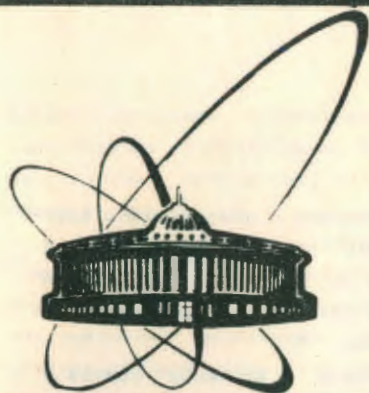


90-182



объединенный
институт
ядерных
исследований
дубна

Б 127

18-90-182

Н.Г.Бабошин*, С.Ф.Гундорина, И.А.Енговатов*,
П.А.Лавданский*, В.М.Назаров, Н.И.Стефанов*,
М.В.Фронтасьева

ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВАЦИИ
ВЯЖУЩИХ МАТЕРИАЛОВ
ДЛЯ БЕТОНОВ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ
РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК

Направлено в журнал "Kernenergie"

*Московский инженерно-строительный институт

1990

экспериментальное определение концентраций элементов, образующих долгоживущие радионуклиды, и расчёты наведенной активности различных вяжущих материалов, возникающей за время эксплуатации реакторных установок.

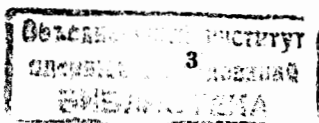
Для изготовления вяжущих веществ используются разнообразные сырьевые материалы, а технология их приготовления включает множество операций. Так, при производстве портландцемента основными из них являются: подготовка сырьевой смеси с использованием в большинстве случаев корректирующих добавок, обжиг сырьевой смеси до получения клинкера, помол клинкера совместно с гипсом. Сырьевыми материалами служат карбонатные и глинистые горные породы. В качестве корректирующих добавок на большинстве цементных заводов используются колчеданные (пиритные) огарки.

Для проектирования и создания малоактивируемых вяжущих материалов необходимо проследить, на каких стадиях их производства и из каких исходных компонентов в состав вяжущего попадают химические элементы, образующие долгоживущие радионуклиды. С этой целью в данной работе исследовались также компоненты сырьевой смеси для производства портландцемента на Белгородском цементном заводе.

1. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Для исследования были выбраны образцы портландцементов тех заводов, географическое положение которых позволяет использовать их продукцию на строящихся реакторных установках. А именно: Вольского, Белгородского, Нижне-Тагильского, Каменец-Подольского, Подольского, Сухоложского, Пикалевского и Волковиского цементных заводов. К этой группе относится также белый портландцемент Шу ровского завода. При его изготовлении используются сырьевые материалы, содержащие минимальное количество оксидов железа, марганца и титана, и исключается загрязнение готовой продукции на всех технологических этапах.

В другую группу вошли вяжущие материалы на основе портландцементного клинкера: сланцезольный, песчаный, пуццолановый и портландцементы с минеральными добавками. Исследовались также разновидности глинозёмистого цемента - белитоалюминатный, высокоглинозёмистый и специальные виды вяжущих материалов на жидком стекле и строительном стеклобее.



С целью определения влияния компонентов сырьевой смеси для производства портландцемента на его активацию исследовались исходные материалы и полуфабрикаты, используемые на Белгородском цементном заводе. Это - мел, глина, колчеданные огарки, портландцементный клинкер и гипс.

Выбранные для исследований вяжущие материалы и расход основных исходных компонентов для их производства приведены в табл. 1.

Исследования выбранных строительных материалов проводились в Лаборатории нейтронной физики Объединенного института ядерных исследований (г. Дубна) с использованием нейтронного активационного анализа. Образцы облучались в канале реактора ИБР-2 с применением пневмотранспортной установки "Регата" /11/. Плотность потока тепловых, резонансных и быстрых нейтронов в канале составляла

$1,1 \cdot 10^{12}$; $0,23 \cdot 10^{12}$ и $1,4 \cdot 10^{12}$ н·см⁻²·с⁻¹ соответственно. Времени облучения составляло 7 - 10 суток.

Спектрометрические измерения образцов проводились после 30-60 и 250 - 300 дней выдержки на аппаратуре, выполненной на основе полупроводникового Ge(Li) - детектора с разрешением 3,5 кэВ по линии

1332,5 кэВ ⁶⁰Co и снабженной измерительно-вычислительным модулем на базе ЭВМ MERA-60 /12/.

Анализ каждого вида материала осуществлялся по пяти навескам, которые отбирались от тонкоизмельченной пробы массой более 2 кг. Масса навески составляла 0,5 - 0,9 г. Нейтронный активационный анализ проводился относительным методом. Для этого использовались стандартные образцы "Габбро эссекситовое" (СГД-1А) и "Альбитизированный гранит" (СГ-1А), навески которых массой около 0,2 - 0,5 г облучались совместно с исследуемыми материалами. Установленное содержание химических элементов в стандартных образцах приведено в табл. 2.

Обработка спектров проводилась на ЭВМ PDP-11/70 по программе ACTIV /13/.

Таблица 1

Материалы, выбранные для исследования

Вид вяжущего	Сырьевые материалы и их средний расход, масс. %
Портландцемент: Вольского, Нижне-Тагильского, Каменец-Подольского, Подольского, Сухоложского, Пикалевского, Волковьского заводов	Известняк (75), глина (17), огарки (3), гипс (5)
Портландцемент Белгородского завода	Мел (75), глина (17), огарки (3), гипс (5)
Портландцементный клинкер Белгородского завода	Мел (78), глина (18), огарки (4)
Белый портландцемент Шуровского завода	Известняк (76), каолин (19), гипс (5)
Сланцеозольный цемент Пунане-Кундского завода	Известняк (77,5), глинистый сланец (17,5), гипс (5)
Песчанистый портландцемент на основе клинкера Ново-Акмянского завода	Портландцементный клинкер (47,5), кварцевый песок (47,5), гипс (5)
Пуццолановый портландцемент на основе клинкера Вольского завода	Портландцементный клинкер (47,5), опока (47,5), гипс (5)
Портландцемент с минеральными добавками на основе клинкера Вольского завода (1)	Портландцементный клинкер (33,3), опока (42,7), доменный шлак (19), гипс (5)
Портландцемент с минеральными добавками на основе клинкера Волковьского завода (2)	Портландцементный клинкер (80), трепел (5), доменный шлак (10), гипс (5)
Белитоалюминатный цемент	Боксит, известняк, гипс (10).
Высокоглинозенистый цемент	Технический глинозем, карбонат кальция
Вяжущее на жидком стекле	Диабазовая мука (98,5), нитрат натрия (1,5)
Вяжущее на стеклобое	Бой строительного стекла (100)

Таблица 2

Содержание элементов в стандартных образцах, масс. %

Элемент	СГД-1А	СГ-1А
Ca	7,84 ±0,06	0,10 ±0,01
Sc	0,0027 ±0,0003	0,0005 ±0,0001
Fe	5,8 ±0,10	1,14 ±0,05
Co	0,004 ±0,0005	0,00014±0,00003
Sb	0,0001	0,00013±0,00003
Cs	0,0004 ±0,00006	0,0012 ±0,0003
Eu	0,0006 ±0,0001	0,00005
Ta	0,00011±0,00004	0,0026 ±0,0006

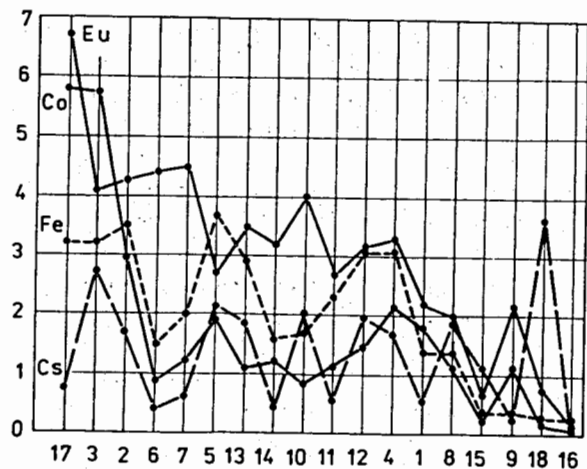


Рис.1. Содержание Fe, Co, Eu и Cs в вяжущих материалах. По оси X: номер материала из табл.4. По оси Y: С — содержание Fe, масс.%; Co, масс.% * 10⁻³; Eu и Cs, масс.% * 10⁻⁴.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Активационный анализ позволил определить содержание микроэлементов, обуславливающих долгоживущую наведенную активность строительных материалов. Кроме европия, кобальта и цезия, определены концентрации элементов, радионуклиды которых с периодом полураспада более 40 дней были идентифицированы в измеренных спектрах.

Содержание химических элементов вычислялось по радионуклидам, ядерные характеристики которых приведены в табл.3 /14/. Эти данные использовались также при расчётах удельной активности материалов.

Определенные в результате анализа концентрации химических элементов в исследуемых материалах приведены в табл.4.

Наименьшие концентрации интересующих нас элементов зарегистрированы в высокоглинозёмистом цементе, наибольшие — в вяжущем на жидком стекле. Как видно из рис.1, различие этих материалов по содержанию европия составляет 33 раза, кобальта — 45 раз, цезия — 38 раз, а железа — 14 раз. Концентрации этих химических элементов, даже в материалах, отнесенных к одной группе, отличаются в достаточно широких пределах. Так, для портландцементов разных заводов различие по содержанию железа составляет почти 10 раз, кобальта — 22 раза, цезия — 14 раз, европия — более 2 раз.

В сырьевых компонентах для производства портландцемента максимальное количество скандия, цезия, европия и тантала содержится в глине, а железа, кобальта и сурьмы — в колчеданных огарках. Концентрация этих элементов в меле и гипсе значительно ниже, чем в глине и колчеданных огарках. Вместе с тем содержание кальция в меле и гипсе в несколько раз выше, чем в глине и колчеданных огарках.

С учётом расхода сырьевых компонентов и концентрации в них железа, кобальта, цезия и европия можно прогнозировать содержание этих элементов в портландцементе клинкера. Сравнение концентраций химических элементов в портландцементе клинкера, полученных в результате расчёта и экспериментальных данных, приведено в табл.5.

Таблица 3

Ядерные характеристики радионуклидов

Радионуклид	Распространенность материнского нуклида, %	Период полураспада, да	Изотопное состояние	Сечение активации тепловыми нейтронами, б, σ_T	Резонансный интеграл, Io, б	Энергия, кэВ, и интенсивность аналитической гамма-линии, %
41 Ca	96,94	$1,3 \cdot 10^5$ лет		0,41	0,22	**
45 Ca	2,08	165 дн.		0,88	0,56	***
47 Ca	0,003	4,54 дн.		0,74	0,32	1296,9(74)
46 Sc	100	84 дн.	M+G	27,2	11,5	889,2(100)
55 Fe	5,8	2,7 года		2,25	1,2	**
59 Fe*	0,31	44,6 дн.		1,28	1,4	1099,2(56)
60 Co	100	5,27 года	M+G	37,45	71,1	1332,4(100)
124 Sb	42,7	60,3 дн.	G+0,8 M1+0,8 M2	4,145	128	1691,0(47,7)
134 Cs	100	2,05 года	M+G	29,0	442	795,8(85,4)
152 Eu*	47,77	12,7 лет	G+M2	5939	3552	1407,5(20,9)
154 Eu	52,23	8,5 лет		603	3414	1274,3(35,5)
182 Ta	99,99	115,1 дн.	M+G	21,5	717	1221,4(27,3)

*)- Содержание железа и европия определялось по интенсивности излучения ^{59}Fe и ^{152}Eu соответственно.

**)- Характеристическое излучение, электроны Оже.

***)- Бета-излучение, $E=7,72 \cdot 10^{-2}$ МэВ.

Таблица 4

Содержание элементов в исследуемых материалах, масс. % $\cdot 10^{-4}$

Материал	Ca, %	Sc	Fe, %	Co	Sb	Cs	Eu	Ta
ВЯЗУЩИЕ МАТЕРИАЛЫ								
Портландцемент:								
1. Вольского з-да	44,2	5,6	1,4	18,1	11,5	0,54	2,2	0,23
2. Нижне-Тагильского з-да	45,9	13,8	3,5	29,6	17,4	1,7	4,2	0,49
3. Каменец-Подольского з-да	49,6	8,8	3,2	57,6	14,3	3,7	4,1	0,55
4. Подольского з-да	45,6	7,9	3,1	21,4	14,5	1,7	3,3	0,46
5. Сухоломского з-да	46,7	7,6	3,7	18,3	18,9	2,1	2,7	0,51
6. Пиколевского з-да		21,9	1,5	8,9	3,7	0,37	4,4	2,6
7. Волновского з-да	46,7	5,6	2,0	12,3	6,6	0,63	4,5	0,27
8. Белгородского з-да	45,2	4,7	1,4	11,6	4,5	1,9	2,0	0,31
9. Белый Шуровского з-да	46,9	3,6	0,39	2,7	1,2	0,26	2,2	0,33
10. Сланцевольный	44,0	8,7	1,7	8,5	2,7	2,0	4,0	0,55
11. Песчаный	22,6	5,3	2,3	11,6	5,5	0,54	2,7	0,30
12. Пуццолановый	23,0	8,6	3,1	15,1	4,9	1,9	3,1	0,50
13. С минеральными добавк. (1)	23,3	28,6	2,9	10,8	3,9	1,8	3,5	2,2
14. С минеральными добавк. (2)	40,5	5,7	1,6	12,6	5,5	0,43	3,2	0,25
15. Белитоалюминатный цемент	24,8	1,5	0,33	3,1	1,2	1,1	0,72	7,0
16. Высокоглиноземистый цемент	16,9	0,34	0,22	1,3	0,62	0,02	0,20	0,02

№ пп	Материал	Ca ^{**} , %	Sc	Fe, %	Co	Sb	Cs	Eu	Ta
17.	Вяжущее на жидком стекле	6,7	30,8	3,2	58,0	0,68	0,76	6,7	0,53
18.	Вяжущее на стёклобое	4,3	0,57	0,30	2,2	16,8	3,6	0,80	0,47
СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ									
Портландцемент Белгородского завода									
19.	- мел	38,6	0,70	0,06	2,1	1,4	0,17	0,76	0,02
20.	- глина	2,0	20,4	2,6	31,5	5,5	5,9	9,5	1,2
21.	- огарки	1,0	5,0	37,8	154	340	1,3	0,69	0,26
22.	- клинкер	46,0	12,7	2,9	17,9	13,5	1,9	3,0	0,63
23.	- гипс	22,5	3,2	0,95	3,4	2,2	0,50	0,62	0,23

10

Погрешность определения концентрации при доверительной вероятности 0,95 не превышает для Sc - 11%; Fe - 4%; Co - 13%; Sb - 23%; Cs - 15%; Eu - 17%; To - 23%.

** Концентрация кальция в материалах приведены по паспортным данным заводов-изготовителей.

Таблица 5

Поступление химических элементов в портландцементный клинкер
Белгородского цементного завода из сырьевых компонентов,

Материал	насс. % * 10 ⁻⁴			
	Fe, %	Co	Cs	Eu
Мел	0,08	2,7	0,22	0,97
Глина	0,76	9,1	1,72	2,75
Огарки	1,70	6,9	-	0,03
Клинкер	2,54/2,9	18,7/18,0	1,94/1,9	3,75/3,0

*) В числителе - расчётные данные, в знаменателе - экспериментальные.

Таблица 6

Вклад радионуклидов в удельную активность портландцемента
Вольского завода, %

Радионуклид	Время выдержки, лет			
	1	5	10	25
41 Ca	0,6	1,6	2,6	6,9
45 Ca	35,6	0,2	-	-
46 Sc	0,2	-	-	-
55 Fe	22,9	20,8	9,2	0,5
60 Co	8,8	13,3	11,0	4,1
134 Cs	0,1	-	-	-
152 Eu	28,4	57,8	70,5	83,2
154 Eu	3,4	6,3	6,7	5,3

Достаточная сходимость результатов расчётного и экспериментального определения концентраций элементов в портландцементном клинкере позволяет сделать вывод о том, что его химический состав практически полностью обусловлен исходными компонентами сырьевой смеси. Исходя из этого, проектирование вяжущих материалов для бетонов радиационной защиты реакторных установок можно осуществлять на основании данных о химическом составе сырьевых компонентов для их производства.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАВЕДЕННОЙ АКТИВНОСТИ МАТЕРИАЛОВ

В данном разделе приводятся результаты расчётов удельной активности материалов, облучённых тепловыми нейтронами с единичной плотностью потока. Это сделано лишь с целью определения доминирующих нуклидов в облученных материалах, а также для сравнения этих материалов по уровню удельной активности.

Для определения суммарной активности материала необходимо учитывать нейтроны как тепловой, так и резонансной групп. Для нейтронов с энергией выше E_{cd} , равной 0,55 эВ в спектре вида $1/E$, используется резонансный интеграл I_0 (см. табл.3):

$$I_0 = \int_{E_{cd}}^{\infty} G(E) \frac{dE}{E}$$

В защите реакторных установок из обычного бетона (т.е. на заполнителях типа известняка, гранита, серпентинита и т.п.) плотность потока нейтронов с $E > 0,55$ эВ примерно в 2-10 раз ниже плотности потока тепловых нейтронов.

Здесь также необходимо отметить следующее. Используемое в наших расчётах сечение активации на тепловых нейтронах σ_T справедливо для нейтронов с $E = 0,025$ эВ. Однако при расчётах спектрально-энергетического распределения нейтронов в защите реакторов их нижняя группа, как правило, находится в диапазоне от 0 до 0,414 эВ.

Поэтому при расчёте активности материалов за счёт нейтронов этой группы корректно будет использовать σ_T с коэффициентом 0,5.

Время облучения в расчётах принималось равным 30 годам, что соответствует нормативному сроку службы реакторных установок.

На рис.2 в качестве примера показано изменение во времени выдержки удельной активности радионуклидов в портландцементе Вольского завода, наведенной тепловыми нейтронами с единичной плотностью потока. После 5 лет выдержки удельную активность портландцемента практически полностью определяют радионуклиды кальция, железа, кобальта и европия.

При времени выдержки более 25 лет вклад радионуклидов европия и кальция в активность портландцемента становится определяющим. Вклад радионуклидов в удельную активность портландцемента Вольского завода в течение времени выдержки от 1 до 25 лет приведен в табл.6.

Для сравнения исследуемых материалов были проведены расчёты изменения во времени выдержки удельной активности портландцемента и его разновидностей, глинозёмистых цементов и вяжущих на жидком стекле и строительном стеклобое. Графики спада удельной активности материалов, наведенной тепловыми нейтронами за 30 лет облучения, приведены на рис.3.

Расчёты показали, что наведенная активность портландцемента и его разновидностей через 5 лет после прекращения облучения находит-

ся в пределах $1,90 \cdot 10^{-5}$ - $5,60 \cdot 10^{-5}$ Бк·г⁻¹, а вклад радионуклидов железа в активность материалов этой группы изменяется от 8 до 23%, европия - от 56 до 87%, а кобальта - от 3 до 20%.

Наиболее выгодно отличаются от портландцемента глинозёмистые цементы. Так, активность белитоалюминатного цемента после 5 лет вы-

держки составляет $7,75 \cdot 10^{-6}$ Бк·г⁻¹, а высокоглинозёмистого цемента-

$2,86 \cdot 10^{-6}$ Бк·г⁻¹, что меньше значений активности нижней границы группы портландцемента в 2,5 и 6,6 раз соответственно.

За время от 1 года до 25 лет выдержки активность вяжущих материалов снижается в 7 - 20 раз.

Определение вклада сырьевых компонентов в удельную активность портландцемента Белгородского завода осуществлялось с учётом их среднего расхода. Как показали расчеты, основной вклад (39 - 68%) в удельную активность портландцемента вносит глина, активность которой определяется радионуклидами железа, кобальта и европия. Вклад колчеданных огарков снижается с увеличением времени выдержки с 22 до 2%. Это объясняется тем, что введение огарков в состав сырьевой смеси обуславливает увеличение содержания в ней железа, радионуклид которого имеет период полураспада 2,7 года.

Мел, расход которого в сырьевой смеси составляет 75-80%, в основном за счет активности радионуклидов европия и кальция на 20-38% определяет активность портландцемента на протяжении 1-25 лет выдержки. Другие материалы, используемые при производстве цемента в виде добавок, применяемых в количестве, не превышающем 3% по массе, не оказывают существенного влияния на химический состав портландцемента, а следовательно, и на его удельную активность.

Полученные экспериментальные результаты позволили оценить влияние вида вяжущих материалов на долгоживущую наведенную активность бетонов. На рис. 4 показана зависимость величины наведенной активности бетона на известняковом заполнителе* от вида используемого вяжущего. Там же для сравнения приведены результаты расчета наведенной активности бетона на серпентините и портландцементе. Как видно из рисунка, удельная активность бетонов на портландцементе и его разновидностях изменяется не более чем в 2 раза и превышает удельную активность бетона на высокоглиноземистом цементе до 5 раз.

*)

Данные по содержанию химических элементов в известняке и серпентините взяты из работы /9/.

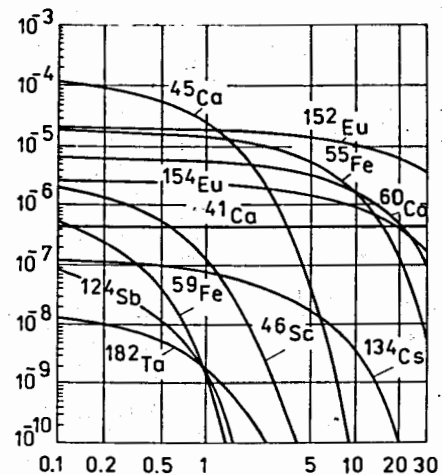


Рис. 2. Изменение во времени выдержки активности радионуклидов в портландцементе Вольского завода после облучения в течение 30 лет потоком тепловых нейтронов единичной плотности. По оси X: время выдержки в годах. По оси Y: удельная активность, Бк * г⁻¹.

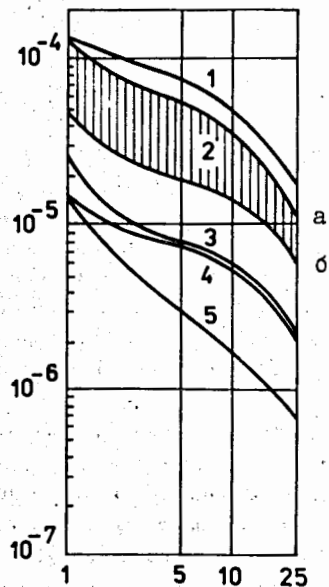


Рис. 3. Изменение удельной активности вяжущих материалов после облучения в течение 30 лет потоком тепловых нейтронов единичной плотности. По оси X: время выдержки в годах. По оси Y: удельная активность, Бк * г⁻¹. 1 - вяжущее на жидком стекле; 2 - портландцементы разных заводов; 3 - белитоалюминатный цемент; 4 - вяжущее на строительном стеклосбое; 5 - высокоглиноземистый цемент; а) портландцемент Каменец-Подольского завода; б) белый портландцемент.

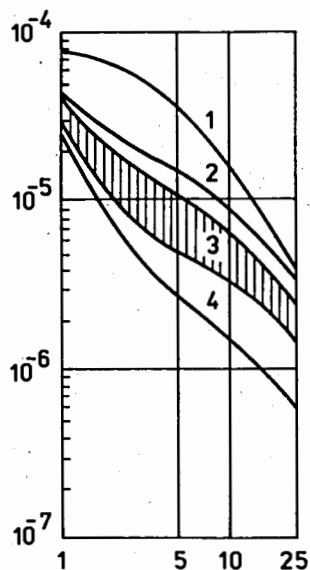


Рис.4. Зависимость удельной активности бетона от вида используемых вяжущих материалов, облученного потоком тепловых нейтронов единичной плотности. По оси X: время выдержки в годах. По оси Y: удельная активность, Бк * г⁻¹. 1 - бетон на серпентините и портландцементе; 2 - бетон на известняке и жидком стекле; 3 - бетоны на известняке и портландцементе разных заводов; 4 - бетон на известняке и высокоглиноземистом цементе.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенной работы показали, что долгоживущая наведенная активность вяжущих материалов и бетонов на их основе, применяемых в защитных конструкциях реакторных установок, после облучения в течение 30 лет и выдержки более 1 года обусловлена радионуклидами кальция, железа, кобальта, европия и цезия. Эти радионуклиды образуются по (n,γ)-реакции под действием тепловых и резонансных нейтронов на изотопах одноименных химических элементов. По мере увеличения срока выдержки вклад радионуклидов европия и кальция в активность вяжущих материалов возрастает.

Разброс концентраций кальция, железа, кобальта, европия и цезия в исследованных вяжущих материалах достаточно велик, вследствие чего их удельная наведенная активность может различаться в 20 - 30 раз. Наименее активизируемы из рассматриваемых в настоящей работе вяжущих материалов являются глиноземистые цементы. Наибольшая удельная активность зафиксирована в вяжущем на основе жидкого стекла с наполнителем из диабазовой муки.

Вяжущие материалы на основе портландцементного клинкера отличаются друг от друга по уровню наведенной активности до 3 раз (см.рис.3). Минимальная активность в этой группе материалов у бело-

го портландцемента, максимальная - у портландцемента Каменец-Подольского завода. Установлено, что основной вклад (75-95%) в активность портландцемента Белгородского завода вносят глинистый и карбонатный компоненты сырьевой смеси. Понизить наведенную активность портландцемента можно путем выбора сырьевых материалов для его производства, имеющих в своем составе меньшее содержание железа, кобальта и европия.

Выбор портландцемента с наименьшим содержанием железа, кобальта и европия позволяет до 2 раз снизить наведенную активность бетона. Применение в качестве вяжущего высокоглиноземистого цемента может уменьшить активность бетона до 5 раз по сравнению с бетонами на портландцементе.

Для окончательных выводов о целесообразности выбора исходных материалов для бетонов радиационной защиты необходимо продолжить исследования вяжущих материалов на основе глиноземистого цемента, гипса и жидкого стекла, а также сырьевых компонентов для производства портландцемента. Это позволит прогнозировать объем и активность отходов и радиационную нагрузку на персонал реакторных установок при снятии их с эксплуатации.

На стадии проектирования реакторных установок следует осуществлять выбор материалов для защитных конструкций с учетом концентрации в них таких элементов, как кальций, железо, кобальт, европий и цезий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Saddington K. Decommissioning of nuclear facilities. Nuclear Power Technology. 1983, v.2, p.335-337.
2. Bartenschlacher R., Bottger D., Casch A., Majohr N. Decommissioning of light-water reactor nuclear power plants. Nuclear Engineering and Design. 1978, v.45, No 1, p.1-51.
3. Simon R. Decommissioning of nuclear power plants. Nuclear News (USA). 1984, v.27, No 9, p.125-128.
4. MITI Nuclear sub-committee formulates standards for reactors decommissioning. Atom in Japan. 1985, v.29, No 7, p.8-13.
5. Енговатов И.А. Строительные материалы и конструкции радиационной защиты в проблеме прекращения эксплуатации АЭС. Вопросы атомной науки и техники. Сер. Проектирование и строительство. 1988, Вып.2, с. 47-60.
6. Енговатов И.А., Лавданский П.А., Стефанов Н.И.

Выбор строительных материалов и конструирование радиационной защиты ядерных реакторов с учётом прекращения их эксплуатации. Вопросы атомной науки и техники. Сер. Проектирование и строительство. 1986, вып.3, с.3-8.

7. Zsolnay E.M., Csom Gy., Szondi E.J. Activation and Decay Characteristics of Radiation Shielding Heavy Concretes Nuclear Training Reactor of the Technical University, Budapest, Received February 8, 1982. Periodica Polytechnica. v.26, No 1-2, p.47-75.
8. Francioni W.M., Reidinger F., Gorlich W. Gemessene Verteilung der Aktivierungsprodukte, einschließlich Tritium, in der biologischen Abschirmung des stillgelegten Forschungsreaktors DIORIT. Atomkernenergie-Kerntechnik, 1986, v.49, No 1-2, p.95-99.
9. Лавданский П.А., Назаров В.М., Стефанов Н.И., Фронтасьева М.В. Наведенная активность бетона, применяемого для защиты ядерных установок. Атомная энергия, 1988, т.64, с.419-422.
10. Бабошин Н.Г., Енговатов И.А., Лавданский П.А., Стефанов Н.И. Долгоживущая радиоактивность бетонов защитных конструкций реакторных установок. Вопросы атомной науки и техники. Сер. Проектирование и строительство. 1988, вып.2, с.105-108.
11. Назаров В.М. и др. Каналы для облучения и пневмотранспортная установка на ИЕР-2. В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, № 6-85, Дубна, 1985, с. 37-41.
12. Ернаков В.А., Зинин Г.Н., Назаров В.М. и др. Измерительный модуль для элементарного анализа и радиационных исследований на ИЕР-2. Препринт ОИЯИ, 13-85-161, Дубна, 1985.
13. Zlokazov V.V. ACTIV - a program for automatic of Gamma-ray Spectra. Computer Physics Communication. 1982, v. 28, p. 27-40.
14. Gryntakis E., Cullen D.E., Mundy G. Thermal Neutron Cross-Sections and Infinite Dilution Resonance Integrals. Handbook on Nuclear Activation Data. IAEA. VIENNA. 1987, p. 199-256.

Рукопись поступила в издательский отдел
13 марта 1990 года.