

2. Хаммел Г., Окренг Д. Коэффициенты реактивности в больших энергетических реакторах на быстрых нейтронах. М.: Атомиздат, 1975, с. 237.
3. Hetrick D. Computer simulation of hypothetical criticality accidents in aqueous fissile solutions. — Trans. Amer. Nucl. Soc., 1991, v. 63, № 1, p. 226—228.
4. Pazzit I. Comment on the modeling of thin absorbers via δ -functions. — Nucl. Sci. Engng, 1994, v. 116, № 3, p. 223—225.
5. Колесов В.Ф., Босамыкин В.С., Хоружий В.Х., Юдинцев В.Ф. Ядерная безопасность критических сборок с поглотителем нейтронов в полости. — Атомная энергия, 1997, т. 83, вып. 2, с. 105—112.
6. Колесов В.Ф., Хоружий В.Х., Юдинцев В.Ф. Реактивные эффекты (автокатализ) в импульсных реакторах БР-1 и БР-К1. — Там же, 1998, т. 85, вып. 3, с. 179—186.
7. Гребенников А.Н., Фарафонов Г.Г. Архив оцененных данных BEND. — Вопросы атомной науки и техники. Сер. Математическое моделирование физических процессов, 1994, вып. 2, с. 65—71.
8. Гатилова Р.Я., Ивченко Т.Г., Леонова Н.И. и др. Программа численного интегрирования уравнений газовой динамики и теплопроводности в пакете «Одномерный комплекс» (Программа И-Н-ОК). — Там же. Сер. Методики и программы численного решения задач математической физики, 1984, вып. 1 (15), с. 49—54.
9. Воронов Е.Г., Каплунов М.И., Кленова В.И. и др. Единая унифицированная система расчета термодинамических функций уравнения состояния. — Там же. Сер. Математическое моделирование физических процессов, 1993, вып. 1, с. 44—47.
10. Никифоров В.В. Турбулентное перемешивание на контактной границе разноплотных сред. — Там же. Сер. Теоретическая и прикладная физика, 1985, вып. 1, с. 3—8.
11. Гаврилов Н.Ф., Иванова Г.Г., Селин В.И., Софронов В.Н. Программа УП-ОК для решения одномерных задач механики сплошной среды в одномерном комплексе. — Там же. Сер. Методики и программы численного решения задач математической физики, 1982, вып. 3 (11), с. 11—14.
12. Third International Opacity Workshop & Code Comparison Study Work. MPI fur Quantenoptik, Garching, August, 1995.

Поступила в Редакцию 18.02.2000

УДК 621.039.512

НЕЙТРОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОДЕЛЕЙ КАСКАДНОГО ДВУХСЕКЦИОННОГО БЛАНКЕТА

Колесов В.Ф., Хоружий В.Х. (РФЯЦ — ВНИИЭФ)

Одно из препятствий на пути реализации электроядерных устройств заключается в высоких требованиях к мощности ускорителя. Для электроядерных устройств требуются, например, пучки протонов мощностью 40—100 МВт.

Как было показано в работах [1—3], снижение требований к мощности ускорителя может быть достигнуто на основе использования двухсекционных бланкетов с односторонней нейтронной связью секций, т.е. с помощью бланкетов каскадного типа*. Эффективный способ осуществления односторонней связи секций был предложен во ВНИИЭФ России [4]. Этот способ основан на применении в одной из секций порогового делящегося вещества — ^{237}Np . Первоначально способ был ориентирован на применение в импульсных бустерах, служащих в качестве нейтронных облучателей. На базе указанного предложения во ВНИИЭФ и Сандиевской национальной лаборатории (США) разработаны проекты облучательных бустеров с уникальными параметрами [5, 6]. Имеются проекты энергетических электроядерных устройств с бланкетами каскадного типа, в том числе использующими диоксид нептуния, расплавленные соли и тяжелую воду [7—9]. В прежние годы работы по двухсекционным реакторам каскадного типа наиболее интенсивно велись во ВНИИЭФ. Но в последние годы к этой теме проявлен интерес со стороны других институтов России и зарубежных лабораторий [2, 6, 7, 8—12].

*Реакторную систему можно называть двухсекционной, если ее активная зона состоит из двух частей, отличающихся одна от другой или разделенных пространственно. Двухсекционные системы с односторонней или преимущественно односторонней связью секций называют каскадными (иногда по аналогии с электрическими цепями их называют диодными). Это тот случай, когда нейтроны одной секции влияют на процессы в другой секции, а нейтроны другой секции на процессы в первой секции не влияют.

В настоящей статье приведены результаты расчетов с помощью программ Монте-Карло нейтронных характеристик большого числа идеализированных по структуре и составу моделей двухсекционного бланкета каскадного типа, использующего пороговое делящееся вещество — ^{237}Np . Расчеты преследовали прежде всего цель установления зависимости нейтронных характеристик бланкета от коэффициента размножения нейтронов $k_{\text{эф}}$, свойств делящихся веществ, типа и объема замедлителя нейтронов, а также оценки эффективности поглотителя нейтронов как средства подавления одного из коэффициентов нейтронной связи секций.

Расчетные данные для идеализированных моделей двухсекционного бланкета каскадного типа. Рассчитывали сферически-симметричные сборки из металлических урана и ^{237}Np . Нептуний размещали в центре сборок, уран — на периферии. Пространство между нептунием и ураном заполняли замедлителем нейтронов или оставляли пустым (рис. 1). В качестве замедлителей нейтронов использовали полиэтилен, бериллий, тяжелую воду и вольфрам. В центре сборок помещали точечный источник нейтронов с делительным спектром. В некоторых сборках нептуний заменяли ураном 90%-ного обогащения.

Удаление из сборки промежуточно-го слоя замедлителя уменьшает отношение коэффициентов связи секций, но тем не менее и в этом случае сборка остается двухсекционной каскадной системой. Сборку с замедлителем и парную с ней сборку без замедлителя подгоняли к одному и тому же полному (глобальному) коэффициенту размножения нейтронов. Его изменение вследствие удаления слоя замедлителя компенсировали изменением толщины слоев урана во внешней секции и полиэтиленового отражателя (если таковой имелся).

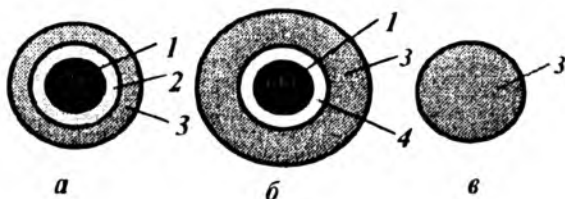
Расчетами подбирали размеры сборок, соответствующие заданным коэффициентам размножения нейтронов и удовлетворяющие условию их близости во внутренней $k_{\text{эф}1}$ (1) и внешней секции $k_{\text{эф}2}$ (2), рассчитывали $k_{\text{эф}1}$, $k_{\text{эф}2}^*$, коэффициенты нейтронной связи секций k_{21} , k_{12} , первичное деление S_1 , S_2 и полное число делений P_1 , P_2 во внутренней и внешней секциях, нормированное на один нейтрон источника. Определяли также сумму $S = S_1 + S_2$ и $P = P_1 + P_2$.

В целях составления заключения об эффективности исследуемых двухсекционных сборок рассматривали также односекционные сборки из урана 90%-ного обогащения в виде сплошного шара (в некоторых случаях с полиэтиленовым отражателем). Для односекционных сборок рассчитывали размеры, соответствующие заданным $k_{\text{эф}}$, а также S и P .

На основе расчетных данных определили наиболее важный показатель эффективности бланкета каскадного типа — параметр A , равный отношению числа делений на один нейтрон источника в двух- и односекционном бланкете при условии равенства $k_{\text{эф}}$ в том и другом случаях: $A = (P)_\text{д}/(P)_\text{о}$.

Плотность используемых в моделях бланкета материалов принята в расчетах таковой, г/см³: уран — 18,7, ^{237}Np — 20,45, полиэтилен — 0,92, бериллий — 1,8, тяжелая вода — 1,1, вольфрам — 19,35 (табл. 1).

*Коэффициенты размножения нейтронов каждой секции в отдельности $k_{\text{эф}1}$, $k_{\text{эф}2}$ рассчитывали с учетом нейтронов, отраженных от другой секции, т.е. в предположении равенства нулю значения ν в другой секции.



Р и с. 1. Идеализированные модели бланкета: а, б — двухсекционная сборка со слоем замедлителя и без него соответственно; в — односекционная сборка; 1 — ^{237}Np ; 2 — полиэтилен; 3 — уран 90%-ного обогащения; 4 — вакуум

Т а б л и ц а 1. Геометрия, состав и нейтронные характеристики некоторых расчетных сборок без отражателя*

Номер сборки	Состав, внешний радиус зоны, см, масса, кг			$k_{эф1}$ $k_{эф2}$ $k_{эф}$	k_{21} k_{12}	S_1, S_2, S дел./нейтр.	P_1, P_2, P дел./нейтр.	$\Lambda, \tilde{\Lambda}$
	Секция 1	Промежуточный слой	Секция 2					
1	^{237}Np	Полиэтилен	$0,9^{235}\text{U} + 0,1^{238}\text{U}$	0,431	0,657	0,194	0,377	1,99
	2,858	8	9,05	0,492	$7,8 \cdot 10^{-4}$	0,204	0,881	1,36
	2	1,88	17,95	0,536		0,398	1,258	
2	^{237}Np	Пустота	$0,9^{235}\text{U} + 0,1^{238}\text{U}$	0,424	0,337	0,190	0,366	1,27
	2,858	8	9,83	0,483	0,017	0,105	0,437	1,17
	2	—	34,3	0,53		0,295	0,803	
3	^{237}Np	D_2O	$0,9^{235}\text{U} + 0,1^{238}\text{U}$	0,441	1,81	0,195	0,37	4,72
	2,858	53	53,59	0,529	$1,9 \cdot 10^{-6}$	0,575	2,62	1,67
	2	686	393,8	0,529		0,770	2,99	
4	^{237}Np	Пустота	$0,9^{235}\text{U} + 0,1^{238}\text{U}$	0,422	0,303	0,190	0,35	1,22
	2,858	53	54,59	0,527	$4,6 \cdot 10^{-5}$	0,096	0,42	1,16
	2		1081	0,528		0,286	0,77	
5	$0,9^{235}\text{U} + 0,1^{238}\text{U}$	—	—	0,529	—	0,272	0,633	1
	4,53							1
	7,28							
6	^{237}Np	D_2O	$0,9^{235}\text{U} + 0,1^{238}\text{U}$	0,987	0,839	0,444	(36,5)	43,3
	8,17	58	60,13	0,986	$1,4 \cdot 10^{-5}$	0,208	(2204)	34,4
	46,71	896	1746	(0,99)		0,652	(2241)	
7	^{237}Np	Пустота	$0,9^{235}\text{U} + 0,1^{238}\text{U}$	0,942	0,496	0,426	(25)	4,15
	8,17	58	61,39	0,934	$5,4 \cdot 10^{-4}$	0,128	(190)	3,88
	46,71		2840	(0,99)		0,554	(215)	
8	$0,9^{235}\text{U} + 0,1^{238}\text{U}$	—	—	(0,989)	—	0,518	(51,8)	1
	8,93							1
	55,78							

*Для областей с ураном указана ядерная доля ^{235}U и ^{238}U .

Статистическая точность расчетов: $k_{эф1}$, $k_{эф2}$ — 0,1—0,4%, $k_{эф}$ — 0,2—1%, k_{21} — 0,1—0,6%, k_{12} — 0,6—2,5% (в сборках № 8, 22 до 30%), S_1, S_2 — 0,1—0,6%; P_1, P_2 — 0,4—1,5%, в скобках здесь и в табл. 4 приведены значения, рассчитанные по соотношению (1).

Зависимость нейтронных характеристик бланкета от $k_{эф}$, свойств делящихся материалов, типа и объема замедлителя. Полученные данные относятся к сборкам с $k_{эф}$, равным 0,53, 0,75, 0,78, 0,92 и 0,99. Наиболее полно представлены сборки с замедлителем в виде полиэтилена и тяжелой воды. Конфигурацию сборок подбирали такими, чтобы $k_{эф1}$ и $k_{эф2}$ были примерно одинаковыми.

Данные расчетов позволяют сделать несколько заключений о зависимости нейтронных характеристик бланкета каскадного типа от его конфигурации и состава.

Прежде всего целесообразно сопоставить $P_1, P_2, k_{эф}$ в указанном численном эксперименте со значениями, следующими из теории двухсекционных реакторов. Теоретические соотношения связи $P_1, P_2, k_{эф}$ с источником нейтронов и нейтронными характеристиками двухсекционного реактора обычно устанавливаются с помощью решений двухточечных уравнений реактора. Рассматривая первичное деление S_1, S_2 в качестве источника нейтронов, можно эти соотношения записать в виде

$$P_1 = \frac{k_{12}S_2 + (1 - k_{эф2})S_1}{(1 - k_{эф1})(1 - k_{эф2}) - k_{12}k_{21}};$$

$$P_2 = \frac{k_{21}S_1 + (1 - k_{эф1})S_2}{(1 - k_{эф1})(1 - k_{эф2}) - k_{12}k_{21}}; \quad (1)$$

$$k_{эф} = \frac{k_{эф1} + k_{эф2}}{2} + \sqrt{\left(\frac{k_{эф1} - k_{эф2}}{2}\right)^2 + k_{12}k_{21}}.$$

Сравнение численных значений P_1 , P_2 , $k_{эф}$ и A для нескольких сборок из табл. 1 со значениями, следующими из соотношений (1), проведено в табл. 2.

Как видно из табл. 2, значения P_1 , P_2 , $k_{эф}$, A , полученные расчетом и по соотношению (1) с использованием расчетных $k_{эф1}$, $k_{эф2}$, k_{21} , k_{12} , находятся в разумном согласии. Некоторое превышение расчетных P_1 , P_2 объясняется тем, что пространственное распределение нейтронов от первичного деления S_1 , S_2 более центрально, чем распределение нейтронов в последующих поколениях, т.е. тем, что эти нейтроны имеют немного более высокую ценность.

При сравнении эффективности двух- и односекционного бланкета следует иметь в виду, что значения параметра A определяются не только специфическими закономерностями кинетики размножения нейтронов в системах, но и некоторыми сторонними для этих закономерностей факторами. Речь идет главным образом о факторе увеличения в системах с замедлителями вероятности первичных делений, поскольку замедленный нейтрон источника имеет большую вероятность вызвать деление в урановой секции и меньшую вероятность претерпеть утечку. Этот побочный результат внесения в сборку замедлителя приводит к росту параметра A .

Расчеты показывают, что в сборках с низкими значениями $k_{эф}$ повышение числа первичных делений при введении замедлителя выражено весьма существенно, в сборках с $k_{эф}$, близким к единице, — незначительно. Первичные деления во всех двухсекционных сборках без замедлителя тоже немного превышают значения этой величины в соответствующих односекционных сборках. Причина этого отличия заключается в большей суммарной толщине массива делящихся веществ в сборках с пустотами.

Целям настоящего исследования более соответствует показатель эффективности бланкета $\bar{A}$, свободный от влияния указанного сопутствующего спектрального эффекта, оцениваемый как отношение «нормированных» величин P : $\bar{A} = (P/S)_{\text{двухсек}} / (P/S)_{\text{односек}}$. Этот показатель также представлен в табл. 1 и 3. Для больших сборок (см. табл. 3) значения A и $\bar{A}$ мало отличаются, но применительно к компактным сборкам табл. 1, в особенности с низким $k_{эф}$, разница между A и $\bar{A}$ становится существенной. Значения $\bar{A}$ легко определяются на основе расчетных данных, однако их воспроизведение в эксперименте ввиду проблематичности измерения первичных делений встретило бы затруднения. По этой причине показатель A приводится здесь в качестве основного.

Таблица 2. Значения P_1 , P_2 , $k_{эф}$, A , полученные с помощью численных расчетов и (1)

Номер сборки	P_1 , P_2 , $k_{эф}$, A	
	Расчет	Соотношение (1)
1	0,38	0,35
	0,88	0,86
	0,536	0,539
	1,99	2,10
2	0,37	0,34
	0,44	0,43
	0,530	0,535
	1,27	1,33
3	0,37	0,35
	2,62	2,56
	0,529	0,529
	4,7	5,0
4	0,35	0,33
	0,42	0,41
	0,528	0,528
	1,22	1,29
5	0,63	0,58
	—	—
	0,529	0,529
	1	1

Т а б л и ц а 3. Геометрия, состав и нейтронные характеристики моделей бланкета с графитовым замедлителем

Номер сборки	Состав и внешний радиус зоны, см					$k_{\infty 1}, k_{\infty 2}, k_{\infty \phi}$	k_{21}, k_{12}	$S_1, S_2, S,$ дел./нейтр.	$P_1, P_2, P,$ дел./нейтр.	$A, \tilde{A}$
	Центральная полость	Секция 1	Промежуточная область	Секция 2	Отражатель					
1	Пустота 17,57	^{237}Np 20	—	Графит+ +LiF— —BeF ₂ — —ZrF ₄ — —PuF ₃ * 200	Графит 300	0,930 0,930 0,95	0,385 $9,8 \cdot 10^{-5}$	0,265 0,153 0,418	4,1 24,9 29,0	3,41 3,45
2	Пустота 17,5	^{237}Np 20	Графит 40	Графит+ +LiF— —BeF ₂ — —ZrF ₄ — PuF ₃ * 200	То же	0,937 0,937 0,95	0,386 $4,5 \cdot 10^{-5}$	0,273 0,152 0,425	4,6 30,3 34,9	4,10 4,09
3	Пустота 0	Графит+ +LiF— —BeF ₂ — —ZrF ₄ — —PuF ₃ * 200	—	—	*	0,95	—	0,423	8,5	1 1

*Относительный ядерный состав зоны: С 0,95796, F 0,02505, ^7Li 0,01115, Be 0,00498, Zr $8,6 \cdot 10^{-5}$, ^{239}Pu $2,06 \cdot 10^{-6}$.

Данные табл. 1 и другие, относящиеся к двухсекционным сборкам с замедлителем нейтронов, демонстрируют комбинированный эффект влияния фактора пороговости делящегося вещества и геометрического фактора, данные, относящиеся к сборкам с пустотами, — эффект влияния только геометрического фактора. Сопоставление этих данных по параметрам k_{12} и A свидетельствует о значительности потенциала двухсекционных систем с ^{237}Np в аспекте глубокого подавления одного из коэффициентов нейтронной связи секций (параметр k_{12}) и соответствующего повышения тем самым эффективности бланкета (параметр A). Существенный вклад в этот потенциал вносит влияние геометрического фактора, однако вклад фактора пороговости делящегося вещества оказывается значительно большим.

При малой толщине слоя замедлителя влияние фактора пороговости делящегося вещества на k_{12} и A умеренное и не сильно варьирует с заменой одного замедлителя на другой. Наиболее эффективным замедлителем в этом случае является полиэтилен. Сильное подавление коэффициента k_{12} в системе с ^{237}Np достигается лишь при большой толщине замедлителя. В этом случае наилучшие результаты достигаются с тяжеловодным и бериллиевым замедлителями, имеющими малое сечение радиационного захвата нейтронов. В замедлителях же типа полиэтилена и вольфрама с их значительными сечениями радиационного захвата одновременно с подавлением коэффициента k_{12} существенно снижается и коэффициент k_{21} , и это крайне неблагоприятно сказывается на параметре A . Так, в варианте тяжеловодного замедлителя толщиной 50 см (см. сборку под номером 6 в табл. 1) при $k_{\infty \phi} = 0,99$ достигается равное 60 тыс. отношение коэффициентов k_{21}, k_{12} и равное 43 значение A , т.е. в этом варианте двухсек-

ционной сборки нейтрон источника производит в 43 раза большее число делений, чем в аналогичной по $k_{эф}$ односекционной сборке. В варианте сборок с бериллиевым, полиэтиленовым и вольфрамовым замедлителями той же толщины при том же значении $k_{эф}$ указанные характеристики равны соответственно 72 тыс. и 43 для сборки с бериллиевым замедлителем, 89 и 0,87 для сборки с полиэтиленовым замедлителем и 3900 и 1,43 для сборки с вольфрамовым замедлителем.

Хорошие нейтронные характеристики имеют большие по размерам двухсекционные бланкеты с графитовым замедлителем. Это было показано ранее [3] на примере бланкета электроядерного устройства в проекте ABC [13], в котором ториевую мишень заменили на размножающую из металлического ^{237}Np . Это же демонстрируют данные табл. 3, где приведены результаты расчетов для нескольких вариантов сферически-симметричной модели бланкета, по составу воспроизводящей бланкет проекта ABC. В расчетах предполагалось, что источник нейтронов делительного спектра помещен в центр сборок. Плотность нептуния принималась равной $20,45 \text{ г/см}^3$, графита + соли — $1,619 \text{ г/см}^3$, графита — $1,6 \text{ г/см}^3$.

Модели бланкета, представленные в табл. 3, в сравнении с сильно идеализированными моделями табл. 1 отличаются значительно более упорядоченным характером зависимости их показателей от нейтронных характеристик. Число первичных делений в секциях, а также коэффициенты k_{21} в этом случае мало зависят от состава и конфигурации модели.

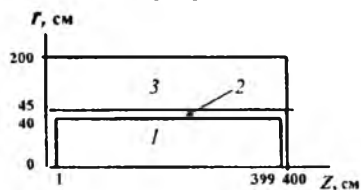
Использование сильного поглотителя в качестве средства подавления коэффициента нейтронной связи. В некоторых публикациях последних лет обсуждаются перспективы использования в качестве средства подавления одного из коэффициентов нейтронной связи секций сильного поглотителя нейтронов, примешиваемого к делящемуся веществу внутренней секции. В целях выяснения возможностей этого способа, априорно кажущегося сомнительным, были выполнены расчеты по программам Монте-Карло вариантов модели двухсекционного бланкета, достаточно реалистичной по составу, геометрической форме (цилиндр) и размерам (рис. 2). Первоначальный состав секций 1 и 2 — смесь солей ^7LiF , BeF_2 , XF_3 плотностью $2,19 \text{ г/см}^3$ с относительным молекулярным содержанием соответственно 66, 33 и 1% (X — обобщенное обозначение актиноидов) и с относительным содержанием по числу ядер:

секция 1: ^{239}Pu $3,830 \cdot 10^{-3}$, ^{237}Np $0,426 \cdot 10^{-3}$, F $0,574467$, ^7Li — $0,280851$, Be $0,140426$;

секция 2: ^{238}Pu $0,936 \cdot 10^{-3}$, ^{239}Pu $0,936 \cdot 10^{-3}$, ^{240}Pu $0,426 \cdot 10^{-3}$, ^{241}Pu $0,255 \cdot 10^{-3}$, ^{242}Pu $0,852 \cdot 10^{-3}$, ^{241}Am $0,170 \cdot 10^{-3}$, ^{243}Am $0,255 \cdot 10^{-3}$, ^{244}Cm $0,426 \cdot 10^{-3}$, F $0,574467$, ^7Li $0,280851$, Be $0,140426$.

Были выполнены расчеты коэффициентов $k_{эф1}$, $k_{эф2}$, k_{21} , k_{12} для моделей бланкета при первоначальном составе секций, при первоначальном составе с добавлением в секцию 1 гадолиния и при первоначальном составе с заменой в секции 1 ^{237}Np на ^{239}Pu и с добавлением в эту секцию гадолиния. С помощью соотношений (1) и полученных значений $k_{эф1}$, $k_{эф2}$, k_{21} , k_{12} определены также значения полного коэффициента размножения нейтронов в моделях бланкета $k_{эф}$ (табл. 4).

Как видно из табл. 4, коэффициент k_{12} (цель изменения состава секции 1 заключалась в подавлении именно этого коэффициента) при введении в секцию 1 гадолиния в пределах статистики мало изменяется. Это несмотря даже на то, что при ядерной



Р и с. 2. Модель двухсекционного бланкета: 1, 3 — секция 1 и 2 соответственно; 2 — пустота

концентрации 10^{-3} гадолиний сильно понизил $k_{эф1}$ (от 0,92 до 0,79). Введение гадолиния в секцию I при условии замены присутствующего в ней ^{237}Np на ^{239}Pu также не уменьшило k_{12} . Таким образом, можно считать доказанным, что введение в активную зону бланкета сильного поглотителя нейтронов не может быть эффективным способом подавления одного из коэффициентов нейтронной связи секций.

Т а б л и ц а 4. Результат расчетов по определению влияния сильного поглотителя нейтронов*

Состав секций	$k_{эф1},$ $k_{эф2},$ $k_{эф}$	$k_{21},$ k_{12}
Первоначальный состав	0,92 0,94 (1,03)	0,37 0,028
В секцию I дополнительно введен гадолиний с относительным массовым содержанием 10^{-3}	0,92 0,93 (1,02)	0,36 0,027
В секцию I дополнительно введен гадолиний с относительным ядерным содержанием 10^{-3}	0,79 0,93 (0,98)	0,35 0,027
В секции I ^{237}Np заменен на ^{239}Pu . Дополнительно введен гадолиний с относительным ядерным содержанием 10^{-3}	0,86 0,93 (1,0)	0,36 0,03

*Статистическая точность расчетов: $k_{эф1}, k_{эф2} \sim 1\%$, $k_{21} \sim 2\%$, $k_{12} \sim 5\%$.

Закключение. Приведены результаты расчетов нейтронных характеристик идеализированных по структуре и составу моделей двухсекционного бланкета каскадного типа, использующего высокообогащенный уран, пороговое делящееся вещество — ^{237}Np и замедлители нейтронов. В итоге расчетов и анализа их данных, во-первых, определена зависимость нейтронных характеристик бланкета, прежде всего коэффициента нейтронной связи секций k_{12} и показателя эффективности каскадного бланкета, от полного коэффициента размножения нейтронов, свойств делящихся веществ, типа и объема замедлителя нейтронов. Получено разумное согласие расчетных данных с теоретическими представлениями о закономерностях двухсекционных реакторов. Показано значение потенциала двухсекционных систем с ^{237}Np в аспекте глубокого подавления одного из коэффициентов связи секций и повышения тем самым эффективности бланкета.

При малой толщине слоя замедлителя влияние фактора пороговости делящегося вещества на коэффициент связи и эффективность бланкета умеренное и не сильно варьирует с заменой одного замедлителя на другой. Наиболее эффективным в этом случае является полиэтилен. Сильное подавление коэффициента связи достигается лишь при большой толщине замедлителя. В этом случае лучшие результаты достигаются с тяжеловодным и бериллиевым замедлителями, имеющими малое сечение радиационного захвата нейтронов. Хорошие нейтронные характеристики имеют также большие по размерам двухсекционные бланкеты с графитовым замедлителем.

Во-вторых, показано, что введение в активную зону двухсекционного бланкета сильного поглотителя нейтронов не может быть эффективным способом подавления коэффициента k_{12} .

Авторы благодарят А.П. Ботову за помощь в проведении расчетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колесов В.Ф., Гужовский Б.Ф. О возможности повышения эффективности электроядерного трансмутационного устройства на базе перехода к многосекционной структуре бланкета: Препринт ВНИИЭФ

- 2793, 1993. (См. также: Колесов В.Ф., Гужовский Б.Я. Повышение эффективности электроядерного трансмутационного устройства за счет многосекционной структуры blankets. — Атомная энергия, 1994, т. 76, вып. 1, с. 71—77.)
2. Гребенкин К.Ф. Об одной возможности улучшения параметров электроядерного реактора: Препринт ВНИИТФ 41, 1993.
 3. Колесов В.Ф., Штарев С.К., Хоружий В.Х., Житник А.К. Эффективность электроядерного устройства с blanketом на расплавленных солях и нептуниевой размножающей мишенью. — Атомная энергия, 1995, т. 79, вып. 1, с. 40—45.
 4. Колесов В.Ф., Малинкин А.А. Кинетика двухсекционного бустер-реактора с асимметричной нейтронной связью секций. — Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика ядерных реакторов, 1991, вып. 4, с. 10—23.
 5. Павловский А.И., Малинкин А.А., Колесов В.Ф. и др. Двухсекционный бустер-реактор «Каскад» (БР-К). — Там же, 1992, вып. 3, с. 3—11.
 6. Griffin P., Miller J., Harms G. e.a. Design trade-off study for a large volume short pulse neutron assembly. — In: Physics, Safety, and Applications of Pulse Reactors. Proc. Intern. Topical Meeting on Physics, Safety, and Applications of Pulse Reactors. Washington, Nov. 13—17, 1994, p. 292—299.
 7. Воинов А.М., Воинов М.А., Воронцов С.В. и др. Расчетно-теоретическая и конструкторская проработка физического макета двухкаскадного blankets для электроядерного реактора. — В сб.: Второй научный семинар памяти В.П.Саранцева. Дубна, 23—24 сентября 1997 г. Дубна, Д9-98-153, 1998, с. 69—76.
 8. Алексеев П.Н., Игнатьев В.В., Коляскин О.Е. и др. Каскадный подкритический реактор повышенной безопасности. — Атомная энергия, 1995, т. 79, вып. 5, с. 327—337.
 9. Кочуров Б.П., Шведов О.В., Конев В.Н., Кварацхели А.Ю. Основные параметры демонстрационной электроядерной установки. — Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика ядерных реакторов, 1998, вып. 3, с. 40—43.
 10. Барзилов А.П., Гулевич А.В., Кухарчук О.Ф. и др. Подкритическая реакторная система с каскадным умножением нейтронов. — Изв. вузов. Ядерная энергетика, 1997, № 2, с. 59—66.
 11. Селиверстов В.В. Умножение нейтронов внешнего источника в каскадных подкритических системах с односторонней нейтронной связью. — Атомная энергия, 1996, т. 81, вып. 5, с. 378—390.
 12. Барашенков В.С., Шелаев И.А. Электроядерные усилители энергии с низкоэнергетическими пучками протонов. — Там же, 1998, т. 85, вып. 5, с. 409—411.
 13. Bowman C., Toevs J., Arthur E. e.a. ABC Concept Presentations. The Los Alamos Accelerator Based Conversion Concept for Plutonium Disposition (ABC). JANSON Review, La Jolla, CA, January 18, 1994.

Поступила в Редакцию 18.02.2000

УДК 621.039.555

РЕАКТОРНО-ЛАЗЕРНЫЙ КОМПЛЕКС «СТЕНД Б»

*Дьяченко П.П., Еловский О.А., Прохоров Ю.А., Фокин Г.Н., Якубов П.А.
(ГНЦ РФ — ФЭИ им А.И.Лейпунского),
Снопков А.А. (РФЯЦ — ВНИИТФ)*

Реакторно-лазерный комплекс «Стенд Б», оснащенный оборудованием для исследования генерации лазерного излучения с прямой ядерной накачкой [1] и импульсным двухзонным быстрым реактором аperiодического действия БАРС-6 в качестве нейтронного источника для облучения лазерно-активных элементов, эксплуатируется в ФЭИ с 1996 г.

Начало работ по созданию в СССР импульсных самогасящихся быстрых реакторов аperiодического действия типа БАРС относится к 1961 г. [2]. В 1964 г. был получен первый импульс делений на реакторе БАРС-1 в ВНИИТФ. Описываемый здесь реактор является шестой модификацией. В него по сравнению с предшествующими внесены усовершенствования, направленные на повышение безопасности при эксплуатации и расширение экспериментальных возможностей.

На стенде ведутся исследования [3, 4] с лазерно-активными средами и с разными по конструкции лазерно-активными элементами, в том числе и с их нейтронно-физическими имитаторами, собранными в лазерный блок [5, 6]. Кроме того, проводятся радиационно-химические и медико-биологические исследования [7], требующие об-