270(1-z_5)} \gamma_{\text{ду}} b_{\text{ду}} = 8,97 \cdot 10^{-3} b_{\text{ду}} \bar{\rho}_{\text{н.д.}}. \quad (8)$$

В единице объема топливной матрицы за кампанию в среднем накопится продуктов деления, г/см³

$$\bar{g}_{\text{н.д.}} = \frac{\bar{k} \cdot Q_{p,0} T_{\text{эф}}}{V_{\text{тм}}}. \quad (9)$$

При длительной эксплуатации активной зоны наступает момент, когда из-за механического воздействия топлива на оболочку в ней возникают трещины. Количество, протяженность и глубина трещин постепенно нарастают, и возникает прямой контакт между топливом и теплоносителем (открытый уран). При опреде-

ленном повышении активности теплоносителя из-за наличия в нем вымытых из топлива осколков деления принимается решение об остановке реактора и полной или частичной перегрузке топлива.

Таким образом, основным препятствием для роста глубины выгорания ядерного топлива и длительности эффективной кампании являются прочностные характеристики оболочек твэлов. В этой связи твэл можно рассматривать как некоторую изменяющуюся механическую систему, включающую в себя топливную композицию и оболочку, которая должна обеспечивать герметичность системы по отношению к окружающей среде (водному теплоносителю) в течение кампании. Изменение состояния системы связано с непрерывным процессом увеличения объема топливной композиции из-за накопления осколков деления в течение кампании. Происходит интенсивное и непрерывное «легирование» топлива продуктами деления и радиоактивного распада. Это, в свою очередь, приводит к нарастающему механическому воздействию топлива на оболочки твэлов.

Кроме того происходит непрерывная деградация материала оболочки из-за воздействия агрессивной среды теплоносителя, термоусталостных процессов, роста внутреннего давления в твэле и механического воздействия топливной композиции на оболочку. Наконец оболочки твэлов испытывают длительное радиационное воздействие, что вызывает их охрупчивание, снижение пластичности и возрастание скорости ползучести. Максимально допустимое накопление осколков деления, которое твэлы могут выдержать без разрушения, определяется их конструкцией, материалами и условиями эксплуатации.

Значит основным ограничением на длительность эффективной топливной кампании $T_{эф}$ (достижимую глубину выгорания ядерного топлива) является способность оболочки твэла сохранять свою герметичность в течение данного срока.

В этой связи определенное влияние на сохранение герметичности оболочек твэлов оказывает максимальная плотность теплового потока в активной зоне q_s^{\max} и максимальное удельное накопление продуктов деления в топливе $g_{п.д.}^{\max}$.

Полезным для анализа новых технических решений может быть *безразмерный комбинированный параметр*, который непосредственно связан с надежностью активной зоны, ее энергоресурсом и конструкцией твэла. В работе [1] была установлена связь между диаметром оболочки твэла $d_{об}^{ТВЭЛ}$, отношением $q_s^{\max} / g_{п.д.}^{\max}$ и эффективной кампанией $T_{эф}$.

Безразмерный комбинированный параметр можно представить следующим образом:

$$Pr = 4 \frac{q_s^{\max}}{g_{п.д.}^{\max}} \bar{k} \cdot T_{эф} \frac{1}{d_{об}^{ТВЭЛ}}. \quad (10)$$

Запишем отношение $q_s^{\max} / g_{п.д.}^{\max}$ в следующем виде:

$$q_s^{\max} / g_{п.д.}^{\max} = \frac{Q_{p,0}}{F_{ТВЭЛ}^{\Sigma}} k_v^q \cdot \frac{V_{тм}}{\bar{k} \cdot k_v^{q^*} \cdot Q_{p,0} \cdot T_{эф}} = \frac{V_{тм}}{F_{ТВЭЛ}^{\Sigma}} \cdot \frac{1}{\bar{k} \cdot T_{эф}}.$$

В первом приближении можно принять, что образование шлаков пропорционально энерговыделению, т.е. там, где имеет место большая неравномерность энерговыделения, там и большее накопление шлаков, и поэтому $k_v^q \approx k_v^{q^*}$.

Отношение объема топливной матрицы к суммарной теплообменной поверхности твэлов можно представить следующим образом:

$$\frac{V_{тм}}{F_{ТВЭЛ}^{\Sigma}} = \frac{\pi (d_{т}^{ТВЭЛ})^2 H_{аз} n_{ТВЭЛ}}{4} \frac{1}{\pi d_{об}^{ТВЭЛ} H_{аз} n_{ТВЭЛ}} = 0,25 \cdot \frac{(d_{т}^{ТВЭЛ})^2}{d_{об}^{ТВЭЛ}}, \quad (11)$$

где $d_t^{\text{ТВЭЛ}}$ – диаметр топлива в ТВэле; $n_{\text{ТВЭЛ}}$ – количество ТВЭлов в активной зоне; $H_{\text{аз}}$ – высота активной зоны.

Если используется дисперсионное топливо с компенсатором распухания, то объем топлива в ТВэле уменьшается на величину объема компенсатора. Это можно учесть поправочным коэффициентом $k_{\text{кр}}$, тогда выражение (11) примет вид

$$\frac{V_{\text{тм}}}{F_{\text{ТВЭЛ}}^{\Sigma}} = 0,25 \frac{\left[\left(d_t^{\text{ТВЭЛ}} \right)^2 - \left(k_{\text{кр}} d_t^{\text{ТВЭЛ}} \right)^2 \right]}{d_{\text{об}}^{\text{ТВЭЛ}}} = 0,25 \frac{\left(d_t^{\text{ТВЭЛ}} \right)^2}{d_{\text{об}}^{\text{ТВЭЛ}}} (1 - k_{\text{кр}}^2) = \frac{\left(r_t^{\text{ТВЭЛ}} \right)^2}{d_{\text{об}}^{\text{ТВЭЛ}}} (1 - k_{\text{кр}}^2). \quad (12)$$

В конструкции ТВЭлов, содержащих керамическое топливо (UO_2 , UC_2), предполагается наличие газового зазора между топливными элементами и оболочкой, а также центрального отверстия в топливном элементе. Это необходимо учесть при определении соотношения между объемом топливной композиции и поверхностью теплообмена ТВэла.

С учетом (12) выражение $\frac{q_s^{\text{max}}}{g_{\text{шл}}^{\text{max}}}$ можно переписать в следующем виде:

$$\frac{q_s^{\text{max}}}{g_{\text{п.д.}}^{\text{max}}} = 0,25 \frac{\left[\left(d_t^{\text{ТВЭЛ}} \right)^2 - \left(k_{\text{кр}} d_t^{\text{ТВЭЛ}} \right)^2 \right]}{d_{\text{об}}^{\text{ТВЭЛ}}} \cdot \frac{1}{\bar{k} \cdot T_{\text{эф}}} = 0,25 \frac{\left(d_t^{\text{ТВЭЛ}} \right)^2}{d_{\text{об}}^{\text{ТВЭЛ}}} (1 - k_{\text{кр}}^2) \frac{1}{\bar{k} \cdot T_{\text{эф}}}. \quad (13)$$

Величина $q_s^{\text{max}} / g_{\text{п.д.}}^{\text{max}}$ обратно пропорциональна эффективной кампании активной зоны, т.е. $\frac{q_s^{\text{max}}}{g_{\text{п.д.}}^{\text{max}}} \sim \frac{1}{T_{\text{эф}}} = \frac{Q_{\text{р,0}}}{\sum_{i=1}^N Q_{\text{р,i}} \cdot \tau_i}$. При $q_s^{\text{max}} = \text{const}$ и росте $g_{\text{п.д.}}^{\text{max}}$ уменьшается от-

ношение $q_s^{\text{max}} / g_{\text{п.д.}}^{\text{max}}$ и растет $T_{\text{эф}}$. Величина q_s^{max} лишь косвенно может влиять на длительность эффективной кампании.

В безразмерный комбинированный параметр (10) входит также $1/d_{\text{об}}^{\text{ТВЭЛ}}$. От выбранного эквивалентного диаметра оболочки ТВэла зависит объем топлива, которое можно разместить в активной зоне заданного диаметра. Чем больше диаметр оболочек ТВЭлов, тем больший объем топлива можно разместить в активной зоне, следовательно, больше ее энергозапас. Но, с другой стороны, уменьшается суммарная теплообменная поверхность оболочек ТВЭлов и при данной номинальной мощности реактора возрастает максимальная плотность теплового потока в активной зоне. Это приводит к увеличению температуры топливной композиции и оболочек. Значит снижается долговечность оболочек и топлива, и уменьшается энергоресурс активной зоны. Кроме того увеличение диаметра оболочек ТВЭлов приводит при прочих равных условиях к снижению проходного сечения активной зоны для теплоносителя, росту его скорости и увеличению гидравлического сопротивления активной зоны. Из сказанного следует, что выбор эквивалентного диаметра ТВэла для активной зоны является ответственной процедурой, в значительной мере влияющей на ее будущие эксплуатационные показатели.

Увеличение диаметра ТВэла повышает самоэкранировку топлива, что снижает коэффициент использования тепловых нейтронов. С увеличением загрузки топлива возрастает поглощение нейтронов на U-238, что также снижает эффективный коэффициент размножения нейтронов и соответственно увеличивается удельный расход U-235.

Умножим выражение (13) на величину $4 \frac{\bar{k} \cdot T_{\text{эф}}}{d_{\text{об}}^{\text{ТВЭЛ}}}$, получим

$$4 \frac{q_s^{\max}}{g_{\text{п.д.}}} \frac{\bar{k} \cdot T_{\text{эф}}}{d_{\text{об}}^{\text{ТВЭЛ}}} = 0,25 \frac{(d_{\text{т}}^{\text{ТВЭЛ}})^2}{d_{\text{об}}^{\text{ТВЭЛ}}} (1 - k_{\text{кр}}^2) \frac{1}{\bar{k} \cdot T_{\text{эф}}} 4 \frac{\bar{k} \cdot T_{\text{эф}}}{d_{\text{об}}^{\text{ТВЭЛ}}} = \left(\frac{d_{\text{т}}^{\text{ТВЭЛ}}}{d_{\text{об}}^{\text{ТВЭЛ}}} \right)^2 (1 - k_{\text{кр}}^2),$$

откуда

$$\text{Pr} = \left(\frac{d_{\text{т}}^{\text{ТВЭЛ}}}{d_{\text{об}}^{\text{ТВЭЛ}}} \right)^2 (1 - k_{\text{кр}}^2) = \left(1 - \frac{2 \sum_{i=1}^n \delta_i}{d_{\text{об}}^{\text{ТВЭЛ}}} \right)^2 (1 - k_{\text{кр}}^2), \quad (14)$$

где δ_i – толщина i -го слоя, окружающего топливную композицию в пределах твэлов (оболочка, газовый зазор).

Из выражения (14) следует, что величина Pr , объединяющая конструктивно-эксплуатационные характеристики активной зоны, зависит только от особенностей конструкции твэлов, используемых в данной активной зоне. Чем больше диаметр твэла, меньший объем занимает компенсатор распухания и меньше толщина оболочки твэла в дисперсионном топливе, тем больше величина Pr , т.е. фактически, чем больше площадь сечения топливной композиции в твэле, тем выше значение Pr .

Параметр Pr можно использовать как критерий подобия при разработке вариантов реакторов одного класса (например, малой мощности) или одной группы (водо-водяные). При рассмотрении вариантов можно в рамках критерия подобия варьировать любым параметром или группой параметров в пределах изменения критерия.

Параметр Pr целесообразно рассматривать для конечного состояния активной зоны, когда топливо полностью выгорело и требуется его перегрузка (топливная кампания исчерпана). Однако, поскольку значение параметра Pr зависит только от конструкции твэла (отношение площади, занятой топливом, к площади оболочки в поперечном сечении твэла), то в любой момент времени эксплуатации активной зоны $\text{Pr} = \text{const}$. Приняв q_s^{\max} , МВт/м²; \bar{k} , г/МВт·сут; $g_{\text{п.д.}}^{\max}$, г/см³; $T_{\text{эф}}$, ч; $d_{\text{об}}^{\text{ТВЭЛ}}$, м, получим

$$g_{\text{п.д.}}^{\max} = 0,167 \cdot 10^{-6} \frac{\bar{k} q_s^{\max}}{d_{\text{об}}^{\text{ТВЭЛ}} \text{Pr}} T_{\text{эф}} = 0,167 \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{\bar{q}_s k_v^q}{d_{\text{об}}^{\text{ТВЭЛ}} \text{Pr}} \right) \cdot \bar{k} \cdot \frac{\sum_{i=1}^N q_{p,i} \cdot \tau_i}{q_{p,0}}.$$

Выражение (14) можно использовать для определения требуемого диаметра оболочки твэла. Запишем выражение его в следующем виде:

$$4 \frac{q_s^{\max}}{g_{\text{п.д.}}} \cdot \bar{k} \cdot T_{\text{эф}} \frac{1}{d_{\text{об}}^{\text{ТВЭЛ}}} = \left(1 - \frac{2\delta_{\text{об}}}{d_{\text{об}}^{\text{ТВЭЛ}}} \right)^2 (1 - k_{\text{кр}}^2) \quad \text{или} \quad A \frac{1}{d_{\text{об}}^{\text{ТВЭЛ}}} = \left(1 - 2 \frac{\delta_{\text{об}}}{d_{\text{об}}^{\text{ТВЭЛ}}} \right)^2. \quad (15)$$

После преобразования выражения (15) можно получить

$$d_{\text{об}}^{\text{ТВЭЛ}} = 0,5 \left[A + \sqrt{A(A + 8\delta_{\text{об}})} + 4\delta_{\text{об}} \right], \quad (16)$$

где $A = 4 \left(\frac{q_s^{\max}}{g_{\text{п.д.}}} \bar{k} T_{\text{эф}} \right) \frac{1}{(1 - k_{\text{кр}}^2)}$, м; $\delta_{\text{об}}$ – толщина оболочки твэла, м.

В более общем случае диаметр топлива может отличаться от диаметра оболочки твэла на величину толщины оболочки твэла и толщину газового зазора, тогда вместо $\delta_{\text{об}}$ в формулу (16) следует подставлять $\delta_{\Sigma} = (\delta_{\text{об}} + \delta_{\text{газ}})$.

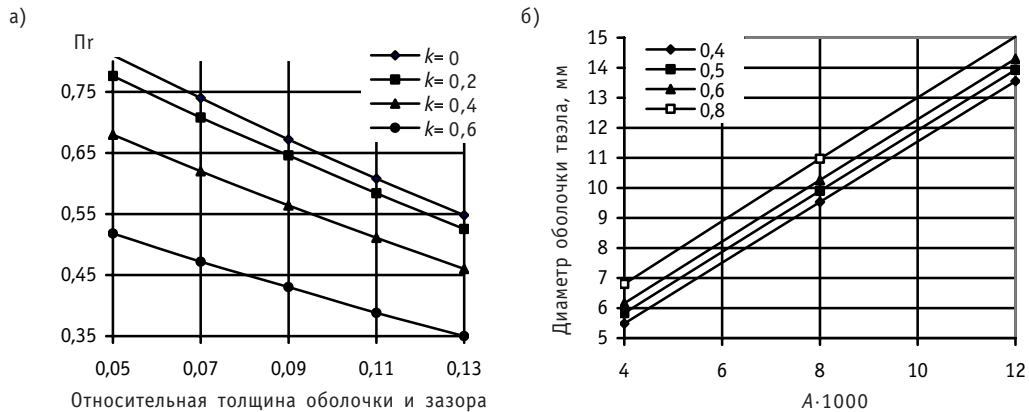


Рис. 1. Изменение конструктивно-эксплуатационного параметра в зависимости от относительной толщины оболочки твэла и зазора между оболочкой и топливом $\delta_{\Sigma}/d_{об}^{ТВЭЛ}$ и коэффициентов $k_{ц}$ или $k_{кр}$, учитывающих соответственно внутреннее отверстие в топливе или компенсатор распухания (а) и диаметра оболочки твэла в зависимости от числа A , m и суммарной толщины оболочки и зазора δ_{Σ} (б)

Заметим, что $Pr = A(1 - k_{кр}^2) / d_{об}^{ТВЭЛ}$. При известном значении Pr геометрические характеристики твэла определяются из соотношения

$$\sqrt{Pr} = \frac{d_{т}^{ТВЭЛ}}{d_{об}^{ТВЭЛ}} \sqrt{1 - k_{кр}^2}. \quad (17)$$

На рисунке 1 показано изменение конструктивно-эксплуатационного параметра в зависимости от относительной толщины оболочки твэла и зазора между оболочкой и топливом $\delta_{\Sigma}/d_{об}^{ТВЭЛ}$, а также коэффициента $k_{ц}$, учитывающего внутреннее отверстие в топливе или наличие компенсатора распухания $k_{кр}$.

Допустим, имеются типовые твэлы, у которых $\frac{\delta_{\Sigma}}{d_{об}^{ТВЭЛ}} = \frac{\delta_{об} + \delta_{ззз}}{d_{об}^{ТВЭЛ}} = 0,09$, $k_{кр} = 0,2$ и $\delta_{об} + \delta_{ззз} = 0,65$. По графику (см. рис. 1а) имеем $Pr = 0,65$. Диаметр оболочки твэла $d_{об}^{ТВЭЛ} = 0,65 / 0,09 = 7,22$. Ставится задача увеличить эффективную кампанию реактора данной мощности в 2 раза. Длительность эффективной кампании определим из выражения (10):

$$T_{эф} = Pr \left(\frac{g_{п.д.}^{max}}{q_s^{max}} \right) \frac{1}{k} d_{об}^{ТВЭЛ}.$$

При этом $g_{п.д.}^{max} \leq \{g_{п.д.}^{max}\}$, где $\{g_{п.д.}^{max}\}$ – допустимое значение накопления продуктов деления по условию герметичности оболочек твэлов. При данных условиях увеличить эффективную кампанию вдвое можно за счет снижения вдвое максимальной плотности теплового потока в активной зоне. Если номинальная мощность реактора не меняется, то снизить плотность теплового потока можно за счет увеличения количества твэлов и диаметра активной зоны

$$\frac{F_{ТВЭЛ,2}^{\Sigma}}{F_{ТВЭЛ,1}^{\Sigma}} = \frac{D_{аз,2} n_{ТВЭЛ,2}}{D_{аз,1} n_{ТВЭЛ,1}}.$$

Следует отметить, что в активных зонах больших размеров сложнее обеспечить стабильность полей энерговыделения в процессе кампании. Это связано с пониженными значениями материального параметра зон профилирования, определяющими форму поля. При одинаковых «разбалансах» k_{∞} относительное изменение материального параметра и деформация формы поля тем больше, чем ближе к

единице исходное значение k_{∞} . По этой же причине в зоне больших размеров гораздо сильнее, чем в малой зоне, деформируются поля энерговыделения при погружении РО системы компенсации реактивности. В энергетических реакторах большой мощности снижение воздействия РО СУЗ на энерговыделение осуществляется за счет применения борной кислоты.

Другой путь увеличения эффективной кампании – увеличение значения $\{g_{п.д.}^{\max}\}$ за счет оптимизации конструкции твэлов и использования более стойких к расстрескиванию материалов оболочки твэла.

Применение в практике проектирования разработанного в статье конструктивно-эксплуатационного параметра позволяет на предварительном этапе проектирования решать различные задачи по оптимизации конструкции активной зоны с заданными конструктивными и эксплуатационными характеристиками. Данный параметр можно считать *критерием подобия* для большого класса активных зон, в которых используются стержневые твэлы круглого сечения. При необходимости можно рассмотреть и другие конструкции твэлов, для которых приведенные в статье алгоритмы будут также верны.

Литература

1. Королев В.И., Ластовцев А.Ю. Прогнозирование конструктивных характеристик активных зон ядерных реакторов малой мощности для надводных плавучих объектов/Эксплуатация морского транспорта: Тр. ГМА. – №2. – Изд-во ГМА, 2008. – С. 47-53.

Поступила в редакцию 8.12.2008

Neutron therapy for cancer treating are formed the specific requests to neutron beam parameters. At present time, multipurpose testing nuclear reactors which adjusted for medical purpose are used for neutron therapy. Favorable for neutron capture therapy energy interval depends on depth of tumor position and locates from 0,5eV to 20–40KeV. The materials which can be used as a moderator or filter under forming the need spectral structure of neutron beams for BNCT are given in present paper.

УДК 621.039.51

High Energy Proton Activation Data Library (HEPAD-2008) \ Yu.A. Korovin, A.A. Natalenko, G.B. Pilnov, A.Yu. Konobeyev, A.Yu. Stankovskiy, A.V. Tikhonenko; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 9 pages, 4 tables, 3 illustrations. – References, 25 titles.

A proton activation data library for 682 nuclides from 1H to 210Po in the power range from 150 MeV up to 1 GeV was developed at the INPE «PUSK» research laboratory. To calculate proton activation data the MCNPX 2.6c and CASCADE/INPE codes were chosen. The different intranuclear cascade, preequilibrium and equilibrium nuclear reaction models and they combinations are being used. The choice of the optimum models of calculation was carried out on the basis of statistical correlation for calculated and experimental proton data taken from the EXFOR international library of experimental nuclear data. All the data are presented in the ENDF-6 format files. The library was called HEPAD-2008 (High-Energy Proton Activation Data).

УДК 621.039.54

Generalizing Operational-Constructive Criterion for Water-Water Reactors \ V.I. Korolev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 7 pages, 1 illustration. – References, 1 title.

The operational-constructive dimensionless criterion which allows connecting a number of the important characteristics for operation with the basic constructive sizes ТВЭЛ is developed. The given criterion can be used at designing of new active zones of the various sizes and characteristics with similar properties.

УДК 621.039.51

Choice of the Fuel Composition for the Special Medical Reactor \ A.V. Levchenko, V.A. Barshevtsev, Y.A. Kazansky; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 7 pages, 2 tables, 4 illustrations. – References, 14 titles.

Calculation substantiation of the fuel composition choice for the special medical reactor was considered. Two kinds of fuel – based upon americium and uranium (as more common one) were compared both in zirconium hydride matrix and as uranium dioxide. The general characteristics were contrasted and it was concluded that uranium dioxide fuel has an advantage.

УДК 621.039.543.4

Possibility Research of Profiling of Energy-Release by Radial Transposition of Fuel in the CANDU Type Reactors \ Min Min Soe, V.I. Naumov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 7 pages, 2 tables, 4 illustrations. – References, 5 titles.

Possibility research of profiling of energy-release by radial transposition of fuel by the scheme of «out-in-out» in the boundary of active zone of CANDU type reactors when utilizing slightly enriched uranium as a fuel was carried out. Quantitative estimations of effectiveness of transposition at the example model of CANDU type reactor with the parameters, similar to the PHWR-750 project in the range of initial enrichment of fuel is from 0.71 to 3% were outlined.

УДК 621.039.517

Analysis of Decay Heat at BN-600 Assemblies \ S.V. Zabrodskaia, A.L. Kochetkov, A.V. Moiseev, M.Yu. Semenov, Yu.S. Khomyakov, E.F. Seleznev, V.P. Zabegaev, A.I. Karpenko, E.L. Rozenbaum, V.F. Rosliakov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 12 pages, 2 tables, 8 illustrations. – References, 11 titles.

The method of decay heat calculation used by CARE_03 code and module OST of complex GEFEST is described. The verification of method is carried out in comparison with ORIGEN code calculations of decay heat. The calculations validation on decay heat measurements is fulfilled on calorimetric equipment of Beloyrskaya Power Plant pool. The coincidence of calculation data of both codes CARE and ORIGEN are shown (< 5%). The discrepancy of decay heat calculation data with measurement data is indicated for spent subassemblies under the long cooling times with the low decay heat – 100-150 Wt. The calculate and