

УДК 621.039.512:621.039.58

ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ КРИТИЧЕСКИХ СБОРОК С ПОГЛОТИТЕЛЕМ НЕЙТРОНОВ В ПОЛОСТИ

*Колесов В.Ф., Босамыкин В.С., Хоружий В.Х., Юдинцев В.Ф.
(РФЯЦ — ВНИИЭФ)*

При анализе последствий постулируемых инцидентов на реакторах и критических сборках важное значение имеет оценка предельного энерговыделения в этих событиях. Еще в 50—60-е годы были разработаны приближенные методы для проведения таких оценок [1, 2]. Были выполнены также полномасштабные прямые расчеты энерговыделения в различных сильно надкритичных сборках [3].

В указанных публикациях и некоторых других работах затрагивалось также влияние полостей в активной зоне на энерговыделение во вспышках, сопровождаемых плавлением и испарением топливного материала. Некоторые из этих работ имели целью достижение уверенности в отсутствии опасных эффектов автокатализа, которые в принципе возможны в системах с большими объемами пустот, быстро заполняемых превращающимся в газ веществом активной зоны. Явления автокатализа не были замечены: слабый положительный реактивный эффект от заполнения материалом активной зоны внутренних пустот во много раз перекрывался сильным отрицательным эффектом от ее разлета.

Настоящая статья также связана с расчетами параметров вспышек делений в критических сборках. Но в отличие от прежних работ ее основная направленность заключается в прослеживании влияния на энерговыделение вспышек различных заполнителей центральной полости. Наибольшее число вариантов расчета относится к системам с заполнителем в виде ^{10}B , интенсивно поглощающим замедленные нейтроны.

Из расчетов следует, что дляборок этого типа характерен своеобразный эффект автокатализа, приводящий к резкому увеличению энерговыделения во вспышке. Эффект проявляется в уменьшении эффективного коэффициента гашения реактивности, а не в возрастании надкритичности системы в процессе вспышки. Конкурируя с влиянием на реактивность разлета активной зоны, автокаталитический эффект на начальном этапе вспышки в значительной степени его нейтрализует и в результате затягивает пребывание системы в надкритическом состоянии. Этот эффект может во много раз увеличивать масштаб постулируемых аварий.

Как стало известно из недавней публикации [4], эффект, аналогичный рассмотренному, обсуждался учеными США при разработке конструкций первых атомных бомб (предложение Э. Теллера). Тем не менее, по всей видимости, многие специалисты реакторной науки и техники об указанном эффекте не знают, точнее, не знают об эффекте освобождения при имплозии связанной бором реактивности. (Большой реактивный эффект от внесения в полость экранированных бором водородсодержащих образцов хорошо известен.) Только этим можно объяснить, например, тот факт, что поверхности полостей для облучения образцов во многих действующих (или действовавших ранее) импульсных реакторах облицовываются экранами из бора, кадмия или гадолиния [5, 6].

Постановка расчетов. Начальные конфигурацииборок. Приведенные в статье расчетные данные относятся в основном к сферическим сборкам из металлического

урана с большой центральной полостью и вольфрамовым отражателем, служащим для частичного сдерживания разлета активной зоны (табл. 1). Начальная надкритичность сборок $\Delta k_{эф} = k_{эф} - 1$ устанавливалась в диапазоне от 0,005 до 0,05 ($k_{эф}$ — коэффициент размножения мгновенных нейтронов). Расчеты проводили по одномерной нейтронно-газодинамической программе, перенос нейтронов в которой описывается с помощью многогруппового дискретного S_n -метода [7]. Во вспомогательных расчетах использовали одномерную многогрупповую программу переноса нейтронов на основе метода сферических гармоник и программу Монте-Карло МК [8]. Цель вспомогательных расчетов — определение начальных конфигураций сборок, соответствующих заданным начальным значениям $k_{эф}$. Расчет начальных конфигураций выполнялся с помощью нейтронных констант, которые в дальнейшем использовали в расчетах всплеск делений по нейтронно-газодинамической программе. При переходе к расчетам по нейтронно-газодинамической программе в найденные начальные конфигурации вводили коррективы, обеспечивающие получение той же, что и во вспомогательных расчетах, начальной временной постоянной размножения нейтронов $\lambda(0)$ ($\lambda(0) = \Delta k_{эф}(0)/\tau$, где τ — время жизни мгновенных нейтронов в сборке). В расчетах всплеск делений предполагали, что начальная реактивность вводится мгновенно.

Т а б л и ц а 1. Начальный радиус и материальный состав сборки*

Номер сборки	Характеристика	Область				
		1	2	3	4	5
1	Состав	Пустота	^{235}U 0,9, ^{238}U 0,1			
	R	12	16,923			
	ρ	—	18,7			
2	Состав	Пустота	^{235}U 0,9, ^{238}U 0,1	W		
	R	12	14,903	19,903		
	ρ	—	18,7	19,35		
3	Состав	Пустота	^{235}U 0,9, ^{238}U 0,1	Be		
	R	12	14,661	19,661		
	ρ	—	18,7	1,85		
4	Состав	Пустота	^{10}B	^{235}U 0,9, ^{238}U 0,1	W	
	R	11	12	15,893	20,893	
	ρ	—	3	18,7	19,35	
5	Состав	Пустота	Be	^{10}B	^{235}U 0,9, ^{238}U 0,1	Fe
	R	3	11	12	16,709	21,709
	ρ	—	1,85	3	18,7	7,8
6	Состав	Пустота	Be	^{10}B	^{235}U 0,9, ^{238}U 0,1	W
	R	3	11	12	16,205	21,205
	ρ	—	1,85	3	18,7	19,35
7	Состав	H	Be	^{10}B	^{235}U 0,9, ^{238}U 0,1	W
	R	8	11	12	16,251	21,251
	ρ	0,04	1,85	3	18,7	19,35
8	Состав	H	^{10}B	^{235}U 0,9, ^{238}U 0,1	W	
	R	11	12	16,356	21,356	
	ρ	0,04	3	18,7	19,35	

Окончание табл. 1

Номер сборки	Характеристика	Область				
		1	2	3	4	5
9	Состав	H	^{10}B	^{235}U 0,9, ^{238}U 0,1		
	R	11	12	18,333		
	ρ	0,04	3	18,7		
10	Состав	Пустота	^{235}U 0,9, ^{238}U 0,1	W		
	R	5	9,201	14,201		
	ρ	—	18,7	19,35		
11	Состав	H	^{10}B	^{235}U 0,9, ^{238}U 0,1	W	
	R	4	5	9,934	14,934	
	ρ	0,04	3	18,7	19,35	
12	Состав	Пустота	^{235}U 0,9, ^{238}U 0,1			
	R	12	16,79			
	ρ	—	18,7			
13	Состав	H	^{10}B	^{235}U 0,9, ^{238}U 0,1		
	R	11	12	18,183		
	ρ	0,04	3	18,7		
14	Состав	Пустота	^{235}U 0,9, ^{238}U 0,1			
	R	12	16,716			
	ρ	—	18,7			
15	Состав	H	^{10}B	^{235}U 0,9, ^{238}U 0,1		
	R	11	12	18,085		
	ρ	0,04	3	18,7		
16	Состав	Пустота	^{235}U 0,9, ^{238}U 0,1			
	R	12	16,643			
	ρ	—	18,7			
17	Состав	H	^{10}B	^{235}U 0,9, ^{238}U 0,1		
	R	11	12	17,991		
	ρ	0,04	3	18,7		
18	Состав	Пустота	^{235}U 0,9, ^{238}U 0,1	W		
	R	12	14,706	19,706		
	ρ	—	18,7	19,35		
19	Состав	H	^{10}B	^{235}U 0,9, ^{238}U 0,1	W	
	R	11	12	16,12	21,12	
	ρ	0,04	3	18,7	19,35	

* R — внешний радиус области, см; ρ — плотность, г/см³; для областей с ураном указана массовая доля ^{235}U и ^{238}U .

Параметры вспышек делений в сборках. Нейтронные и динамические параметры вспышек делений в сборках с указанными в табл. 1 начальными конфигурациями приведены в табл. 2. Представлены масса делящегося материала в активной зоне M , начальный коэффициент размножения нейтронов $k_{\text{эф}}(0)$ и соответствующая ему $\lambda(0)$, энерговыделение во вспышке Q . Приведены также максимальные в течение вспышки делений значения температуры $T_{\text{макс}}$ и давления $p_{\text{макс}}$ в материале активной зоны. Приближенная ширина вспышки делений на половине высоты $\theta_{1/2}$ оценивалась как частное от деления флюенса нейтронов на пиковую плотность потока.

Т а б л и ц а 2. Параметры сборок и вспышек делений в них

Номер сборки	M , кг	$k_{эф}(0)$	$10^6 \lambda(0)$, c^{-1}	Q , ГДж	$T_{макс}$ КЭВ	$10^{-4} \rho_{макс}$ ГПа	$10^7 \theta_{1/2}$, с
1	244	1,05	4,45	1043	0,13	25	8,0
2	124	1,05	2,16	130	0,05	0,002	21
3	111,5	1,05	1,9	27,8	0,021	0,0064	23
4	179	1,05	3,55	$0,48 \cdot 10^4$	0,41	33	14
5	230	1,05	4,65	$0,46 \cdot 10^4$	0,34	9,5	9
6	198	1,05	3,99	$0,84 \cdot 10^4$	0,55	16	12
7	201	1,05	4,19	$1,19 \cdot 10^4$	0,69	44	11
8	207	1,05	4,25	$2,97 \cdot 10^4$	1,3	67	7
9	347	1,05	7,4	$1,64 \cdot 10^4$	0,57	88	5,5
10	51,2	1,05	4,0	230	0,140	—	—
11	67	1,05	4,8	1870	0,430	—	—
12	235	1,025	2,2	78	0,028	—	—
13	336	1,025	3,6	1978	0,156	—	—
14	231	1,015	1,4	12,2	0,0097	—	—
15	328	1,015	2,3	452	0,065	—	—
16	226	1,005	0,43	0,196	0,00074	—	—
17	321	1,005	0,8	19,9	0,011	—	—
18	114	1,005	0,2	0,065	0,0005	—	—
19	193	1,005	0,4	2580	0,270	—	—

Анализ результатов расчета. Вначале целесообразно остановиться на данных для наиболее представительных сборок с полостями радиусом 12 см и $k_{эф}(0) = 1,05$ (сборки под номерами 1—9).

Сравнение параметров сборок 2 и 4 в табл. 1, 2 показывает, что размещение в полости сборки 4 слоя $^{10}\text{В}$ толщиной 1 см приводит к значительному, почти полуторакратному росту массы урана в активной зоне и 37-кратному увеличению энерговыделения во вспышке при той же, что и в сборке 2, начальной надкритичности. Введение в полость в дополнение к бору замедлителя нейтронов в виде газообразного водорода или твердого бериллия (сборки 6—8) еще немного (в пределах 15%) повышает загрузку урана и существенно увеличивает энерговыделение во вспышке. В качестве средства повышения энерговыделения водород значительно более эффективен, чем бериллий. Энерговыделение в сборке 8, содержащей водород и $^{10}\text{В}$, в 230 раз превышает энерговыделение в сборке 2 без замедлителя и поглотителя нейтронов.

Сравнение данных для сборок 5 и 6 показывает значительно большую эффективность вольфрама в качестве материала для отражателя нейтронов в сравнении с железом. Замена в отражателе железа вольфрамом, во-первых, заметно снижает загрузку урана (с 230 до 198 кг) и, во-вторых, в 1,84 раза повышает энерговыделение во вспышке. Первое отличие вольфрама связано с его более благоприятными в сравнении с железом ядерными свойствами, второе — с большей механической инерционностью, сдерживающей разлет материала активной зоны.

Большая эффективность отражателя из вольфрама в сравнении с отражателем из бериллия видна из сопоставления данных для сборок 2 и 3. В сборках 1, 9 нет отражателя, сдерживающего разлет материала активной зоны. Влияние разлета активной зоны, конкурирующего с автокаталитическим эффектом, оказывается в этом случае

более существенным, чем в сборках с отражателем. Тем не менее и в сборке 9 проявления автокаталитического эффекта значительны. Увеличение энерговыделения во вспышке в результате помещения в полость замедлителя и бора в этом случае примерно 16-кратное.

Речь шла о сборках с $k_{эф}(0) = 1,05$ и полостью радиусом 12 см (сборки 1—9). Расчеты для других систем (сборки под номерами 10—19) преследовали цель определить зависимость исследуемого эффекта от радиуса полости и $k_{эф}(0)$. В сборках 10, 11 с $k_{эф}(0) = 1,05$ и отражателем из вольфрама радиус полости принят равным 5 см. В сборках 12—19 радиус полости, как в большинствеборок, взят равным 12 см, но $k_{эф}$ уменьшен: принят равным последовательно 1,025, 1,015 и 1,005. Данные для этихборок свидетельствуют о значительном снижении влияния автокаталитического эффекта на энерговыделение за вспышку с уменьшением радиуса полости и о столь же существенном увеличении этого влияния при снижении надкритичности $\Delta k_{эф}(0)$.

В сборке 9 с $\Delta k_{эф}(0) = 0,05$, отражателем из вольфрама и полостью радиусом 12 см автокаталитический эффект, как уже отмечалось, приводит к возрастанию энерговыделения в 230 раз, в аналогичной сборке 11 с полостью радиусом 5 см — только в 8 раз. В сборке 19, отличающейся от системы 9 лишь начальной надкритичностью $\Delta k_{эф}(0)$, равной 0,005, энерговыделение за вспышку благодаря автокаталитическому эффекту возрастает примерно в 40 тысяч раз. Зависимость влияния автокаталитического эффекта на энерговыделение от $\Delta k_{эф}(0)$ более подробно прослежена на сборках без отражателя. В сборках 9, 13, 15 и 17 без отражателя, с полостью радиусом 12 см и $\Delta k_{эф}(0)$, равным 1,05, 1,025, 1,015 и 1,005, влияние автокаталитического эффекта имеет следствием увеличение энерговыделения за вспышку в 16, 25, 37 и 100 раз соответственно. (Для надкритичности $\Delta k_{эф}(0) < 0,005$ расчеты не проводили. В этом случае потребовалось бы слишком большое расчетное время и могли возникать неточности в уравнениях состояния.)

Следует отметить, что в большинстве вариантов выполненных расчетов ни в один из моментов вспышки делений коэффициент размножения нейтронов $k_{эф}(t)$ не превосходит его начального значения $k_{эф}(0)$. Таким образом, повышение энерговыделения в сборках при наличии бора происходит из-за снижения скорости уменьшения $k_{эф}$ во вспышке, а не вследствие повышения надкритичности системы, т.е. в результате более длительного пребывания системы в надкритическом состоянии.

Рассмотренные проявления автокатализа в сборках с полостями объясняются тем, что при схлопывании полости освобождается реактивность, связанная бором в исходной геометрии. Бор, размещенный вдоль границы большой центральной полости в активной зоне, в исходной геометрии действует как мощный поглотитель нейтронов. Импульсия при вспышке делений во много раз уменьшает размеры оболочки из бора, и в соответствии с уменьшением телесного угла видимости оболочки из представительных точек уранового массива ее роль как поглотителя нейтронов резко снижается. (Справедливость этого заключения очевидна, если слой бора является черным поглотителем замедленных нейтронов уже в исходной конфигурации или становится таковым на первых фазах импульсии.)

На примере несколькихборок с искусственной конфигурацией было показано, что при наличии в активной зоне бора освобождаемая во время схлопывания полости реактивность может составлять 15—20% $k_{эф}(0)$. В этих целях были рассмотрены гипотетические системы, получаемые из сборки 2 ($^{10}\text{В}$ отсутствует) и сборки 4 (имеется слой $^{10}\text{В}$) в результате уменьшения радиуса полости в условиях закрепления внешней границы активной зоны и сохранения ее массы при однородном распределении плот-

ности урана в объеме. Были рассчитаны $k_{эф}$ для таких систем. В случае сборки 2, не содержащей бора, уменьшение внутреннего радиуса активной зоны до нуля привело бы к сравнительно небольшому росту $k_{эф}$, а именно от 1,05 до 1,073. В случае сборки 4, содержащей бор, при внутреннем радиусе 12, 7, 3 и 1 см был получен $k_{эф}$, равный 1,05, 1,11, 1,21 и 1,23 соответственно.

Системы с поглотителями из кадмия и европия. Выше в качестве материала, связывающего реактивность в сборках с большими полостями, рассматривался $^{10}\text{В}$. Потенциально перспективными для этой цели могут быть также другие материалы, отличающиеся большим сечением захвата тепловых и промежуточных нейтронов, — вещества типа гадолиния, самария, европия, гафния, кадмия.

Заключение о возможности использования этих материалов в качестве средства связывания реактивности может быть сделано на основании простых статических расчетовборок. Для этой цели следует вначале подобрать размеры системы с водородом и слоем поглотителя, соответствующие $k_{эф} = 1,05$, а затем рассчитать $k_{эф}$ этой сборки в отсутствие водорода и слоя поглотителя. Разность двух указанных значений $k_{эф}$ и является приближенной мерой связывания реактивности.

К настоящему времени такие расчеты выполнены только для систем с кадмием и европием.

В расчете для систем с водородом и металлическими слоями европия и кадмия толщиной 1 см (рис. 1), такой же, как толщина слоя бора в рассмотренных ранее

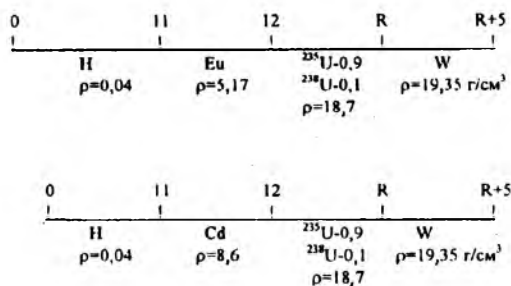


Рис. 1. Конфигурацияборок с европием и кадмием

и кадмием поглотитель связывает реактивность на уровне $\Delta k_{эф}$ 0,11 и 0,02. В системе с европием эффект связывания реактивности большой, хотя и не достигает уровня эффекта в системе с $^{10}\text{В}$. В системе с кадмием эффект поглотителя незначителен в сравнении с эффектом от $^{10}\text{В}$ и европия. Последний результат свидетельствует о недостаточной эффективности кадмия в роли поглотителя в рассматриваемых системах. По всей видимости, это связано с тем, что кадмий интенсивно поглощает только тепловые нейтроны и поэтому эффект от его применения не может превзойти эффект от присутствия водорода, повышающего реактивность сборки.

Эффект реактивности в сборках с активной зоной из смеси урана с полиэтиленом. Были выполнены также расчетные оценки реактивности, связываемой бором, в системах с замедленным спектром нейтронов. В этих целях рассматривались критические сборки с активной зоной из гомогенной смеси урана 90%-ного обогащения по ^{235}U с полиэтиленом. Конфигурацияборок показана на рис. 2. За меру реактивности, связываемой бором, принималась разница между коэффициентом размножения ней-

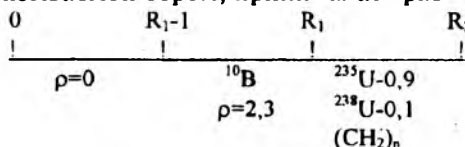


Рис. 2. Конфигурация критическихборок с активной зоной из смеси урана с полиэтиленом

сборках, внешний радиус активной зоны R_2 , соответствующий $k_{эф} = 1,05$, получен равным 15,6225 см ($\lambda = 2,99 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$, $M = 163 \text{ кг}$) для европия и 15,065 см ($\lambda = 1,01 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$, $M = 132 \text{ кг}$) для кадмия. Значения $k_{эф}$ этих систем в отсутствие водорода и поглотителя нейтронов найдены равными 1,159 ($\lambda = 0,925 \cdot 10^7 \text{ с}^{-1}$) и 1,07 ($\lambda = 0,37 \cdot 10^7 \text{ с}^{-1}$).

Таким образом, в системах с европием и кадмием поглотитель связывает реактивность на уровне $\Delta k_{эф}$ 0,11 и 0,02. В системе с европием эффект связывания реактивности большой, хотя и не достигает уровня эффекта в системе с $^{10}\text{В}$. В системе с кадмием эффект поглотителя незначителен в сравнении с эффектом от $^{10}\text{В}$ и европия. Последний результат свидетельствует о недостаточной эффективности кадмия в роли поглотителя в рассматриваемых системах. По всей видимости, это связано с тем, что кадмий интенсивно поглощает только тепловые нейтроны и поэтому эффект от его применения не может превзойти эффект от присутствия водорода, повышающего реактивность сборки.

Эффект реактивности в сборках с активной зоной из смеси урана с полиэтиленом. Были выполнены также расчетные оценки реактивности, связываемой бором, в системах с замедленным спектром нейтронов. В этих целях рассматривались критические сборки с активной зоной из гомогенной смеси урана 90%-ного обогащения по ^{235}U с полиэтиленом. Конфигурацияборок показана на рис. 2. За меру реактивности, связываемой бором, принималась разница между коэффициентом размножения нейтронов $k_{эф}^{(1)}$, реализующимся при удалении бора из системы, и исходным $k_{эф}$: $\Delta k_{эф}^{(1)} = k_{эф}^{(1)}$. Расчеты проводили с помощью программы Монте-Карло МК [8] и системы констант БАС [9].

Результаты расчета представлены в табл. 3 в зависимости от радиуса полости и степени разбавления урана полиэтиленом (от отношения числа атомов водорода и ^{235}U $\text{H}/^{235}\text{U}$). Приведены масса ^{235}U , $k_{\text{эф}}$, $k_{\text{эф}}^{(1)}$, $\Delta k_{\text{эф}}^{(1)}$, внешний радиус активной зоны R_2 и принятые значения внутреннего радиуса R_1 .

Т а б л и ц а 3. Параметры сборок с активной зоной из смеси урана с полиэтиленом

$\text{H}/^{235}\text{U}$	Масса урана, кг	R_1 , см	R_2 , см	$k_{\text{эф}}$	$k_{\text{эф}}^{(1)}$	$\Delta k_{\text{эф}}^{(1)}$
20	20,50	5	15,3	1,004	1,090	0,086
20	49,52	12	21,6	1,006	1,185	0,179
100	4,40	5	15,3	0,996	1,115	0,119
100	10,80	12	21,7	1,002	1,225	0,223
500	1,55	5	18,3	0,993	1,085	0,092
500	3,49	12	24,8	0,994	1,178	0,184

Как видно из табл. 3, при переходе от систем с полостью радиусом 12 см к системам радиусом 5 см эффект $\Delta k_{\text{эф}}^{(1)}$ уменьшается примерно в 2 раза. Изменения $\Delta k_{\text{эф}}^{(1)}$ со степенью разбавления урана малы, максимальное для рассмотренных систем значение $\Delta k_{\text{эф}}^{(1)}$ получено для сборки с $\text{H}/^{235}\text{U} = 100$. Это значение равно 0,223.

Спектр нейтронов в рассматриваемых здесь системах изначально замедленный. По этой причине введение водорода в полость активной зоны повышает эффект $\Delta k_{\text{эф}}^{(1)}$ лишь в незначительной степени. Так, в присутствии в полости водорода плотностью $\rho = 0,04$ г/см³ в системах с отношением $\text{H}/^{235}\text{U}$, равным 100, эффект $\Delta k_{\text{эф}}^{(1)}$ равен соответственно 0,129 и 0,242 при $R_1 = 5$ и 12 см (вместо 0,119 и 0,223 в отсутствие водорода).

Заключение. Выполнены расчеты вспышек делений в критических сборках с большими центральными полостями. Прослежено влияние на энерговыделение различных заполнителей полости, включающих замедлитель и интенсивный поглотитель нейтронов.

В результате исследования наблюдался своеобразный эффект скрытого автокатализа в полых системах с поглотителем нейтронов, приводящий к резкому возрастанию энерговыделения во вспышке. При этом показано, что:

особенно интенсивно эффект скрытого автокатализа проявляется в критических сборках с отражателем нейтронов из тяжелого материала;

в любых системах с отражателем или без отражателя наибольший эффект достигается в случае замедлителя из водорода и ^{10}B ;

эффективными поглотителями нейтронов могут служить также европий и, возможно, гадолиний, самарий, гафний;

эффект автокатализа резко возрастает с увеличением радиуса полости и уменьшением начальной надкритичности системы.

Отмечено, что эффект скрытого автокатализа может во много раз увеличивать масштаб постулируемых аварий. Эффект следует учитывать, а его источники по возможности исключать при проектировании исследовательских реакторов и постановке экспериментов на этих установках. Указанные рекомендации особенно актуальны для реакторов с отражателем нейтронов и внутренними полостями большого объема. Экранирование полости бором или иным сильным поглотителем в этом случае должно исключаться.

Авторы благодарят Л.А. Кузьмину за помощь в проведении расчетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jankus V. A theoretical study of destructive nuclear bursts in fast power reactors. — In: Physics of Fast and Intermediate Reactors, 1961, v. 3, p. 209—238.
2. Nicholson R. Methods for determining the energy release in hypothetical fast reactor meltdown accidents. — Nucl. Sci. Engng, 1964, v. 18, № 2, p. 207—219.
3. Stratton W., Colvin T., Lazarus R. Analysis of prompt excursions in simple systems and idealized fast reactors. — In: Proc. Second Intern. Conf. of the Peaceful uses of Atomic Energy, Geneva, 1—13 sept., 1958, v. 12, p. 196—206.
4. Гончаров Г.А. Основные события истории создания водородной бомбы в СССР и США. — Успехи физ. наук, 1996, т. 166, № 10, с. 1095—1104. (См. также Goncharov G.A. Thermonuclear milestones. — Phys. Today, nov. 1996, p. 44—61.)
5. Харитон Ю.Б., Воинов А.М., Колесов В.Ф. и др. Аperiodические исследовательские импульсные реакторы. — В кн.: Вопросы современной экспериментальной и теоретической физики. Л.: Наука, 1984, с. 103—119.
6. Kloverstrom F., Stillman D. An overview of the Super Kukla prompt-burst reactor. — In: Proc. Intern. Topical Meeting on Physics, Safety and Applications of Pulse Reactors. Washington, 13—17 nov., 1994. 51 p.
7. Елесин В.А., Тропцев В.Е., Федянин В.И., Юдинцев В.Ф. Численная методика и организация программы для решения многогруппового нестационарного кинетического уравнения. — В сб.: Комплексы программ математической физики. Новосибирск, 1972, с. 18—23.
8. Донской Е.Н., Ельцов В.А., Житник А.К. и др. Метод Монте-Карло во ВНИИЭФ. — Вопросы атомной науки и техники. Сер. Математическое моделирование физических процессов, 1993, вып. 2, с. 61—64.
9. Васильев А.П., Кандиев Я.З., Читайкин В.И. Расчеты некоторых опытов на системах из ^{235}U и ^{238}U со спектральными нейтронными константами БАС. — В сб.: Нейтронная физика, т. 2. М., ЦНИИатоминформ, 1984, с. 119—123.

Поступила в Редакцию 25.06.97

УДК 621.039.512

СПОНТАННЫЕ НЕЙТРОННЫЕ ВСПЫШКИ КАК ИСТОЧНИК ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕАКТИВНОСТИ ИМПУЛЬСНЫМИ НЕЙТРОННЫМИ МЕТОДАМИ

Шокодько А.Г. (ГНЦ РФ — ФЭИ им. А.И. Лейпунского)

Способ определения реактивности реактора по α -методу с помощью статистического импульсного калифорниевского источника описан еще в 1965 г. [1]. Тогда же [2] была поставлена задача о необходимости применения статистического импульсного источника в интегральных импульсных методах измерения реактивности. Однако только в 1975 г. в работе [3] был предложен интегральный способ определения реактивности с помощью камеры спонтанных делений ^{252}Cf . Способ близок к методу Гозани и обоснован в точечной модели кинетики реактора.

В работе [4] дана интерпретация зависимости скорости счета нейтронного детектора, получаемой в традиционных условиях использования калифорниевой камеры, в общем виде с учетом высших пространственно-временных гармоник в этой зависимости. Показано, что из указанной зависимости можно определить реактивность любым импульсным нейтронным методом. Однако для этого необходимо найти из зависимости параметры высших гармоник в дополнение к основной (амплитуду a_j и декремент затухания α_j). В этой же работе предложено при определении реактивности по методу Шестранда временной анализатор пускать регулярно (от генератора импульсов), а нейтронные отсчеты фиксировать в каждом цикле анализатора лишь до ближайшего регистрируемого деления в камере ^{252}Cf . Это позволило избежать анализа высших гармоник.