



Р и с. 3. Дифференциальные сечения фотоделения [1] (1), фотообразования  $^{140}\text{Ba}$  (2) и  $^{115}\text{Cd}$  (3). Для  $^{239}\text{Pu}$  кривая 3 — в отриц. ед.

осколков [1] и не превышала  $\pm 10\%$ . Указанные в таблице и на рис. 3 максимальные погрешности определяли в соответствии с методом обратной матрицы [5].

Сопоставление полученных данных показывает:

1. Кривые  $Y_0(E_0)$ ,  $\sigma_{\text{инт}}(E)$ ,  $\sigma_{\gamma_0}(E)$ ,  $Y_0(E_0)$ ,  $\sigma_{\text{инт}}(E)$  и  $\sigma_{\gamma_0}(E)$  фотообразования  $^{115}\text{Cd}$  сдвинуты относительно аналогичных кривых фотообразования  $^{140}\text{Ba}$  или фотоделения  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{237}\text{Np}$ ,  $^{239}\text{Pu}$  на 2—3 МэВ в область

больших энергий фотонов. Такой сдвиг наблюдается вплоть до энергий фотонов 12 МэВ и не может быть объяснен погрешностями расчетов.

2. При делении  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{237}\text{Np}$ ,  $^{239}\text{Pu}$  фотонами с энергией 10,5 МэВ сечение образования  $^{140}\text{Ba}$  больше сечения образования  $^{115}\text{Cd}$ . Сечение образования  $^{115}\text{Cd}$  (как это следует из таблицы) того же порядка, что и сечение образования изомеров в ( $\gamma$ ,  $n$ )-реакциях на нуклидах плутония и америция [6].

Такое поведение кривых выходов и сечений симметричного и несимметричного фотоделения возможно связано с тем, что в процессе взаимодействия  $\gamma$ -кванта с ядром возникает октагональная деформация, как показано в работах [6, 7], при которой высота второго барьера деления понижается на 2—3 МэВ и канал асимметричного по массам деления «открыт» сильнее, чем канал симметричного деления.

В заключение выражаем благодарность В. М. Струтинскому и Б. Д. Кузьминову за полезные советы и помощь в работе.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горбачев В. М., Замятин Ю. С., Лбов А. А. Взаимодействие излучений с ядрами тяжелых элементов и деление ядер. Справочник. М., Атомиздат, 1976.
2. Кондратько М. Я., Коринец В. Н., Петржак К. А. «Атомная энергия», 1973, т. 34, вып. 1, с. 52.
3. Кондратько М. Я., Коринец В. Н., Петржак К. А. Там же, т. 35, вып. 3, с. 214.
4. Кондратько М. Я., Коринец В. Н., Петржак К. А. Там же, 1976, т. 40, вып. 1, с. 72.
5. Богданкевич О. В., Николаев Ф. А. Работа с пучком тормозного излучения. М., Атомиздат, 1964.
6. Поликанов С. М. Изомерия формы атомных ядер. М., Атомиздат, 1977.
7. Strutinsky V. «Nucl. Phys.», 1967, v. A95, p. 420; «Rev. Mod. Phys.», 1972, v. 44, p. 320.

Поступило в Редакцию 27.11.78  
В окончательной редакции 03.05.79

УДК 621.039.58

## Поведение кипящего реактора при извлечении компенсирующих поглотителей

ФЕДЯКИН Р. Е., КОЗИН Е. В.

При исследовании вопросов безопасности реакторов важное место уделяется рассмотрению их поведения в различных аварийных ситуациях. Одна из опасных ситуаций может возникнуть при непредусмотренном извлечении компенсирующих поглотителей, в результате чего высвобождается избыточная реактивность, вызывающая быстрое возрастание плотности нейтронов и тепловыделения, что в конечном счете ведет к разрушению твэлов. Для предотвращения такой аварии в схемах управления и защиты предусмотрено ограничение скорости извлечения поглотителей, а их перемещение, как правило, осуществляется шагами.

В кипящем реакторе ВК-50 в критическом состоянии без кипения в активной зоне, как и в реакторах ВВЭР\*, извлечение любой группы компенсирующих поглотителей всего на 20—25 мм приводит к быстрому возрастанию плотности нейтронов (с периодом  $< 20$  с). Однако после дости-

жения режима развитого кипения реакция активной зоны на извлечение компенсирующих поглотителей значительно ослабевает.

Эксперименты с извлечением компенсирующих поглотителей проводили при низком ( $P = 1,5$  МПа) и высоком ( $P = 7$  МПа) давлении в реакторе. Мощность реактора была равна соответственно 16 и 110–130 МВт, а среднее объемное паросодержание в активной зоне составляло  $\sim 25$  и 34%.

Группы компенсирующих поглотителей (по 3 штуки в каждой) сначала на периферии, а затем в центре активной зоны извлекали непрерывно со скоростью 2,5 мм/с. Исходное положение компенсирующих поглотителей соответствовало области их наибольшей эффективности. Поглотители извлекали на 300 мм, при этом средняя скорость увеличения реактивности составляла  $1,7 \cdot 10^{-4}$  1/с. В результате в течение двух минут была введена избыточная реактивность  $\sim 2\%$ . Несмотря на это, в процессе извлечения поглотителей мощность реактора возрастала с периодом 4—5 мин и увеличилась всего на 25% при низком давлении и на 15% — при высоком.

\* Сидоренко В. А. Вопросы безопасности работы реакторов ВВЭР. М., Атомиздат, 1977, с. 89



При давлении 7 МПа и мощности реактора 130 МВт центральный компенсирующий поглотитель был извлечен на 400 мм со скоростью 35 мм/с. При этом средняя скорость увеличения реактивности составила  $2 \cdot 10^{-3}$  1/с. Но и в этом случае, как и прежде, период разгона реактора был равен  $\sim 4$  мин. После прекращения извлечения поглотителей возрастание мощности реактора также прекращалось.

Проведенные эксперименты показали, что после введения избыточной реактивности при извлечении поглотителей

происходит ее быстрая компенсация за счет дополнительной генерации пара. Благодаря этому, при работе корпусного кипящего реактора ВК-50 в режиме развитого кипения даже в случаях повреждения схемы управления или ошибочных действий оператора, приводящих к непрерывному извлечению поглотителей, не возникает опасного увеличения скорости нарастания мощности.

Поступило в Редакцию 24.01.79.

УДК 539.121.72:539.122

## Дозовые факторы накопления гамма-излучения в воздухе

БУТУЕВА И. Н., ТРОФИМОВ И. Н.

В последнее время появилась практическая необходимость расчетов прохождения  $\gamma$ -излучения в воздухе, причем особый интерес представляют  $\gamma$ -кванты энергией более 10 МэВ.

### Дозовые факторы накопления $\gamma$ -излучения в воздухе

$\mu, x$	E, МэВ									
	0,5	1	2	3	4	5	6	8	10	15
Плоский мононаправленный источник										
1	2,6	2,2	1,85	1,74	1,69	1,62	1,53	1,45	1,41	1,30
2	4,2	3,2	2,60	2,35	2,21	2,06	1,93	1,78	1,70	1,58
4	8,1	5,8	4,5	3,7	3,3	3,0	2,7	2,45	2,2	1,95
7	16,5	10,5	7,2	5,7	4,9	4,4	4,0	3,5	3,0	2,5
10	29	17	10,3	7,8	6,5	5,8	5,1	4,4	3,7	3,1
15	59	32	16,2	11,5	9,1	7,9	6,9	5,6	4,7	4,0
20	115	59	24,5	16,4	12,9	10,7	9,3	7,8	6,4	5,3
Плоский изотропный источник										
1	3,45	2,85	2,3	2,1	2,0	1,93	1,82	1,76	1,65	1,46
2	6,4	4,8	3,4	2,9	2,65	2,55	2,35	2,12	2,0	1,75
4	16	9,5	5,7	4,8	4,05	3,7	3,2	2,85	2,6	2,3
7	40	18,2	9,8	7,4	5,9	4,9	4,3	3,8	3,5	2,9
10	70	30	14,2	10,3	7,8	6,3	5,6	4,8	4,3	3,4
15	146	54	23	15	11,2	9,1	7,8	6,6	5,8	4,3
20	280	91	37	20,5	15,1	12,4	10,5	8,7	7,7	5,6
Точечный изотропный источник										
1	2,25	1,83	1,7	1,62	1,6	1,55	1,5	1,49	1,42	1,3
2	3,9	3,24	2,6	2,25	2,16	2,15	2,02	1,85	1,76	1,56
4	11,4	7,45	4,65	4,1	3,5	3,3	2,88	2,58	2,35	2,12
7	31,8	15,3	8,6	6,6	5,3	4,5	3,95	3,5	3,25	2,75
10	59	26	12,8	9,5	7,2	5,8	5,2	4,5	4,0	3,25
15	127	49	21	14,1	10,5	8,5	7,35	6,25	5,5	4,15
20	250	82	34	19,5	14,3	11,7	10	8,3	7,35	5,3

Авторами рассчитаны с помощью метода Монте-Карло дозовые факторы накопления в воздухе для энергии от 0,5 до 15 МэВ. Использовалась модификация метода, позволяющая проводить расчеты для больших глубин проникновения [1]. Сущность модификации заключается в задании источников первого столкновения равномерно по толщине защиты, что обеспечивает блуждание частиц на любой глубине, дополнительно используется расщепление. Поверхности расщепления расставляются равномерно с шагом 0,8 длины пробега для начальной энергии  $\gamma$ -квантов. Данная модификация проверена контрольными расчетами факторов накопления в воде и железе [1], при этом получено хорошее совпадение с результатами Гольдштейна и Уилкинса [2] в среднем с точностью 5—10%, максимальное расхождение не превышало 15%.

Расчеты дозовых факторов накопления в воздухе проводились для плоского мононаправленного и плоского изотропного источников с использованием констант, взятых из справочника [3]. Значение для точечного изотропного источника пересчитывали в соответствии с данными для плоского изотропного источника по формуле, приведенной в работе [1]. Нижняя граница дифференциального энергетического спектра выбрана равной 20 кэВ. Результаты расчетов приведены в таблице.

Статистическая погрешность результатов изменяется от 5 до 20% при изменении толщины защиты от 1 до 20 длин пробега.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бутуева И. Н. и др. «Атомная энергия», 1978, т. 45, вып. 2, с. 125.
2. Гольдштейн Г., Уилкинс Д. В кн.: Защита транспортных установок с ядерным двигателем. М., изд-во иностр. лит., 1961.
3. Сторм Э., Израэль Х. Сечения взаимодействия гамма-излучения. М., Атомиздат, 1973.

Поступило в Редакцию 08.01.79

УДК 539.1.073/074

## Прецизионный метод измерения тепловыделения в критических сборках

БАКОВ А. Т., ВОЛКОВ В. А., МУСАЕВ Р. А.

Компактная схема размещения оборудования первого контура быстрых реакторов, например БН-600, вызывает серьезные трудности в организации внутрикорпусной защиты, которая размещается между активной зоной и тепло-

обменниками и является одним из главных элементов интегральной схемы. Разогрев элементов экрана и защиты существует в тепловом режиме установки. Особый интерес с технологической точки зрения представляет изучение