

Описанная методика не требует сложного оборудования. Экспериментальное устройство, использованное авторами, состояло из пневматической системы, осуществляющей выброс источника из активной зоны, детектора нейтронов и установки, управляющей подачей воздуха. Ро — Ве-источник, создающий поток $5 \cdot 10^7$ нейтрон/сек, был заключен в герметичный стальной контейнер весом около 100 г и двигался внутри алюминиевой трубки 20×2 мм. Воздух в трубку подавался из накопительного баллона объемом 4 л через быстросействующий клапан. Давление в накопительном баллоне было равно 4—5 атм, время пролета источника (расстояние ~2 м) составляло 0,07—0,1 сек. Дальнейшее увеличение давления не привело к заметному уменьшению пролетного времени. На верхнем конце трубки находился электромагнит, подхватывающий источник. Для измерения времени пролета источника использовались генератор импульсов, пересчетное устройство и схема пропускания. Импульсы от генератора регистрировались в промежутке времени между замыканием источником верхних и нижних контактов. Для регистрации потока нейтронов применялись ионизационная камера, усилитель постоянного тока и шлейфовый осциллограф. Кроме того, токовый импульс наблюдался на экране осциллографа ЭНО-1.

Описанная методика оказалась весьма удобной для контроля за подкритичностью. Простота обработки результатов и их наглядность позволяют оценивать величину реактивности непосредственно после выстрела (по визуальному наблюдению импульса). Надежные количественные результаты получаются в области подкритичности $r < 5$. Точность определения реактив-

ности в области $r \approx 2$ составляет 3—4% (без учета погрешности в значении β). Описанный метод, по-видимому, пригоден и для постоянного контроля за состоянием системы вблизи критичности, однако следует учитывать, что интервалы между выстрелами вблизи критической точки увеличиваются, так как необходимо выжидать восстановления величины потока нейтронов и распада источников запаздывающих нейтронов после выстрела.

Авторы выражают благодарность В. М. Талызину и Я. В. Шевелеву, под руководством и при участии которых проводилось большинство измерений на реакторе ИГР.

Поступило в Редакцию 12/IV 1965 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. В. Курчатов и др. «Атомная энергия», 17, 463 (1964).
2. F. Jankowski et al. Nucl. Sci. and Engng, 2, 288 (1957).
3. N. Sjostrand. Arkiv fys., 11, 233 (1956).
4. B. Simmons, J. K. Ing. Nucl. Sci. and Engng, 3, 595 (1958).
5. W. Hogan. Nucl. Sci. and Engng, 8, 18 (1960).
6. Л. Г. Андреев и др. Докл. № 358, представленный СССР на Третью международную конференцию по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1964).
7. А. Я. Крамеров, Я. В. Шевелев. Инженерные расчеты ядерных реакторов. М., Атомиздат, 1964.

Оптимальное соотношение нейтронной и γ -дозы за защитой реактора

Л. Н. ВЕСЕЛОВСКИЙ, В. Г. КУЗНЕЦОВ, В. А. САКОВИЧ

УДК 621.039.58:539.125.5+539.122

Вопрос оптимизации радиационной защиты привлекает все большее внимание [1]. В работе [2] предложены методы вычисления вкладов излучения различных источников в дозу за оптимальной защитой, в том числе метод определения оптимального соотношения нейтронной и γ -дозы за защитой реактора. В этой работе в качестве примера дано соотношение для защиты свинец — вода, равное 20—25%, которое было вычислено при некоторых допущениях. Основное допущение использованного математического метода — равенство поверхностей легкого и тяжелого компонентов защиты, что соответствует мононаправленному пучку излучения. В то же время реактор является скорее точечным источником, а не мононаправленным, и тяжелая защита сосредоточена в основном ближе к реактору, чем легкая, т. е. ее наружная поверхность меньше.

Нетрудно показать, что небольшие изменения этих поверхностей существенно влияют на соотношение нейтронной и γ -дозы при оптимальных толщинах легкого и тяжелого компонентов. Если обозначить, как и в работе [2], длину ослабления нейтронов в воде $q_{11} = 10$ г/см², нейтронов в свинце $q_{12} = 104$ г/см², γ -излучения в воде $q_{21} = 39$ г/см² и γ -излучения в свинце

$q_{22} = 22,20$ г/см² и принять плотность свинца $\rho_2 = 11$ г/см³ и воды $\rho_1 = 1$ г/см³, то за двуслойной сферической защитой размерами r_1, r_2, r_3 получим дозу

$$D^{\text{опт}} = D_1^{\text{опт}} + D_2^{\text{опт}} = D_1^* e^{-\frac{q_{12}}{q_{11}} \frac{(r_2 - r_1) \rho_2}{q_{22}} - \frac{q_{12}}{q_{11}} \frac{(r_3 - r_2) \rho_1}{q_{21}}} + D_2^* e^{-\frac{(r_2 - r_1) \rho_2}{q_{22}} - \frac{(r_3 - r_2) \rho_1}{q_{21}}} \quad (1)$$

и вес защиты

$$P = \frac{4}{3} \pi [(r_2^3 - r_1^3) \rho_2 + (r_3^3 - r_2^3) \rho_1]. \quad (2)$$

При условии фиксированного r_1 для оптимальной защиты справедливо соотношение, вытекающее из метода неопределенных множителей Лагранжа для определения условного экстремума:

$$\frac{\partial D / \partial r_2}{\partial P / \partial r_2} = \frac{\partial D / \partial r_3}{\partial P / \partial r_3}. \quad (3)$$

Подставив значения дозы (1) и веса (2) в уравнение (3), получим

$$\frac{D_1^{\text{опт}} \left(\frac{Q_2}{q_{12}} + \frac{Q_1}{q_{11}} \right) + D_2^{\text{опт}} \left(\frac{Q_2}{q_{22}} + \frac{Q_1}{q_{21}} \right)}{4\pi r_2^2 (Q_2 - Q_1)} = \frac{-D_1^{\text{опт}} \frac{Q_1}{q_{11}} - D_2^{\text{опт}} \frac{Q_1}{q_{21}}}{4\pi r_3^2 Q_1}. \quad (4)$$

Обозначим $4\pi r_2^2 = S_2$ и $4\pi r_3^2 = S_3$, тогда

$$\frac{D_1^{\text{опт}}}{D_2^{\text{опт}}} = \frac{\frac{1}{q_{22}} \cdot \frac{1}{1 - \frac{Q_1}{Q_2}} - \frac{1}{q_{21}} \left(\frac{1}{\frac{Q_2}{Q_1} - 1} + \frac{S_2}{S_3} \right)}{\frac{1}{q_{12}} \cdot \frac{1}{1 - \frac{Q_1}{Q_2}} + \frac{1}{q_{11}} \left(\frac{1}{\frac{Q_2}{Q_1} - 1} + \frac{S_2}{S_3} \right)} \quad (5)$$

В соответствии с уравнением (5) при $S_2/S_3 = 0,3$ $D_1^{\text{опт}}/D_2^{\text{опт}} = 1,3$; при $S_2/S_3 = 0,5$ $D_1^{\text{опт}}/D_2^{\text{опт}} = 0,7$; при $S_2/S_3 = 1,0$ $D_1^{\text{опт}}/D_2^{\text{опт}} = 0,22$, т. е. те же значения, что и в работе [2].

Таким образом, определенной величины соотношения нейтронной и γ -дозы, которая могла бы служить обобщенным, зависящим от конкретных конструктив-

ных решений критерием оптимальности, не существует. Тем не менее возможна проверка оптимальности: для этого необходимо подсчитать, насколько одинаковы значения $\partial D/\partial r_i/\partial P/\partial r_i$, где r_i — радиусы слоев различных материалов или любой другой оптимизируемый параметр [4].

Поступило в Редакцию 11/III 1965 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Е. Стерн. Биологическая защита ядерных реакторов. Гл. 1. М., Атомиздат, 1965, стр. 12.
2. Г. А. Лисочкин. «Атомная энергия», 15, 67 (1963).
3. D. Reitz. Aerospace engng, 20, No. 4 (1961).
4. Е. П. Близарт. Ядерные реакторы. Ч. I. Гл. 8. М., Изд-во иностр. лит., 1956.

Защитные свойства железосерпентинового бетона

А. П. ВЕСЕЛКИН, Ю. А. ЕГОРОВ, В. А. КУЧЕРЯЕВ

УДК 621.039.538.7

В работе [1] сообщалось об изучении защитных свойств бетона на серпентинитовом заполнителе от излучений реактора. Преимущество такого бетона заключается в том, что он способен удерживать 10—12 вес. % химически связанной воды в составе заполнителя при температурах до 450° С, т. е. защитные свойства его не изменяются даже после длительного воздействия высокой температуры.

Для улучшения защитных свойств серпентинитового бетона целесообразно ввести в его состав тяжелые элементы (например, железо) и бор. По составу железосерпентиновый бетон аналогичен железно-водной защите, причем функцию легкого компонента в бетоне выполняет не только вода, но и элементы со средним атомным весом: кислород, кремний, магний и др.

Авторами исследован железосерпентиновый бетон, в котором в качестве крупного заполнителя использовался серпентинитовый щебень (766 кг/м³ бетона), а в качестве мелкого — железный металлический песок (1900 кг/м³) и тонкомолотая серпентинитовая добавка (248 кг/м³). Бетон был приготовлен на портландцементе (расход цемента 248 кг/м³, воды — 232 кг/м³) в его состав ввели 155 кг/м³ карбида бора (см. таблицу). Объемный вес бетона 3,36 т/м³. В рассчитанный элементарный состав бетона включена вода, химически связанная серпентинитом и цементом, причем считается, что количество воды, химически связанной цементом,

составляет примерно 20% веса цемента [2]. При длительном воздействии на бетон повышенных температур эта вода постепенно теряется и содержание водорода в бетоне снижается до 0,0136 г/см³, т. е. уменьшается примерно до 0,4 вес. %.

Результаты исследований железно-водной защиты [3] показывают, что оптимальное весовое соотношение между тяжелым (железо) и легким (вода) компонентами равно $\frac{P_{Fe}}{P_{H_2O}} = 18,3$ (70 об. % железа). Если принять

содержание химически связанной воды в серпентините равным ~10%, то отношение веса железа к весу воды, содержащейся в серпентините, при указанном выше расходе материалов на 1 м³ бетона будет близко по значению к соответствующей величине для оптимальной железно-водной защиты.

Изучение защитных свойств железосерпентинового бетона проводилось в условиях, описанных в работе [1]. Ослабление потоков быстрых нейтронов исследовалось в полубесконечной геометрии с помощью пороговых индикаторов: Al (n, a), E_{эфф} ≥ 7 Мэв; Al (n, p), E_{эфф} ≥ 5 Мэв; P (n, p), E_{эфф} ≥ 3 Мэв; In (n, n'), E_{эфф} ≥ 1,1 Мэв; Rh (n, n'), E_{эфф} ≥ 0,8 Мэв. Полученные с поправкой на геометрическое ослабление результаты показывают, что потоки быстрых нейтронов ослабляются по экспоненциальному закону с постоянными длинами релаксаций, значения которых приведены ниже:

Химический состав бетона

Элементы	Содержание в бетоне		Элементы	Содержание в бетоне	
	г/см ³	вес. %		г/см ³	вес. %
Si	0,2384	7,1	H	0,0191	0,57
Ca	0,1173	3,5	O	0,653	19,33
Mg	0,1879	5,6	B	0,121	3,6
Al	0,0273	0,8	C	0,034	1,1
S	0,008	0,2	Прочие	0,008	0,2
Fe	1,95	58,0			

Эффективная пороговая энергия индикатора, Мэв	Длина релаксации, см
~7	9,95
~5	9,45
~3	9,2
~1,1	9,2
~0,8	8,95

Максимальная ошибка в приведенных величинах длин релаксаций составляет ±3,5%.

Функции ослабления потоков тепловых и надтепловых нейтронов были измерены с помощью диспрозие-