

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

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

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 иностран. лит., 1956.

Защитные свойства железосерпентинового бетона

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

УДК 621.039.538.7

В работе [1] сообщалось об изучении защитных свойств бетона на серпентиновом 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 серпентинового бетона целесообразно ввести в его состав тяжелые элементы (например, железо) и бор. По составу железосерпентиновый бетон аналогичен железо-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 серпентиновый щебень (766 кг/м³ бетона), а в качестве мелкого — железный металлический песок (1900 кг/м³) и тонкомолотая серпентиновая добавка (248 кг/м³). Бетон был приготовлен на порландцементе (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 железо-водной защиты [3] показывают, что оптимальное весовое соотношение между тяжелым (железо) и легким (вода) компонентами

$$\frac{P_{\text{Fe}}}{P_{\text{H}_2\text{O}}} = 18,3 \text{ (70 об. \% железа)}. \text{ Если принять}$$

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 железо-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, α), $E_{\text{эфф}} \geq 7 \text{ Мэв}$; Al (n, p), $E_{\text{эфф}} \geq 5 \text{ Мэв}$; P (n, p), $E_{\text{эфф}} \geq 3 \text{ Мэв}$; In (n, n'), $E_{\text{эфф}} \geq 1,1 \text{ Мэв}$; Rh (n, n'), $E_{\text{эфф}} \geq 0,8 \text{ Мэв}$. 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

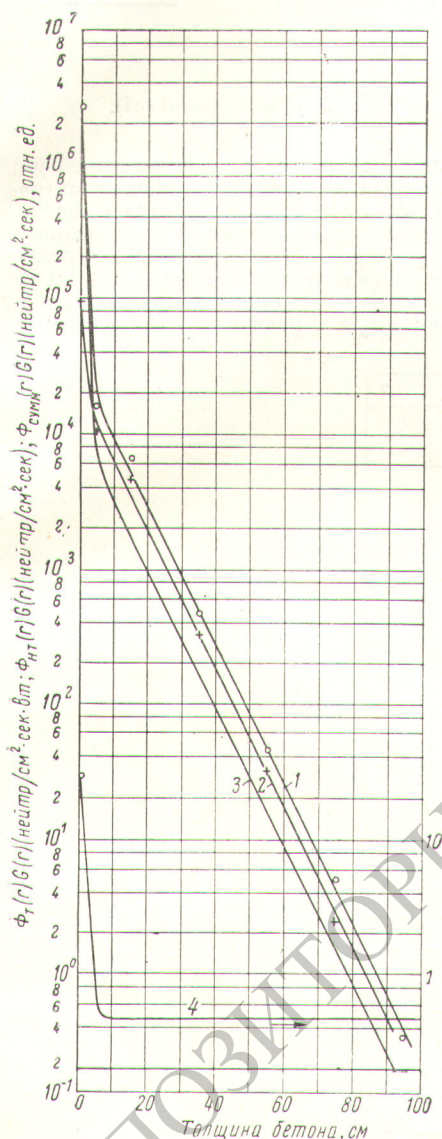
Элементы	Содержание в бетоне		Элементы	Содержание в бетоне	
	г/см ³	вес. %		г/см ³	вес. %
Si	0,2384	7,1	H	0,0191	0,57
Ca	0,1173	3,5	O	0,653	19,33
Mg	0,1879	5,6	B	0,121	3,6
Al	0,0273	0,8	C	0,034	1,1
S	0,008	0,2	Прочие	0,008	0,2
Fe	1,95	58,0			

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 $\pm 3,5\%$.

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

вых индикаторов, которые облучались в кадмиевых фильтрах (толщиной 0,5 мм) и без фильтров. Из рисунка следует, что на ближних к источнику слоях бетона (~ 5 см) происходит резкое ослабление потоков тепловых и надтепловых нейтронов, обусловленное высокой



концентрацией бора (3,6 вес.%) в бетоне; кратность ослабления составляет примерно $4 \cdot 10^3$ и 9 раз соответственно. Таким образом, тепловые нейтроны источника ослабляются ближними слоями; в дальнейшем с увеличением толщины бетона ослабляются тепловые нейтроны, образовавшиеся при замедлении быстрых. Длина релаксации тепловых нейтронов в области толщин

бетона, больших 10 см, равна 8,5 см (с точностью $\pm 3\%$) и в пределах ошибок измерений совпадает с длиной релаксации быстрых нейтронов с энергией $E \geq 0,8$ Мэв. Кривая 4 на рисунке характеризует изменение кадмиевого отношения, которое при толщине бетона, большей 10 см, постоянно и равно $\sim 0,48$. Кривые 1, 2 и 3 построены с учетом поправки на геометрическое ослабление потока быстрых нейтронов, которая в данном случае является достаточно корректной, поскольку тепловые нейтроны реактора поглощаются в пределах ближних к источнику слоев бетона (10 см).

Было определено ослабление в бетоне полного потока и полной дозы нейтронов. Измерения проводились в барьерной геометрии всеволновым счетчиком [4] и изодозным нейтронным детектором, аналогичным описанному в работе [5]. В пределах ошибок измерения кривые ослабления полного потока и полной дозы нейтронов параллельны. При толщинах бетона до $d = 30 \div 40$ см длина релаксации равна $\sim 8,3$ см, а при $d > 40$ см составляет 9,6 см.

Длина релаксации мощности дозы γ -излучения в железо-серпентиновом бетоне, полученная из измерений с помощью спинтиляционного γ -дозиметра [6], равна $\sim 9,1$ см при $d = 0 \div 40$ см и 10,5 см при больших толщинах. Максимальная ошибка в определении этой величины $\pm 4\%$. Анализ результатов измерения защитных свойств железо-серпентинового бетона показывает, что состав этого бетона близок к оптимальному, поскольку длины релаксаций потоков быстрых нейтронов, полного потока и полной дозы нейтронов, потока тепловых нейтронов, а также дозы γ -излучения различаются незначительно.

Можно несколько повысить защитные свойства железо-серпентинового бетона путем увеличения концентрации железа до 73—74% за счет доли серпентинового заполнителя. При этом объемный вес бетона увеличится до 4 т/м³. Расчеты показывают, что в этом случае содержание в бетоне легких и средних ядер оказывается достаточным для эффективного замедления промежуточных нейтронов. Применение в защите железо-серпентинового бетона вместо чистого серпентинового бетона позволяет сократить ее объем без выигрыша в весе. Хотя железо-серпентиновый бетон по защитным свойствам уступает железо-водной защите, тем не менее в некоторых случаях он может быть рекомендован как материал, более удобный в эксплуатационном и технологическом отношении и способный работать при температурах до 450° С.

Авторы благодарны Г. Г. Моисееву за помощь в проведении экспериментов.

Поступило в Редакцию 8/VI 1965 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. А. Васильев и др. АЭ, 18, 121 (1965).
2. Указания по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из специальных (тяжелых и гидратных) бетонов. Изд. Научно-исследовательского института железобетона Академии строительства и архитектуры СССР. Москва, 1959.
3. Д. Л. Бродер, К. К. Попков, С. М. Рубанов. Биологическая защита судовых реакторов. Л., «Судостроение», 1964.
4. Б. Россси, Г. Штауб. Ионизационные камеры и счетчики. М., Изд-во иностр. лит., 1961.
5. Х. Д. Андросенко, Г. Н. Смиренин. «Приборы и техника эксперимента», № 5, 64 (1962).
6. Ю. А. Егоров, Е. А. Панов. «Приборы и техника эксперимента», № 4, 57 (1961).