



Расчеты радиационных характеристик облученного графита реакторов РБМК

*Г.Б. Давыдова, Л.Н. Захарова, А.В. Краюшкин
НИЦ “Курчатовский институт”*



Собственная активность графита

Расчеты – MCNP + CHAIN

Таблица 1. Начальный состав графита.

Элемент	%(масс.)	Элемент	%(масс.)
Fe	0,6E-3	O	1,8E-3
Mg	0,5E-4	N	4,0E-4
Mn	0,5E-4	Ag	2,0E-6
Al	0,2E-3	Li	1,0E-3
Ti	0,8E-4	Co	1,2E-6
Cu	0,3E-4	Zr	7,0E-4
Ni	3,0E-5	Cl	3,0E-3
Ca	1,0E-3	Cd	1,5E-4
B	0,3E-3	C	ост.
H	1,1E-3		

Таблица 2. Длительность работы реактора 1-го блока ЛАЭС на топливе разного типа.

Тип топлива	P, МВт сут/кг	Период, годы	Длительность, лет
1,8%, 2 %	10,697	1973-1987	14
2,4 %	12,075	1988-1999	12
2,6 % +0,41% Er	13,688	2000-2006	7
2,8 % +0,5% Er	15,355	2007-2012	5,5



Таблица 3. Средняя удельная активность графитовой кладки (Бк/г).

	Нуклид							
	³ H	¹⁴ C	⁴¹ Ca	⁴⁶ Sc	⁵⁴ Mn	⁵⁵ Fe	⁵⁹ Fe	⁶⁰ Co
1сут.	1,41E+07	1,25E+05	3,83E+02	3.63E+04	8,78E+02	1,28E+05	9,57E+03	5,29E+04
30сут.	1,41E+07	1,25E+05	3,83E+02	2.86E+04	8,23E+02	1,25E+05	6,09E+03	5,24E+04
90сут.	1,39E+07	1,25E+05	3,83E+02	1.74E+04	7,21E+02	1,20E+05	2,39E+03	5,12E+04
180сут.	1,37E+07	1,25E+05	3,83E+02	8.28E+03	5,91E+02	1,13E+05	5,92E+02	4,96E+04
270сут.	1,35E+07	1,25E+05	3,83E+02	3.92E+03	4,83E+02	1,06E+05	1,45E+02	4,80E+04
1год	1,34E+07	1,25E+05	3,83E+02	1.79E+03	3,92E+02	9,92E+04	3,30E+01	4,64E+04
2года	1,26E+07	1,25E+05	3,83E+02	8.74E+01	1,74E+02	7,69E+04	1,12E-01	4,07E+04
3года	1,19E+07	1,25E+05	3,83E+02	4.27E+00	7,75E+01	5,97E+04	3,80E-04	3,57E+04
Нуклид								
T _{выдержки}	Нуклид						Полная	
	⁵⁹ Ni	⁶³ Ni	⁹⁵ Zr	⁹⁵ Nb	^{110m} Ag	^{113m} Cd		
1сут.	2,32E+01	5,36E+03	1,10E+04	9,43E+03	2,68E+01	2,52E+03	1,45E+07	
30сут.	2,32E+01	5,36E+03	8,01E+03	9,36E+03	2,48E+01	2,51E+03	1,44E+07	
90сут.	2,32E+01	5,35E+03	4,19E+03	6,70E+03	2,10E+01	2,49E+03	1,42E+07	
180сут.	2,32E+01	5,34E+03	1,59E+03	3,07E+03	1,63E+01	2,46E+03	1,40E+07	
270сут.	2,32E+01	5,34E+03	5,96E+02	1,24E+03	1,27E+01	2,43E+03	1,38E+07	
1год	2,32E+01	5,33E+03	2,13E+02	4,59E+02	9,77E+00	2,40E+03	1,36E+07	
2года	2,32E+01	5,29E+03	4,10E+00	9,02E+00	3,55E+00	2,28E+03	1,29E+07	
3года	2,32E+01	5,25E+03	7,87E-02	1,74E-01	1,29E+00	2,17E+03	1,22E+07	



Рис. 1. Накопление ^{14}C в графите кладки в процессе эксплуатации реактора.

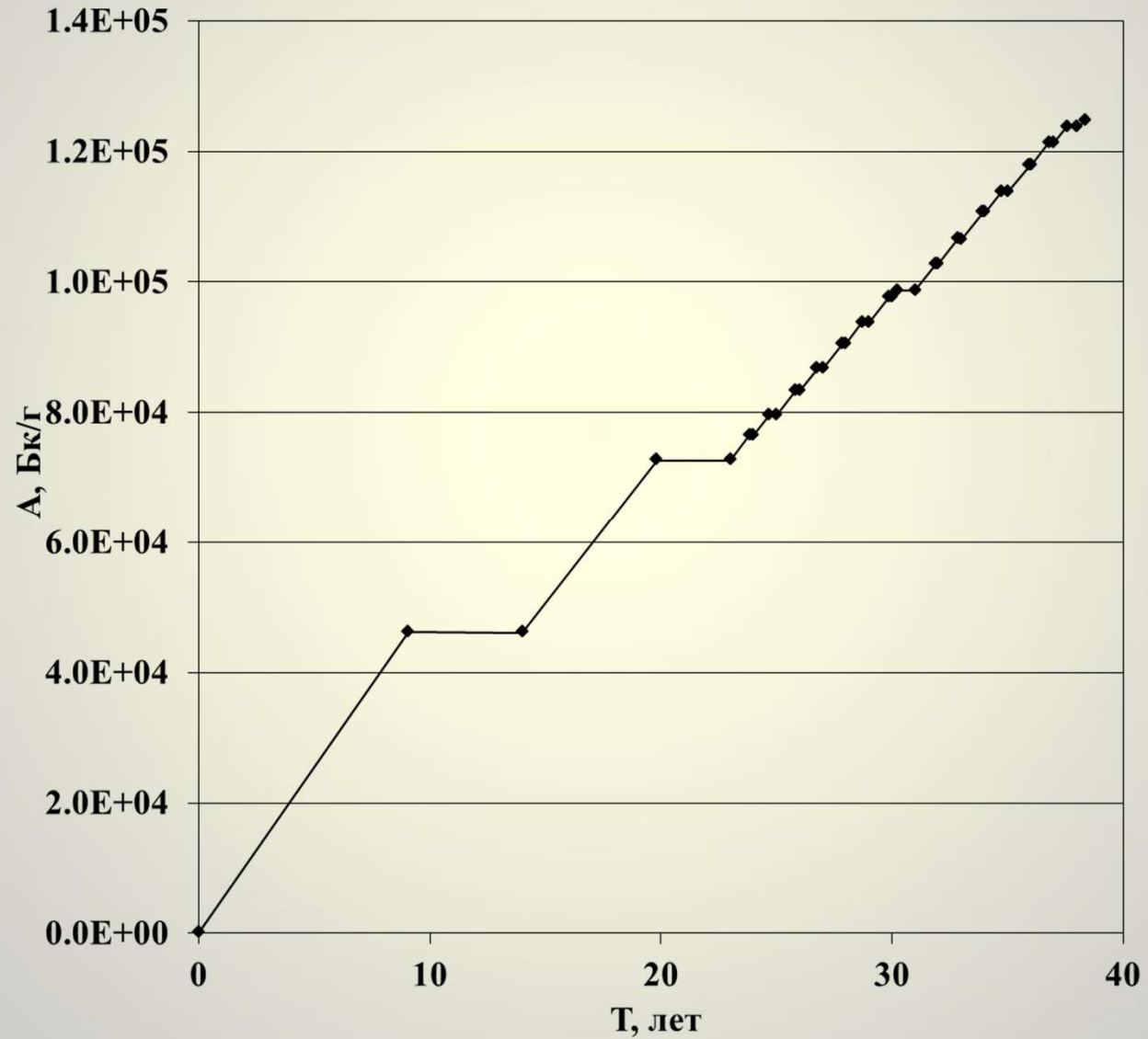




Рис. 2. Изменение удельной активности ^3H в графите в процессе эксплуатации реактора.

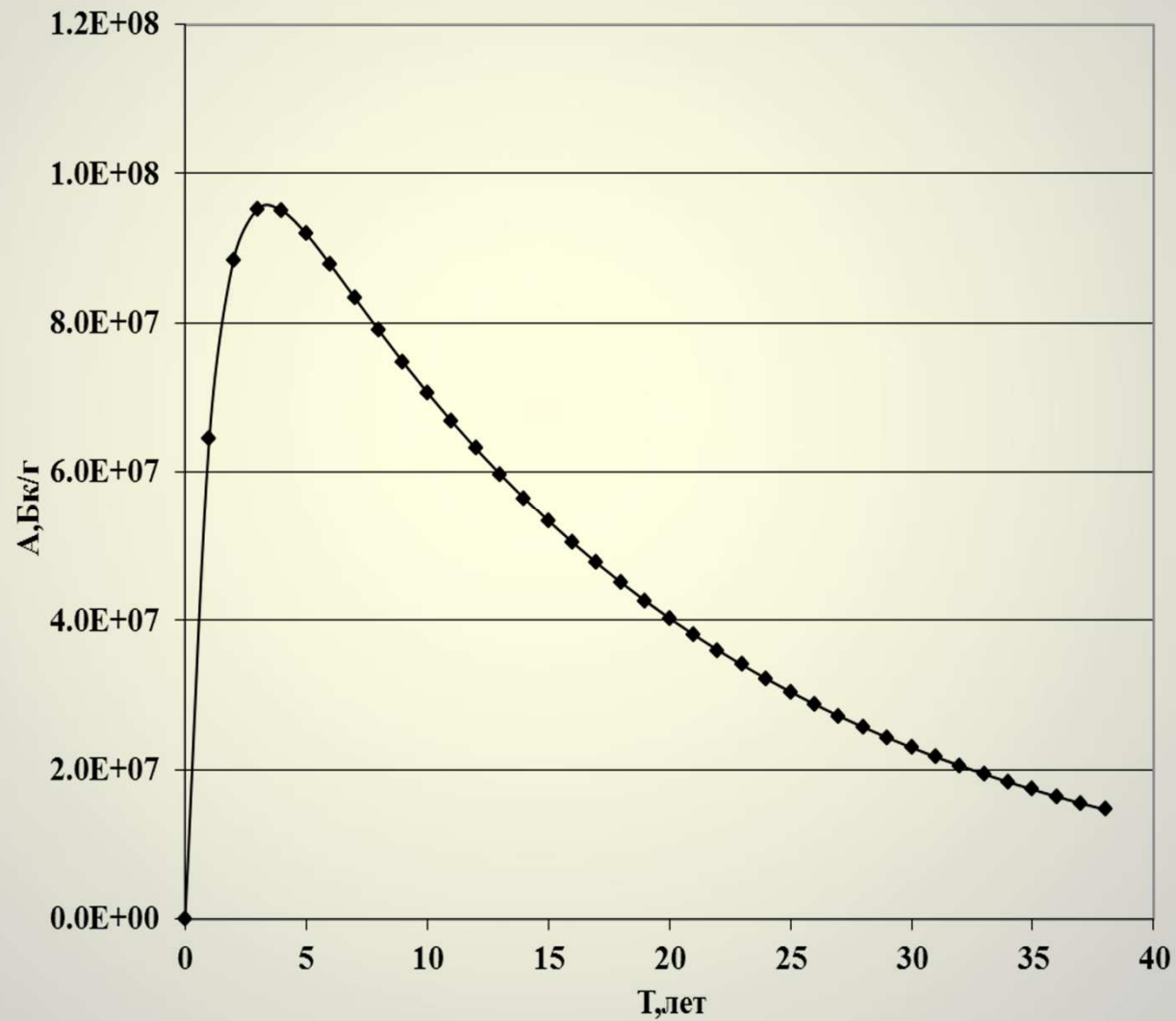




Рис. 3. Изменение удельной активности ^{60}Co в графите в процессе эксплуатации реактора.

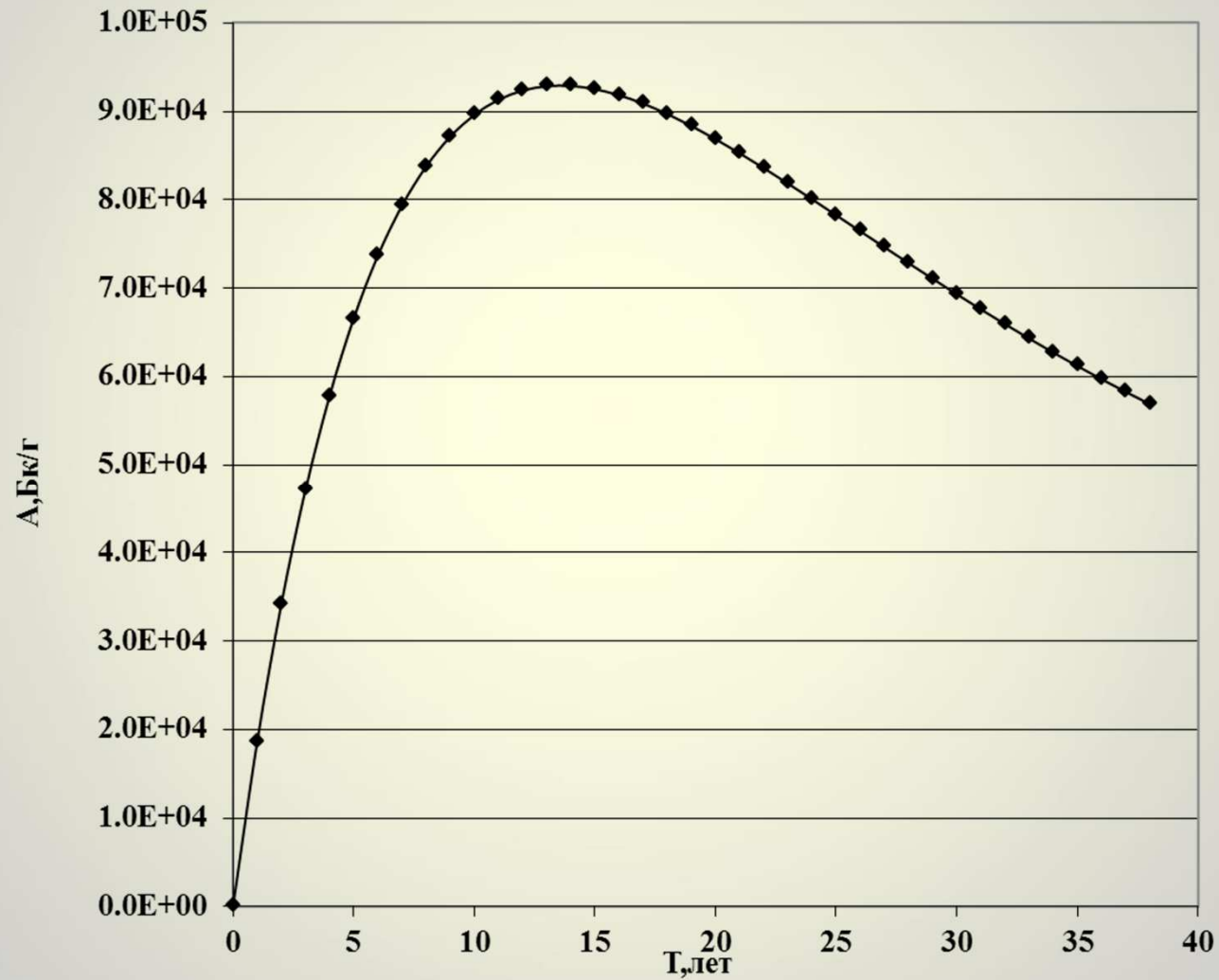




Таблица 4. Средняя удельная активность ^{36}Cl в графитовой кладке в зависимости от исходного содержания хлора.

Источник	Cl, % (масс.)	A, Бк/г
/1/	3,0e-3	1,687e+4
/2/	1,5e-3	8,434e+3
/3/	ГР 3,2e-3 ЭГП 1e-5	1,799e+4 (ГР)

В работе /2/ расчетная активность ^{36}Cl составляет 8,76 10^3 Бк/г, что хорошо согласуется с величиной, полученной в наших расчетах для того же исходного содержания хлора в графите.

1. Свойства конструкционных материалов на основе углерода. Справочник под редакцией В.П.Соседова. Москва, «Металлургия», 1975 г.
2. Буланенко В.И., Фролов В.В., Николаев А.Г. Радиационные характеристики графита снятых с эксплуатации уран-графитовых реакторов. Атомная энергия, т.81, вып.4, окт.1996.
3. Вергильев Ю.С. Примеси в реакторном графите и его работоспособность. Атомная энергия, т.84, вып.1, янв.1998.



По величине удельной активности ^{14}C , а также и ^{36}Cl , графит следует отнести ко второму классу радиоактивных отходов в соответствии с Постановлением правительства РФ от 19.10.2012 №1069 (удельная активность от 10^4 до 10^7 Бк/г для отходов, содержащих β -излучающие нуклиды периодом полураспада более 30 лет). Эти отходы подлежат глубинному захоронению.



Из-за пространственного распределения плотности потока нейтронов часть графита может иметь меньшую удельную активность ^{14}C и ^{36}Cl , при которой графит попадает класс 3 отходов, которые могут быть захоронены в приповерхностных хранилищах.

Проведенные расчетные оценки показывают, что к классу 3 может быть отнесено около 7% графитовых блоков, относящихся к последнему ряду колонн бокового отражателя.



Эксперименты по активности ^{14}C и ^3H .

Необходимо отметить, что экспериментально полученные удельные активности ^{14}C и ^3H приведены в [4], но они относятся к графиту промышленных реакторов. В [4] было получено:

активность ^3H $(3,4 \pm 0,5) \cdot 10^3$ Бк/г

(расчет для промышленного реактора $3,2 \cdot 10^6$ Бк/г, наш расчет для РБМК $1,4 \cdot 10^7$ Бк/г);

активность ^{14}C $(1,2 \pm 0,2) \cdot 10^6$ Бк/г

(расчет для промышленного реактора $4,2 \cdot 10^5$ Бк/г, наш расчет для РБМК $1,25 \cdot 10^5$ Бк/г).



Таблица 5. Оценка мощности дозы от одиночного графитового блока из зоны плато в зависимости от расстояния и времени выдержки (мЗв/час).

(Приведенные данные показывают, что “ручные работы” с графитом невозможны).

Расстояние, см	Длительность выдержки, лет				
	1	5	10	20	30
10	20,2	11,9	6,2	1,7	0,5
100	1,1	0,6	0,3	0,1	$0,2 \cdot 10^{-2}$



Выводы

- 1). Основным радионуклидом, определяющим дозу гамма-излучения, является ^{60}Co . На начальном интервале заметный вклад дает также ^{46}Sc . Вместе эти два радионуклида дают около 80% вклада в мощность дозы гамма-излучения.
- 2). Удельная активность ^{14}C , согласно расчету, находится на уровне $1,25 \cdot 10^5$ Бк/г без учета возможного вклада от азота газовой продувки кладки. Его учет может увеличить приведенную активность вдвое.
- 3). Расчетная удельная активность ^3H составляет $1,4 \cdot 10^7$ Бк/г без учета возможного ухода ^3H из кладки.
- 4). Удельная активность ^{36}Cl составляет $(0,8 \div 1,7) \cdot 10^4$ Бк/г в зависимости от содержания хлора в графите.
- 5). Экспериментальное определение активностей ^{14}C , ^3H и ^{36}Cl в графите РБМК представляется актуальной задачей. Такие экспериментальные данные для графита РБМК отсутствуют. Представляет интерес также и экспериментальное определение активностей отдельных продуктов деления и трансурановых нуклидов, хотя некоторые данные по продуктам деления для них уже имеются.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ