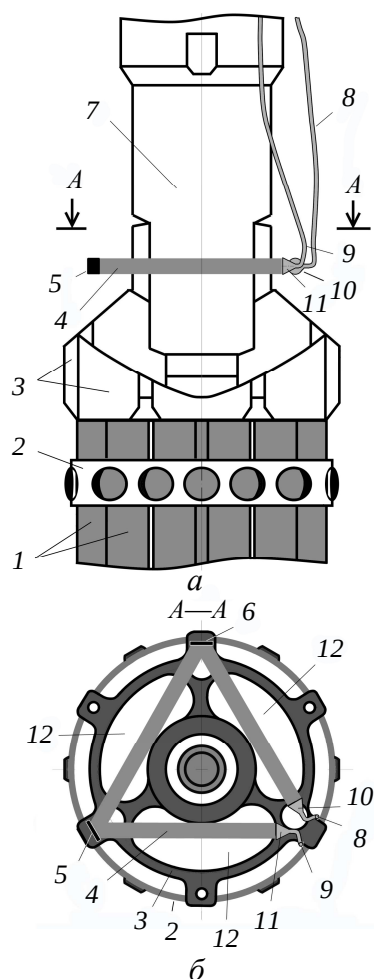




Р и с. 2. Вариант размещения датчика в технологическом канале РБМК: 1 — твэл; 2 — обод и дистанцирующие выступы; 3 — элементы конструкции ТВС; 4 — пучок зондирующего излучения; 5, 6 — отражательные зеркала; 7 — переходник; 8, 9 — входная и выходная волоконно-оптическая линия; 10, 11 — входной и выходной оптический расширитель пучка; 12 — выходные каналы (элементы крепления оптического датчика на элементах конструкции ТВС не показаны)

диации, в водной среде при высокой температуре и давлении. Измерительная аппаратура лазерной системы посредством волоконно-оптических линий может быть вынесена в безопасное в радиационном отношении помещение на расстояние более 25 м.

Предлагаемый лазерный метод и система измерения паросодержания позволяют контролировать паросодержание внутри активной зоны технологического канала РБМК, измерять благодаря высокой чувствительности метода малый уровень паросодержания в любой точке первого контура и активной зоны ВВЭР, повысить надежность аппаратуры измерительного комплекса и снизить радиационные нагрузки на обслуживающий персонал АЭС за счет выноса аппаратуры комплекса из зоны строгого режима и ее удаления на значительное расстояние от реактора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Манкевич С.К., Орлов Е.П. Лазерная система измерения паросодержания в теплоносителе ядерного энергетического реактора. Заявка № 2017109128 от 20.03.2017. — Бюллетень «Изобретения. Полезные модели», 2017, № 19, с. 248—251.
2. Архипов В.А. Лазерные методы диагностики гетерогенных потоков. Под ред. И.М. Васенина. Томск: Изд-во Томского ун-та, 1987.
3. Доллежал Н.А., Емельянов И.Я. Канальный ядерный энергетический реактор. М.: Атомиздат, 1980.
4. Федоров Л.Ф., Рассохин Н.Г. Процессы генерации пара на атомных электростанциях. М.: Энергоатомиздат, 1985.

Поступило в Редакцию 25.04.17

УДК 519.24

РАСЧЕТЫ ПО ПРОГРАММЕ ПРИЗМА-ДСП РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЧЕК ДЕЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ ТЕСТ2, ПРЕДЛОЖЕННОЙ OECD/NEA

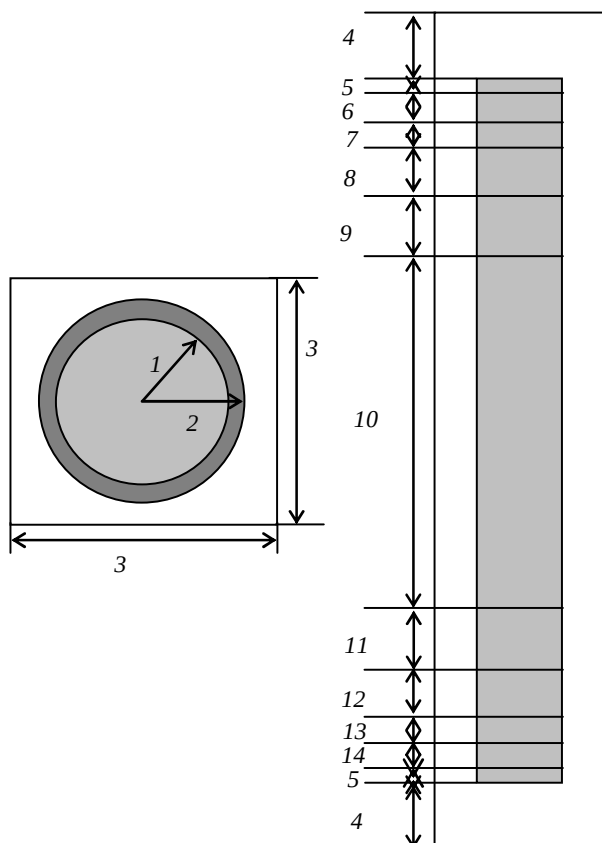
Кандиев Я.З., Лобанова Л.В., Серова Е.В. (РФЯЦ — ВНИИТФ, г. Снежинск, Челябинская обл.)

Для расчета размножающих систем со слабыми связями разработана методика, реализованная в программе ПРИЗМА-ДСП [1, 2]. В ходе разработки, кроме других, проводились расчеты в исследовательском режиме четырех тестов, предложенных международной экспертной группой OECD/NEA [3]. В воде

и водных растворах учитывалась химическая связь атомов.

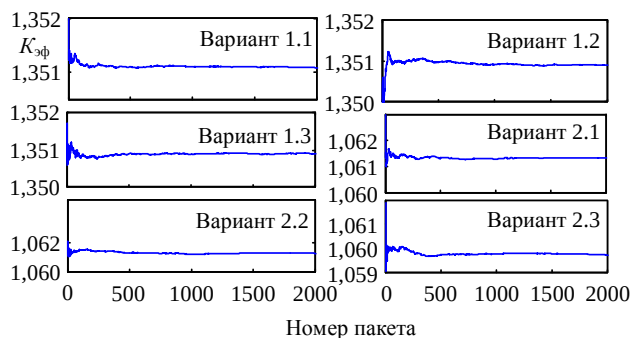
В настоящей работе приведены результаты расчетов теста 2 с системой констант ENDF/B VI.

Тест 2. Одиночный твэл помещается в прямоугольную ячейку, заполненную водой, стенки кото-



Р и с. 1. Геометрия теста 2 (горизонтальное и вертикальное сечения): 1 — топливо 0,412 см; 2 — циркалой 0,475 см; 3 — ячейка 1,33 см; 4 — вода 30 см; 5 — концевая заглушка 1,75 см; 6—14 — топливная область 5, 5, 10, 20, 285, 7, 20, 10, 5, 5 см соответственно

рой зеркально отражают в воду падающие на них нейтроны. В результате образуется бесконечная система с прямоугольной решеткой. На рис. 1 показано горизонтальное сечение и аксиальная геометрия ячейки, в том числе деление топливных материалов



Р и с. 2. Зависимость $K_{эф}$ от номера пакета для разных вариантов задачи

на девять областей. Состав свежего и облученного топлива приведен в табл. 1, 2.

В описании теста было предложено рассчитать шесть вариантов для решения проблемы сходимости с разными источниками. Распределение топлива по вертикали приведено в табл. 3. Варианты 1.1—1.3 содержат чистое топливо. Рассмотрены две конфигурации стержня: аксиально симметричная (вариант 1.1) и несимметричная (1.2, 1.3). Варианты 2.1—2.3 составлены из облученного топлива. Аналогичным образом определена симметричная (вариант 2.1) и несимметричная (2.2, 2.3) конфигурация стержня.

Расчеты по программе ПРИЗМА-ДСП проводились с параметрами $M = 2000$, $N_0 = 30$, $N_p = NGEN = 100$, $nGR = 1$, $n_{пак} = 8192$. Средняя по высоте область была разделена на две равные части. На рис. 2 показана сходимость $K_{эф}$ в зависимости от номера пакета для разных вариантов задачи.

В табл. 4, 5 приведены выборочные расчеты по некоторым кодам [4] (параметры расчета $M = 100$ тыс., $N_0 = 200$, число пакетов 1000) и програм-

Т а б л и ц а 1. Состав свежего топлива, атом/(б·см)

Изотоп	Тип топлива			Циркалой	Вода
	EU45	EU40	NU		
^{234}U	$8,410 \cdot 10^{-6}$	$7,5481 \cdot 10^{-6}$	$1,2757 \cdot 10^{-6}$		
^{235}U	$1,0526 \cdot 10^{-3}$	$9,3949 \cdot 10^{-4}$	$1,6700 \cdot 10^{-4}$		
^{236}U	$6,4752 \cdot 10^{-6}$				
^{238}U	$2,2042 \cdot 10^{-2}$	$2,2256 \cdot 10^{-2}$	$2,3026 \cdot 10^{-2}$		
O	$4,6219 \cdot 10^{-2}$	$4,6405 \cdot 10^{-2}$	$4,6388 \cdot 10^{-2}$		$3,3329 \cdot 10^{-2}$
CR				$7,5891 \cdot 10^{-5}$	
FE				$1,4838 \cdot 10^{-4}$	
ZR				$4,2982 \cdot 10^{-2}$	
H					$6,6658 \cdot 10^{-2}$

Т а б л и ц а 2. Состав облученного топлива, атом/(б·см)

Изотоп	Тип топлива				
	B21G	B24G	B30G	B40G	B55G
²³⁴ U	$6,4862 \cdot 10^{-6}$	$6,2881 \cdot 10^{-6}$	$5,7868 \cdot 10^{-6}$	$5,1152 \cdot 10^{-6}$	$4,3280 \cdot 10^{-6}$
²³⁵ U	$5,6757 \cdot 10^{-4}$	$5,2562 \cdot 10^{-4}$	$4,2455 \cdot 10^{-4}$	$3,0002 \cdot 10^{-4}$	$1,7108 \cdot 10^{-4}$
²³⁶ U	$9,4556 \cdot 10^{-5}$	$1,0155 \cdot 10^{-4}$	$1,1763 \cdot 10^{-4}$	$1,3534 \cdot 10^{-4}$	$1,4897 \cdot 10^{-4}$
²³⁸ U	$2,1732 \cdot 10^{-2}$	$2,1693 \cdot 10^{-2}$	$2,1585 \cdot 10^{-2}$	$2,1413 \cdot 10^{-2}$	$2,1142 \cdot 10^{-2}$
²³⁸ Pu	$1,1322 \cdot 10^{-6}$	$1,4876 \cdot 10^{-6}$	$2,7262 \cdot 10^{-6}$	$5,3656 \cdot 10^{-6}$	$1,0471 \cdot 10^{-6}$
²³⁹ Pu	$1,2591 \cdot 10^{-4}$	$1,3161 \cdot 10^{-4}$	$1,4249 \cdot 10^{-4}$	$1,5064 \cdot 10^{-4}$	$1,5300 \cdot 10^{-4}$
²⁴⁰ Pu	$2,6395 \cdot 10^{-5}$	$2,9965 \cdot 10^{-5}$	$3,9140 \cdot 10^{-5}$	$5,1484 \cdot 10^{-5}$	$6,5540 \cdot 10^{-5}$
²⁴¹ Pu	$1,3614 \cdot 10^{-5}$	$1,5953 \cdot 10^{-5}$	$2,1863 \cdot 10^{-5}$	$2,9175 \cdot 10^{-5}$	$3,6032 \cdot 10^{-5}$
²⁴² Pu	$2,2623 \cdot 10^{-6}$	$3,0335 \cdot 10^{-6}$	$5,6472 \cdot 10^{-6}$	$1,0893 \cdot 10^{-5}$	$2,0303 \cdot 10^{-5}$
²⁴¹ Am	$4,0266 \cdot 10^{-6}$	$4,7603 \cdot 10^{-6}$	$6,6579 \cdot 10^{-6}$	$9,0866 \cdot 10^{-6}$	$1,1405 \cdot 10^{-5}$
²⁴³ Am	$2,6222 \cdot 10^{-7}$	$3,9809 \cdot 10^{-7}$	$9,7353 \cdot 10^{-7}$	$2,5108 \cdot 10^{-6}$	$6,1550 \cdot 10^{-6}$
²³⁷ Np	$6,8089 \cdot 10^{-6}$	$7,9041 \cdot 10^{-6}$	$1,0948 \cdot 10^{-5}$	$1,5602 \cdot 10^{-5}$	$2,1806 \cdot 10^{-5}$
⁹⁵ Mo	$3,1530 \cdot 10^{-5}$	$3,4781 \cdot 10^{-5}$	$4,3130 \cdot 10^{-5}$	$5,4806 \cdot 10^{-5}$	$6,9892 \cdot 10^{-5}$
⁹⁹ Tc	$3,0319 \cdot 10^{-5}$	$3,3465 \cdot 10^{-5}$	$4,1531 \cdot 10^{-5}$	$5,27466 \cdot 10^{-5}$	$6,6975 \cdot 10^{-5}$
¹⁰¹ Ru	$2,7452 \cdot 10^{-5}$	$3,0548 \cdot 10^{-5}$	$3,8751 \cdot 10^{-5}$	$5,0881 \cdot 10^{-5}$	$6,7875 \cdot 10^{-5}$
¹⁰³ Rh	$1,7260 \cdot 10^{-5}$	$1,9008 \cdot 10^{-5}$	$2,3371 \cdot 10^{-5}$	$2,9057 \cdot 10^{-5}$	$3,5406 \cdot 10^{-5}$
¹⁰⁹ Ag	$1,8879 \cdot 10^{-6}$	$2,2230 \cdot 10^{-6}$	$3,1774 \cdot 10^{-6}$	$4,7134 \cdot 10^{-6}$	$6,9836 \cdot 10^{-6}$
¹³³ Cs	$3,3140 \cdot 10^{-5}$	$3,6549 \cdot 10^{-5}$	$4,5257 \cdot 10^{-5}$	$5,7263 \cdot 10^{-5}$	$7,2263 \cdot 10^{-5}$
¹⁴⁷ Sm	$6,4488 \cdot 10^{-6}$	$6,9339 \cdot 10^{-6}$	$8,0315 \cdot 10^{-6}$	$9,2075 \cdot 10^{-6}$	$7,2263 \cdot 10^{-5}$
¹⁴⁹ Sm	$1,9390 \cdot 10^{-7}$	$1,9611 \cdot 10^{-7}$	$1,9935 \cdot 10^{-7}$	$1,9993 \cdot 10^{-7}$	$1,9259 \cdot 10^{-7}$
¹⁵⁰ Sm	$7,1174 \cdot 10^{-6}$	$8,0472 \cdot 10^{-6}$	$1,0496 \cdot 10^{-5}$	$1,3997 \cdot 10^{-5}$	$1,8627 \cdot 10^{-5}$
¹⁵¹ Sm	$5,7531 \cdot 10^{-7}$	$6,0064 \cdot 10^{-7}$	$6,6160 \cdot 10^{-7}$	$7,3765 \cdot 10^{-7}$	$8,1779 \cdot 10^{-7}$
¹⁵² Sm	$3,0178 \cdot 10^{-6}$	$3,3473 \cdot 10^{-6}$	$4,1844 \cdot 10^{-6}$	$5,3316 \cdot 10^{-6}$	$6,7637 \cdot 10^{-6}$
¹⁴³ Nd	$2,5793 \cdot 10^{-5}$	$2,8067 \cdot 10^{-5}$	$3,3502 \cdot 10^{-5}$	$3,9984 \cdot 10^{-5}$	$4,5992 \cdot 10^{-5}$
¹⁴⁵ Nd	$1,8633 \cdot 10^{-5}$	$2,0504 \cdot 10^{-5}$	$2,5263 \cdot 10^{-5}$	$3,1783 \cdot 10^{-5}$	$3,9892 \cdot 10^{-5}$
¹⁵³ Eu	$2,0026 \cdot 10^{-6}$	$2,3329 \cdot 10^{-6}$	$3,2546 \cdot 10^{-6}$	$4,6705 \cdot 10^{-6}$	$6,5858 \cdot 10^{-6}$
¹⁵⁵ Gd	$1,1986 \cdot 10^{-7}$	$1,4386 \cdot 10^{-7}$	$2,2155 \cdot 10^{-7}$	$3,6871 \cdot 10^{-7}$	$6,0862 \cdot 10^{-7}$
O	$4,6219 \cdot 10^{-2}$	$4,6219 \cdot 10^{-2}$	$4,6219 \cdot 10^{-2}$	$4,6219 \cdot 10^{-2}$	$4,6219 \cdot 10^{-2}$

Т а б л и ц а 3. Топливный состав каждой области

Область	Вариант					
	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3
1	EU45	EU45	EU45	B21G	B21G	B21G
2	EU45	EU45	EU45	B24G	B24G	B24G
3	EU45	EU45	EU45	B30G	B30G	B30G
4	EU45	EU45	EU45	B40G	B40G	B40G
5	NU	NU	NU	B55G	B55G	B55G
6	EU45	EU40	EU45	B40G	B55G	B40G
7	EU45	EU40	EU45	B30G	B40G	B30G
8	EU45	EU40	EU40	B24G	B30G	B30G
9	EU45	EU40	EU40	B21G	B24G	B24G

ме ПРИЗМА-ДСП. В вариантах 1.1 и 2.1 аксиальный состав является симметричным, поэтому распределение числа делений должно быть симметричным, что видно в расчете по программе ПРИЗМА-ДСП. Собственные значения k_0 , k_1 для всех вариантов приведены в табл. 6.

Закключение. Нейтроны делительного спектра, диффундируя в воде почти без поглощения, многократно отражаясь от зеркальной поверхности, теряют энергию вплоть до тепловой. По этой причине для всех вариантов расчетный $K_{эф}$ больше единицы, хотя коэффициент умножения системы без зеркала намного меньше единицы. Следовательно, рассматриваемая система хранения не является безопасной.

Т а б л и ц а 4. Сравнительные результаты $K_{эф}$ и числа делений

Область	MCNP	KENO	MORET	PRIZMA
	Вариант 1.1			
	$K_{эф}$			
	1,34253	1,33979	1,34239	$1,35221 \pm 0,000015$
	Число делений			
1	$1,87550 \cdot 10^{-2}$	$4,3021 \cdot 10^{-2}$	$4,66 \cdot 10^{-2}$	$4,688 \cdot 10^{-2} \pm 0,0021$
2	$2,02700 \cdot 10^{-2}$	$4,6327 \cdot 10^{-2}$	$5,03 \cdot 10^{-2}$	$5,003 \cdot 10^{-2} \pm 0,0021$
3	$5,12460 \cdot 10^{-2}$	$1,1722 \cdot 10^{-2}$	$1,263 \cdot 10^{-1}$	$1,264 \cdot 10^{-1} \pm 0,0021$
4	$9,48110 \cdot 10^{-2}$	$2,1692 \cdot 10^{-2}$	$2,218 \cdot 10^{-1}$	$2,341 \cdot 10^{-1} \pm 0,0021$
5	$3,58850 \cdot 10^{-2}$	$8,3417 \cdot 10^{-2}$	$5,7 \cdot 10^{-2}$	$4,222 \cdot 10^{-2} \pm 0,0021$
6				$4,229 \cdot 10^{-2} \pm 0,0021$
7	$3,99250 \cdot 10^{-1}$	$2,5277 \cdot 10^{-1}$	$2,484 \cdot 10^{-1}$	$2,345 \cdot 10^{-1} \pm 0,0021$
8	$2,15740 \cdot 10^{-1}$	$1,3638 \cdot 10^{-1}$	$1,413 \cdot 10^{-1}$	$1,266 \cdot 10^{-1} \pm 0,0021$
9	$8,51500 \cdot 10^{-2}$	$5,3884 \cdot 10^{-2}$	$5,630 \cdot 10^{-2}$	$5,011 \cdot 10^{-2} \pm 0,0021$
10	$7,88970 \cdot 10^{-2}$	$5,0056 \cdot 10^{-2}$	$5,200 \cdot 10^{-2}$	$4,698 \cdot 10^{-2} \pm 0,0021$
	Вариант 1.2			
	$K_{эф}$			
	1,34223	1,33952	1,34213	$1,35089 \pm 0,000016$
	Число делений			
1	$9,19800 \cdot 10^{-2}$	$9,2959 \cdot 10^{-2}$	$9,82 \cdot 10^{-2}$	$8,802 \cdot 10^{-2} \pm 0,00041$
2	$2,51210 \cdot 10^{-2}$	$1,0011 \cdot 10^{-1}$	$1,062 \cdot 10^{-1}$	$9,388 \cdot 10^{-2} \pm 0,00041$
3	$5,12460 \cdot 10^{-2}$	$2,5321 \cdot 10^{-1}$	$2,666 \cdot 10^{-1}$	$2,371 \cdot 10^{-1} \pm 0,00041$
4	$4,65240 \cdot 10^{-1}$	$4,6927 \cdot 10^{-1}$	$4,688 \cdot 10^{-1}$	$4,393 \cdot 10^{-1} \pm 0,00041$
5	$8,35530 \cdot 10^{-2}$	$8,3602 \cdot 10^{-2}$	$5,7 \cdot 10^{-2}$	$7,924 \cdot 10^{-2} \pm 0,00041$
6				$5,507 \cdot 10^{-3} \pm 0,0052$
7	$4,54010 \cdot 10^{-3}$	$4,4070 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$2,917 \cdot 10^{-2} \pm 0,0052$
8	$2,45240 \cdot 10^{-3}$	$2,3848 \cdot 10^{-4}$	$9,0 \cdot 10^{-4}$	$1,572 \cdot 10^{-2} \pm 0,0052$
9	$9,67970 \cdot 10^{-4}$	$9,4802 \cdot 10^{-5}$	$4,0 \cdot 10^{-4}$	$6,228 \cdot 10^{-3} \pm 0,0052$
10	$9,19800 \cdot 10^{-2}$	$9,2959 \cdot 10^{-2}$	$9,82 \cdot 10^{-2}$	$5,794 \cdot 10^{-3} \pm 0,0052$
	Вариант 1.3			
	$K_{эф}$			
	1,34093	1,33911	1,34185	$1,35092 \pm 0,000016$
	Число делений			
1	$5,31020 \cdot 10^{-2}$	$8,3149 \cdot 10^{-2}$	$8,48 \cdot 10^{-2}$	$5,756 \cdot 10^{-2} \pm 0,0017$
2	$5,71060 \cdot 10^{-2}$	$8,9610 \cdot 10^{-2}$	$9,17 \cdot 10^{-2}$	$6,138 \cdot 10^{-2} \pm 0,0017$
3	$1,44860 \cdot 10^{-1}$	$2,2666 \cdot 10^{-1}$	$2,304 \cdot 10^{-1}$	$1,550 \cdot 10^{-1} \pm 0,0017$
4	$2,68510 \cdot 10^{-1}$	$4,2021 \cdot 10^{-1}$	$4,046 \cdot 10^{-1}$	$2,872 \cdot 10^{-1} \pm 0,0017$
5				$5,179 \cdot 10^{-2} \pm 0,0017$
6	$8,44740 \cdot 10^{-2}$	$8,3810 \cdot 10^{-2}$	$5,72 \cdot 10^{-2}$	$3,344 \cdot 10^{-2} \pm 0,0026$
7	$2,04310 \cdot 10^{-1}$	$5,0521 \cdot 10^{-2}$	$6,66 \cdot 10^{-2}$	$1,839 \cdot 10^{-1} \pm 0,0026$
8	$1,08910 \cdot 10^{-1}$	$2,6795 \cdot 10^{-2}$	$3,74 \cdot 10^{-2}$	$9,819 \cdot 10^{-2} \pm 0,0026$
9	$4,09380 \cdot 10^{-2}$	$1,0020 \cdot 10^{-2}$	$1,42 \cdot 10^{-2}$	$3,702 \cdot 10^{-2} \pm 0,0026$
10	$3,78000 \cdot 10^{-2}$	$9,2240 \cdot 10^{-3}$	$1,31 \cdot 10^{-2}$	$3,458 \cdot 10^{-2} \pm 0,0026$

Т а б л и ц а 5. Сравнительные результаты $K_{эф}$ и числа делений

Область	MCNP	KENO	MORET	PRIZMA
	Вариант 2.1			
	$K_{эф}$			
1	1,05324	1,04964	1,05625	1,06133 ± 0,000015
	Число делений			
	$3,01990 \cdot 10^{-2}$	$5,0738 \cdot 10^{-2}$	$5,41 \cdot 10^{-2}$	$5,527 \cdot 10^{-2} \pm 0,0022$
	$2,98640 \cdot 10^{-2}$	$5,0144 \cdot 10^{-2}$	$5,41 \cdot 10^{-2}$	$5,397 \cdot 10^{-2} \pm 0,0022$
	$6,43580 \cdot 10^{-2}$	$1,0897 \cdot 10^{-1}$	$1,179 \cdot 10^{-1}$	$1,159 \cdot 10^{-1} \pm 0,0022$
	$9,81180 \cdot 10^{-2}$	$1,6824 \cdot 10^{-1}$	$1,822 \cdot 10^{-1}$	$1,754 \cdot 10^{-1} \pm 0,0022$
	$2,45300 \cdot 10^{-1}$	$2,4903 \cdot 10^{-1}$	$2,527 \cdot 10^{-1}$	$1,272 \cdot 10^{-1} \pm 0,0021$
				$1,286 \cdot 10^{-1} \pm 0,0021$
	$2,34520 \cdot 10^{-1}$	$1,6591 \cdot 10^{-1}$	$1,513 \cdot 10^{-1}$	$1,774 \cdot 10^{-1} \pm 0,0021$
	$1,53970 \cdot 10^{-1}$	$1,0749 \cdot 10^{-1}$	$9,79 \cdot 10^{-2}$	$1,172 \cdot 10^{-1} \pm 0,0022$
2	$7,14230 \cdot 10^{-2}$	$4,9458 \cdot 10^{-2}$	$4,49 \cdot 10^{-2}$	$5,459 \cdot 10^{-2} \pm 0,0022$
	$7,22540 \cdot 10^{-2}$	$5,0002 \cdot 10^{-2}$	$4,48 \cdot 10^{-2}$	$5,589 \cdot 10^{-2} \pm 0,0022$
	Вариант 2.2			
	$K_{эф}$			
	1,05322	1,04966	1,05634	1,06130 ± 0,000016
	Число делений			
	$1,02380 \cdot 10^{-1}$	$1,0055 \cdot 10^{-1}$	$9,89 \cdot 10^{-2}$	$1,048 \cdot 10^{-1} \pm 0,00018$
	$1,01030 \cdot 10^{-1}$	$9,9501 \cdot 10^{-2}$	$9,90 \cdot 10^{-2}$	$1,023 \cdot 10^{-1} \pm 0,00017$
	$2,18000 \cdot 10^{-1}$	$2,1633 \cdot 10^{-1}$	$2,156 \cdot 10^{-1}$	$2,196 \cdot 10^{-1} \pm 0,00014$
	$3,326200 \cdot 10^{-1}$	$3,3431 \cdot 10^{-1}$	$3,333 \cdot 10^{-1}$	$3,325 \cdot 10^{-1} \pm 0,00010$
3	$2,45970 \cdot 10^{-1}$	$2,4932 \cdot 10^{-1}$	$2,532 \cdot 10^{-1}$	$2,405 \cdot 10^{-1} \pm 0,00028$
				$4,321 \cdot 10^{-4} \pm 0,0097$
	$3,30730 \cdot 10^{-6}$	$9,9133 \cdot 10^{-7}$	0	$4,704 \cdot 10^{-7} \pm 0,1880$
	$1,40840 \cdot 10^{-6}$	$1,9887 \cdot 10^{-7}$	0	$1,836 \cdot 10^{-7} \pm 0,2620$
	$7,94680 \cdot 10^{-7}$	$1,1715 \cdot 10^{-7}$	0	$8,466 \cdot 10^{-8} \pm 0,3140$
	$7,66240 \cdot 10^{-7}$	$1,4242 \cdot 10^{-7}$	0	$8,285 \cdot 10^{-7} \pm 0,3530$
	Вариант 2.3			
	$K_{эф}$			
	1,05271	1,04933	1,05615	1,05967 ± 0,000016
	Число делений			
	$1,02380 \cdot 10^{-1}$	$1,0055 \cdot 10^{-1}$	$9,89 \cdot 10^{-2}$	$1,048 \cdot 10^{-1} \pm 0,00018$
4	$1,01030 \cdot 10^{-1}$	$9,9501 \cdot 10^{-2}$	$9,90 \cdot 10^{-2}$	$1,023 \cdot 10^{-1} \pm 0,00017$
	$2,18000 \cdot 10^{-1}$	$2,1633 \cdot 10^{-1}$	$2,156 \cdot 10^{-1}$	$2,196 \cdot 10^{-1} \pm 0,00014$
	$3,326200 \cdot 10^{-1}$	$3,3431 \cdot 10^{-1}$	$3,333 \cdot 10^{-1}$	$3,325 \cdot 10^{-1} \pm 0,00010$
	$2,45970 \cdot 10^{-1}$	$2,4932 \cdot 10^{-1}$	$2,532 \cdot 10^{-1}$	$2,405 \cdot 10^{-1} \pm 0,00028$
				$4,321 \cdot 10^{-4} \pm 0,0097$
	$3,30730 \cdot 10^{-6}$	$9,9133 \cdot 10^{-7}$	0	$4,704 \cdot 10^{-7} \pm 0,1880$
	$1,40840 \cdot 10^{-6}$	$1,9887 \cdot 10^{-7}$	0	$1,836 \cdot 10^{-7} \pm 0,2620$
	$7,94680 \cdot 10^{-7}$	$1,1715 \cdot 10^{-7}$	0	$8,466 \cdot 10^{-8} \pm 0,3140$
	$7,66240 \cdot 10^{-7}$	$1,4242 \cdot 10^{-7}$	0	$8,285 \cdot 10^{-7} \pm 0,3530$

Таблица 6. Значения k_0 , k_1

Вариант	k_0	k_1
1.1	1,3522069	1,3522066
1.2	1,3508869	1,3508863
1.3	1,3509182	1,3509180
2.1	1,0613341	1,0610736
2.2	1,0613037	0,9449672
2.3	1,0596718	1,0592955

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кандиев Я.З., Орлов В.Г., Серова Е.В. Методика одновариантных и многовариантных расчетов слабосвязанных систем методом Монте-Карло. Тезисы докл. XII Забалахтинских научных чтений. Снежинск, 2014, с. 267.
2. Кандиев Я.З., Лобанова Л.В., Орлов В.Г., Серова Е.В. Методика расчетов слабосвязанных систем методом Монте-Карло по программе ПРИЗМА-ДСП. — Атомная энергия, 2017, т. 123, вып. 6, с. 339—344.
3. Armishaw M., Blomquist R., Natio Y. Source Convergence in Critically Safety Analyses. Phase I: Results of Four Test Problems. OECD/NEA № 5431, 2006.
4. Yoshitaka N., Jinan Y. Pin-cell Array with Irradiated Fuel: Test Problem 2. OECD/NEA № 5431, 2006, p. 37—56.

Поступило в Редакцию 31.07.17

УДК 621.039.51

ЗАДАЧИ ИЗОТОПНОЙ КИНЕТИКИ НА ПОЛНОМ БАЗИСЕ ЭЛЕМЕНТОВ ВЫХОДА ПРОДУКТОВ ДЕЛЕНИЯ

Митенкова Е.Ф., Соловьева Е.В. (ИБРАЭ РАН, г. Москва),
Маничев В.Б., Фельдман Э.О. (МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва)

Повышение эффективности работ, связанных с обращением с отработавшим ядерным топливом, предусматривает увеличение точности вычисляемого нуклидного состава облученного топлива. Это предполагает не только проведение уточняющих расчетов, к которым относятся, например, полномасштабные (потвзельные) расчеты выгорания стандартными методами с ограниченной базой ядерных данных, но и разработку прецизионных методов на основе библиотек ядерно-физических данных при максимально полном использовании ядерных данных [1, 2]. Прецизионные методы должны обеспечивать гарантированную точность результатов с обоснованием их устойчивости, что крайне важно в отсутствие точных аналитических решений и недостаточной базы экспериментальных данных для большей части вычисляемых нуклидов.

Математическое моделирование выгорания описывается системой обыкновенных дифференциальных уравнений, размерность которой зависит от числа учитываемых элементов. Использование в расчетной модели ограниченной базы нуклидов с кумулятивными значениями в цепочках перехода оправдано для конкретных типов задач с жестко определенными временными параметрами. Так, энергораспределение, которое рассчитывается на основе состава облученного топлива, полученного в расчетах с традиционным набором из 200—400 нуклидов, согласуется с экспериментальными и эксплуатационными данными в условиях нормальной эксплуатации реакторов. При отсутствии подобной информации

для новых реакторных систем полноценные расчеты без ограничений на используемые нуклиды и временные характеристики облучения представляются наиболее предпочтительными. Прецизионные расчеты, использующие расширенные модели независимого выхода продуктов деления, цепочки переходов с учетом значимых нейтронных реакций, включая реакции с возбуждением типа (n, x^*) и процессы с коротко- и долгоживущими элементами, обуславливают математические проблемы решения жестких систем обыкновенных дифференциальных уравнений большой размерности, к которым относятся задачи изотопной кинетики реакторных систем. При моделировании выгорания на полном базисе элементов выхода продуктов деления матрицы имеют размерность 2500×2500 и более с различающимися до 20 порядков элементами. Для решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений с ограниченным базисом элементов, не содержащим коротко- и долгоживущие элементы, прямые методы типа Рунге—Кутты или Эйлера с постоянным шагом интегрирования не обеспечивают устойчивых решений [3]. Отсутствие асимптотической теории для жестких систем общего вида и незнание качественного поведения траектории дифференциального уравнения не позволяют оценивать погрешности расчета [4]. Из-за отсутствия универсального метода способы решения жестких систем обыкновенных дифференциальных уравнений во многом зависят от специфики используемых матриц. При этом чувствительность решения к малым изменениям в матрице также является источником