Ж 53/А92

АКАДЕМИЯ НАУК СОЮЗА ССР

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ СССР

Атомная энергия

Ежемесячный журнал
ГОД ИЗДАНИЯ ДВЕНАДЦАТЫЙ

АТОМИЗДАТ ■ МОСКВА ■ 1968 Том 24 ■ Май ■ Вып. 5

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

А. И. АЛИХАНОВ, А. А. БОЧВАР, А. П. ВИНОГРАДОВ, Н. А. ВЛАСОВ (зам. главного редактора), И. Н. ГОЛОВИН, Н. А. ДОЛЛЕЖАЛЬ, А. П. ЗЕФИРОВ, В. Ф. КАЛИНИН, Н. А. КОЛОКОЛЬЦОВ (зам. главного редактора), А. К. КРАСИН, А. И. ЛЕЙПУНСКИЙ, В. В. МАТВЕЕВ, М. Г. МЕЩЕРЯКОВ, М. Д. МИЛЛИОНЩИКОВ (главный редактор), П. Н. ПАЛЕЙ, Д. Л. СИМОНЕНКО, В. И. СМИРНОВ, В. С. ФУРСОВ, В. Б. ШЕВЧЕНКО.

СОДЕРЖАНИЕ

СТАТЬИ

В. И. Баранов. Развитие радиогеологии в СССР . . . 419

Я. Боганч, П. Квиттнер, Э. Сабо. Определение некоторых примесей в кремнии высокой чистоты методом активационного анализа без разрушения образцов . . . 421

Я. Боужик, Е. Кубовский, С. Лятэк. Измерение материального параметра критической сборки «Анна» 425

Н. Г. Баданина, Ю. П. Сайков. Критерий сравнения состояния твэлов активной зоны реактора . . . 429

Ю. В. Чушкин, Е. Ф. Давыдов, В. Н. Сюзёв, Т. М. Гусева, В. В. Колесов, М. Д. Дерибизов. Радиационная стойкость пластинчатых твэлов реактора СМ-2 . . . 432

Б. Г. Егиазаров, В. А. Зюбко, А. И. Новиков. Выбор оптимальной аналитической методики при инструментальном активационном анализе . . . 435

В. И. Субботин, Д. М. Овечкин, Д. Н. Сорокин, А. П. Кудрявцев. Теплоотдача при кипении натрия в условиях свободной конвекции . . . 437

В. П. Бобков, М. Х. Ибрагимов, В. И. Субботин. Расчет коэффициента турбулентного переноса тепла при течении жидкости в трубе . . . 442

В. Я. Кудяков, М. В. Смирнов, Н. Я. Чукреев, Ю. В. Посохин. Образование двухвалентного тория в среде расплавленного хлористого калия 448

Н. М. Зуева, Л. С. Соловьев. Равновесие и устойчивость плазмы в аксиально симметричных тороидальных системах . . . 453

ПЕРСОНАЛИЯ

Исаак Константинович Кикоин (к 60-летию со дня рождения) . . . 460

АННОТАЦИИ ДЕПОНИРОВАННЫХ СТАТЕЙ

Н. Е. Брежнева, Ю. И. Капшанинов, С. Н. Озиранер. Изучение кинетики электролитического выделения гидроокисных осадков редкоземельных элементов . . . 462

А. С. Тишечкин. Вычислительное устройство для обработки γ-спектров . . . 462

В. Е. Дроздов, Ю. С. Рябухин. К расчету мощностей поглощенных доз полого цилиндрического облучателя с неравномерным распределением активности . . . 463

М. Задубан, Л. Медвидь. Определение суммарной β-активности долгоживущих продуктов деления при помощи K^{40} . . . 464

Г. П. Березина, Я. Б. Файнберг, А. К. Березин. Экспериментальное исследование потоков быстрых ионов, образующихся в системе пучок — плазма 465

ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

М. А. Сарычев, Ю. Н. Алексенко, Н. В. Звонов, В. И. Буйницкая, И. В. Рогожкин, А. А. Баталов, Ю. В. Александров. Распределение потока тепловых нейтронов в различных отражателях с каналами . . . 467

Т. М. Гусева, Е. Ф. Давыдов, В. Н. Сюзёв, Ю. В. Чушкин. О возможном характере изменения объема тепловыделяющих композиций при твердом распухании . . . 469

Е. М. Лобанов, Н. В. Зиновьев. Определение необходимой статистики при бескорреляционной расшифровке данных активационного анализа . . . 471

С. Н. Вотинов, Т. М. Гусева, В. И. Клименков. О радиационной стойкости сплава циркония с 1% ниобия в условиях работы реактора СМ-2 . . . 473

А. Э. Шемьи-заде. О сухих выпадениях продуктов ядерных испытаний . . . 474

К. П. Захарова, Г. М. Иванов, В. В. Куличенко, Н. В. Крылова, Ю. В. Сорокин, М. И. Федорова. Об использовании тепла химических реакций для термической переработки жидких радиоактивных отходов . . . 475

225381/пе

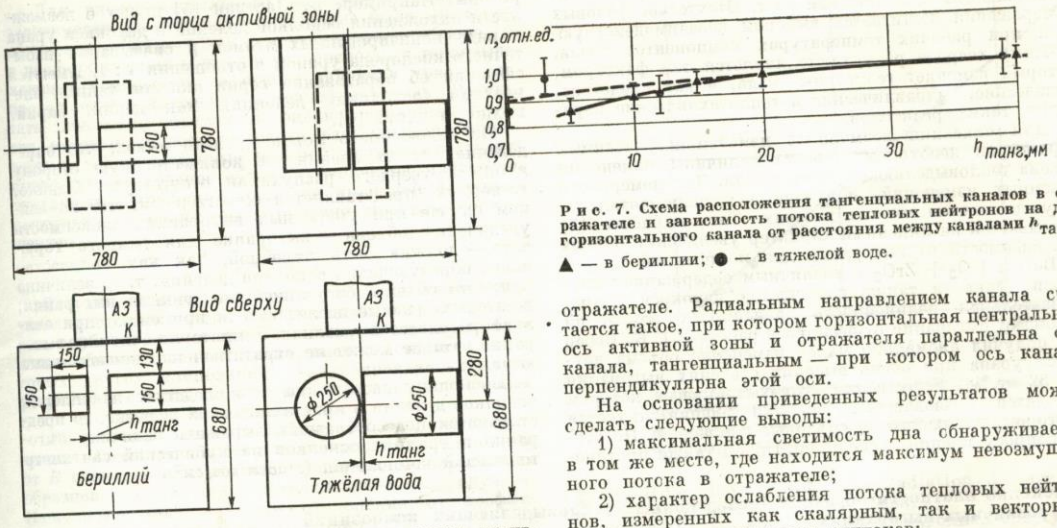


Рис. 7. Схема расположения тангенциальных каналов в отражателе и зависимость потока тепловых нейтронов на дне горизонтального канала от расстояния между каналами $h_{танг}$: ▲ — в бериллии; ● — в тяжелой воде.

канала; пунктиром на схемах показан торец активной зоны.

В таблице приведены значения потоков в центре дна радиального и тангенциального квадратных каналов в бериллии (см. рис. 6 и 7) по отношению к максимальному невозмущенному потоку в бериллиевом отражателе. Радиальным направлением канала считается такое, при котором горизонтальная центральная ось активной зоны и отражателя параллельна оси канала, тангенциальным — при котором ось канала перпендикулярна этой оси.

Относительные значения потоков нейтронов в центре дна каналов

Направление канала	Сторона канала a, *мм*	Положение второго канала	
		отсутствует	находится вблизи измеряемого
Радиальное	250	0,40	0,35 ($h_{рад}$ = 37 *мм*)
Тангенциальное	150	0,64	0,61 ($h_{танг}$ = 50 *мм*)

На основании приведенных результатов можно сделать следующие выводы:

1) максимальная светимость дна обнаруживается в том же месте, где находится максимум невозмущенного потока в отражателе;

2) характер ослабления потока тепловых нейтронов, измеренных как скалярным, так и векторным детекторами, практически одинаков;

3) результаты опыта можно применять для достаточно точных количественных оценок эффекта изменения светимости дна каналов различной формы диаметром до 250 *мм* в бериллиевом и тяжеловодном отражателях;

4) в любом положении канала диаметром 150 *мм* и при наличии такого же соседнего канала ослабление потока тепловых нейтронов по сравнению с невозмущенным отражателем в бериллии составляет не более 60%, в тяжелой воде — не более 55%.

Поступило в Редакцию 23/I 1967 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. С. Коченов. «Атомная энергия», 19, 530 (1965).
2. Н. И. Лалетин. В сб. «Вопросы физики защиты». М., Госатомиздат, 1963, стр. 119.

О возможном характере изменения объема тепловыделяющих композиций при твердом распухании

УДК 621.039.548

Т. М. ГУСЕВА, Е. Ф. ДАВЫДОВ, В. Н. СЮЗЁВ, Ю. В. ЧУШКИН

Изменение объема тепловыделяющей композиции твэла в процессе облучения является наиболее важным фактором при оценке его стойкости. Эти изменения могут быть следствием нескольких причин. Кроме специфических явлений, таких, как радиационный рост анизотропных материалов или фазовые превращения в сложных гетерогенных системах, в любом случае должно происходить так называемое твердое распухание за счет большего, чем у делящегося материала, объема осколков деления. В принципе газовое распухание также является обязательным фактором при оценке стойкости твэла. Следует отметить, что у каждого горючего имеется область температур, где газовое распухание протекает весьма интенсивно. Однако при более низких температурах поведение газовых осколков деления аналогично поведению твердых осколков и при отсутствии специфических причин распухания твердое распухание является единственным фактором, приводящим к увеличению объема.

При умеренных температурах теплоносителя и тепловыделяющих элементов эксплуатируется значительное число реакторов [1], в основном исследовательских (например, MTR и СМ-2). В качестве горючего в этих реакторах используются, как правило, соеди-

нения урана с кубической кристаллической решеткой, исключающей анизотропный рост. Отсутствие фазовых превращений достигается выбором невзаимодействующих при рабочих температурах компонентов твэла. Поэтому твердое распухание является тем фактором, который изменяет геометрию твэла, и как следствие, физические, гидравлические и теплотехнические параметры таких реакторов.

Для описания возможных изменений указанных параметров необходима оценка величины изменения объема тепловыделяющей композиции. Закономерности объемных изменений, полученные экспериментально, обсуждаются во многих работах. Так, в работе [2] указывается на линейный характер увеличения объема в зависимости от выгорания для композиций $UO_2 + BeO$ и $UO_2 + ZrO_2$ с различным содержанием двуокиси урана, а также для чистой двуокиси урана. Обязательная нелинейность зависимости изменений объема от выгорания отмечается в работе [3]. К. Вебер [4] получил аномально малое изменение объема двуокиси урана при очень высоких степенях выгорания (до 52 ат.%). Естественно, что состояние, в котором находятся образовавшиеся осколки деления, является фактором, влияющим на объемные изменения. По этому вопросу мнения экспериментаторов также противоречивы. Например, Б. Ластман [5] пишет о возможности нахождения осколков деления в двуокиси урана в виде ионизированных атомов и связывании избыточного кислорода ураном в отношении 4 : 1. Имеются сведения об образовании серии окислов такими элементами (осколками деления), как церий, барий, молибден и пр. [6].

Из изложенного можно сделать вывод, что определенная точка зрения на количественную сторону процесса твердого распухания отсутствует. Однако, во-первых, представляется естественным, что во всяком случае при умеренных выгораниях зависимость увеличения объема — выгорание для данного горючего — должна быть линейной, так как количество вновь образующихся осколков деления, т. е. величина прироста объема, есть линейная функция выгорания; во-вторых, разные исследователи применяют при анализе результатов различные критерии оценки выгорания, что не может не отразиться на окончательных выводах.

Поскольку распухание есть следствие накопления осколков деления в кристаллической решетке, то представляется целесообразным выражать величину выгорания в граммах осколков на кубический сантиметр топливной композиции (*г·осколков/см³*).

Изменение плотности образцов дисперсионных тепловыделяющих композиций при различных выгораниях

Тепловыделяющая композиция	Выгорание B, $\frac{г \cdot осколков}{см^3}$	Уменьшение плотности $\delta\rho$, %	Погрешность при расчете $\delta(\delta\rho)$, %	$\delta\rho/B$, %/$\frac{г \cdot осколков}{см^3}$	Литература
UO_2+Ni	0,06	1,0	127	16,8	Данные авторов настоящей работы
UO_2+Ni	0,07	1,0		13,3	То же
UO_2+Ni	0,23	3,5	23	15,2	» »
UO_2+Cu	0,36	5,4		15,5	» »
UO_2+Ni	0,46	6,9	16	15,0	» »
UO_2+Cu	0,52	8,0		15,4	» »
UO_2+Cu	0,61	9,1	7,5	14,9	» »
UO_2+Cu	0,72	10,8		15,0	» »
UO_2+Ni	0,83	12,5		15,1	» »
UO_2+нержавеющая сталь	0,39	4,6 у образцов с оболочкой: 5,8 в пересчете на тепловыделяющую композицию		14,8	[7]
UO_2	0,039	0,7 на 10^{20} *делений/см³*		18,0	[8]
UO_2	0,097	1,2 на 1 ат.% выгорания		12,4	[9]
ZrO_2+UO_2	1,17	17		14,5	[10]
UC (4,71 вес.% C)	0,39	6,1		15,8	[11]
UO_2	0,039	0,7		18,0	[2]
Металлический квазиизотропный уран	0,186	2,8		15,1	[12]
UAl_4+Al	0,11	1,5		13,0	[13]
UAl_4+Al	0,11	1,6		14,0	[13]
UAl_4+Al	0,14	2,1		15,0	[13]
UAl_4+Al	0,15	2,0		13,3	[13]
UAl_4+Al	0,19	2,8		14,7	[13]
UC	0,26	4,3		16,5	[14]
UN	0,45	7,0		15,5	[14]

Для экспериментального определения характера зависимости распухание — выгорание было проведено облучение при $t < 200°$ С с измерением объема до и после облучения образцов дисперсионных тепловыделяющих композиций на основе двуокиси урана, распределенной в никелевой и медной матрицах. Результаты измерений объемов (по оценке величины плотности методом гидростатического взвешивания) приведены в таблице, данные которой позволяют сделать вывод, что увеличение объема (уменьшение плотности) указанных композиций является линейной функцией выгорания и может быть описано простым соотношением

$$\delta\rho = 15B.$$

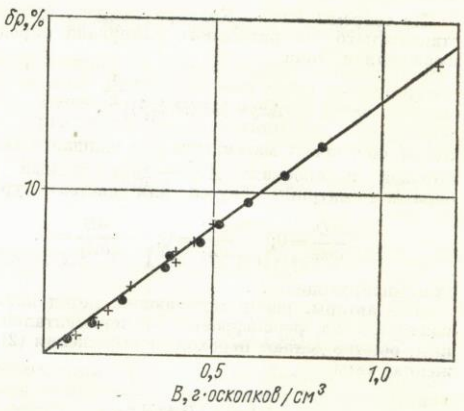
С целью определения границ области применения указанной зависимости был проведен анализ некоторых опубликованных данных по изменению при облучении объема двуокиси урана, дисперсионных и некоторых других композиций. Анализировались только результаты опытов, в которых выделение осколочных газов из решетки не наблюдалось.

На рисунке данные таблицы представлены графически. Здесь линейность зависимости величины $\delta\rho$ от B очевидна как для исследованных дисперсионных образцов, так и для проанализированных случаев. Кажущиеся значительными отклонения от коэффициента пропорциональности, равного 15, приходятся на область малых выгораний, где изменения объема невелики, а ошибки измерения этих изменений большие. По мере увеличения выгорания отклонения от этого коэффициента существенно уменьшаются.

Таким образом, можно считать, что линейный характер зависимости величины твердого распухания от выгорания присущ многим композициям в области температур и составов, где отсутствуют газовое распухание и фазовые превращения.

В заключение авторы выражают благодарность члену-корреспонденту АН СССР С. Т. Конобеевскому за обсуждение результатов.

Поступило в Редакцию 1/IV 1967 г.
В окончательной редакции 31/X 1967 г.



Зависимость уменьшения плотности от выгорания при облучении:

● — данные авторов настоящей работы; + — данные других авторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. С. Займовский и др. Тепловыделяющие элементы атомных реакторов. М., Атомиздат, 1966.
2. M. Bleiberg et al. Radiation damage in reactor materials. Vienna, 1963.
3. В. М. Агранович и др. «Атомная энергия», 15, 393 (1963).
4. C. Weber. Progress in Nuclear Energy, ser. V. Metallurgy and Fuels. Vol. 2. London, 1959, p. 329.
5. Б. Ластман. Радиационные явления в двуокиси урана. М., Атомиздат, 1964.
6. L. Roberts et al. Доклад № 155, представленный США на Третью международную конференцию по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1964).
7. J. Kittel et al. См. [6], доклад 239 (США).
8. J. Ainscough. Nucl. Ingng., 8, No. 87 (1963).
9. B. Frost. Nucl. Ingng., 9, No. 93 (1964).
10. J. Sayers. Nucl. Ingng., 9, No. 94 (1964).
11. T. Pashos et al. См. [6], доклад 240 (США).
12. C. Angerman, G. Caskey. J. Nucl. Mater., 13, No. 2 (1964).
13. G. Adamson et al. Доклад на Четвертом семинаре по порошковой металлургии в Планзее, Австрия, 1961.
14. Reactor Materials, 6, No. 3, 198 (1964).

Определение необходимой статистики при бескорреляционной расшифровке данных активационного анализа

Е. М. ЛОБАНОВ, Н. В. ЗИНОВЬЕВ

УДК 543.53

Основой для расшифровки активационных данных является метод минимизации взвешенной дисперсии D. Величину D можно представить выражением

$$D = \frac{1}{nm-q} \sum_{L=1;\, g=1}^{n;\, m} P_{Lg} \Big[J_g(t_L) - \sum_{i=1}^{s} \alpha_i \exp\{-\lambda_i t_L\} \psi(E_i, g) \Big]^2, \qquad (1)$$

где t_L — время измерения; P_{Lg} — статистический вес; $J_g(t_L)$ — экспериментально зарегистрированная активность в g-м канале; m — число каналов анализатора; n — число измерений; s — число компонент; q — число неизвестных параметров ($q \leqslant 3s$); α_i — коэффициент, связанный с начальной активностью i-й компоненты; λ_i — постоянная распада i-й компоненты; E_i — энергия излучаемой частицы; $\psi(E_i, g)$ — математическое ожидание амплитудного спектра при регистрации частицы с энергией E_i.