

Рис. 4. Зависимость интенсивности γ -излучения от толщины фильтра (источник Co^{60} , $R = 218$ см).

Плотность потока энергии рассеянного γ -излучения, как и в модельных опытах с малыми полостями, в пределах 20% изотропно распределена по объему камеры, а факторы накопления энергии γ -излучения $B_{re} = 1 + \frac{J_p}{J_0}$, определенные вблизи стены, оказались равными $1,16 \pm 0,01$ для γ -лучей Cs^{137} и $1,07 \pm 0,005$ для γ -лучей Co^{60} , что соответствует результатам, полученным в работах [2, 3].

По мере удаления от стен и приближения к источнику относительный вклад рассеянного излучения в общую дозу быстро убывает, так как интенсивность рассеянного излучения практически постоянна, а интенсивность первичного излучения возрастает пропорционально квадрату расстояния.

Согласно результатам настоящей работы и [1, 3] для расчета плотности потока энергии рассеянного излучения внутри замкнутых полостей с эффективными линейными размерами $2R_0$, превышающими 4–6 длин свободного пробега соответствующих γ -квантов в веществе стен, можно использовать достаточно простую формулу

$$J_p = \frac{Q \cdot 3,7 \cdot 10^7}{4\pi R_0^2} \sum_{i=1}^{i=n} E_{\gamma i} \eta_i [B_{rei} - 1] \text{ Мэв/см}^2 \cdot \text{сек},$$

где Q — активность препарата, *мкюри*; $E_{\gamma i}$ — энергия γ -кванта i -й линии; η_i — количество соответствующих квантов на распад; R_0 — эффективное расстояние от источника до стен помещения.

Значения факторов накопления энергий

Вещество рассеивателя	Энергия γ -лучей, Мэв		
	0,41	0,66	1,25
Вода	1,26	1,18	1,088
Бетон	—	1,16	1,07
Алюминий	1,24	1,16	1,085
Железо	1,20	1,12	1,075
Свинец	—	1,026	1,012

Для γ -лучей препаратов Co^{60} , Cs^{137} и Au^{198} эта формула принимает простой вид:

$$J_n = a \frac{Q}{R_0^2} [B_{re} - 1] \pm 20\%,$$

где константа a равна $7,4 \cdot 10^6$; $1,9 \cdot 10^6$ и $1,2 \cdot 10^6$ для γ -лучей Co^{60} , Cs^{137} и Au^{198} соответственно.

Значения факторов накопления энергии γ -лучей этих препаратов от некоторых веществ при их нормальном падении приведены в таблице [7, 8]. Приведенные величины факторов накопления относятся к «бесконечным» толщинам рассеивателей.

В тех случаях, когда толщина d стенок полости меньше 1,5–2,0 длин свободного пробега первичных квантов в веществе λ , величина фактора накопления может быть подсчитана по формуле [8]

$$[B_{re} - 1] = [B_{re} - 1]_{\infty} (1 - e^{-2\mu d}),$$

где $[B_{re} - 1]_{\infty}$ — величина фактора накопления при отражении (за вычетом единицы) при бесконечной толщине; μ — линейный коэффициент ослабления квантов первичного излучения в веществе рассеивателя.

Поступило в Редакцию 11/IV 1966 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. M. Leimdörfer. Nucl. Sci. and Engng, **17**, 357 (1963).
2. M. Leimdörfer. Ibid., p. 352.
3. Н. Ф. Андрияшин, Б. П. Булатов. «Атомная энергия», **19**, 392 (1965).
4. Б. П. Булатов. «Атомная энергия», **6**, 332 (1959).
5. Б. П. Булатов, Е. А. Гарусов. «Атомная энергия», **5**, 631 (1958).
6. Б. П. Булатов. Диссертация. Москва, 1959.
7. M. Berger, J. Doggett. J. Res. of the Nat. Bur. Standards, **56**, 2 (1956).
8. Б. П. Булатов, О. И. Лейпунский. «Атомная энергия», **7**, 551 (1959).

Распределение продуктов коррозии конструкционных материалов и нейтронное облучение

Д. Г. ЦХВИРАШВИЛИ, Л. Е. ВАСАДЗЕ, А. С. ЦУХ

УДК 621.039.534.4

Для проектирования и эксплуатации АЭС с кипящими реакторами необходимо знать закономерности перехода в пар растворенных в воде продуктов корро-

зии конструкционных материалов. До настоящего времени были изучены только закономерности распределения между водой и паром монорастворов окис-

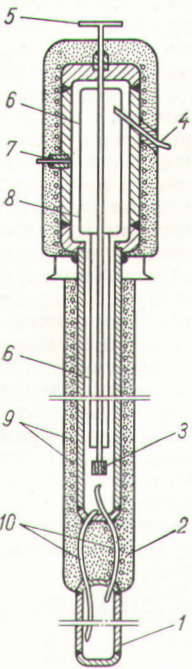


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

1 — гильза; 2 — теплоизоляция; 3 — фильтр; 4 — отбор пара; 5 — тройник; 6 — паровая рубашка; 7 — трубка к манометру; 8 — корпус; 9 — электронагреватели; 10 — циркуляционные трубки.

лов кобальта [1] и железа [2, 3] в отсутствие облучения. Однако данные, полученные по окислам железа, противоречивы.

В настоящей работе были проведены опыты по определению коэффициентов распределения продуктов коррозии алюминия и углеродистой стали в экспериментальных установках из нержавеющей стали 1Х18Н9Т в условиях нейтронного облучения при давлении 78—176 бар. Экспериментальные установки монтировались в технологическом канале реактора ИРТ. Каждая установка (рис. 1) состояла из гильзы 1, которая соединялась с барботажной частью установки 8 при помощи опускающей и подъемной циркуляционных трубок 10. При монтаже установки в канал

против активной зоны реактора помещали гильзу со стружкой из исследуемого материала. Барботажная часть установки имела паровую рубашку 6 и пробоотборную трубочку, оканчивающуюся фильтром 3. Посредством этой трубочки через тройник 5 отбирали пробу воды и подавали подпиточную воду. Для отбора проб пара предусмотрена трубочка 4. Трубочка 7 подсоединялась к манометру. На установке были намотаны нагревательные и компенсационные электро-

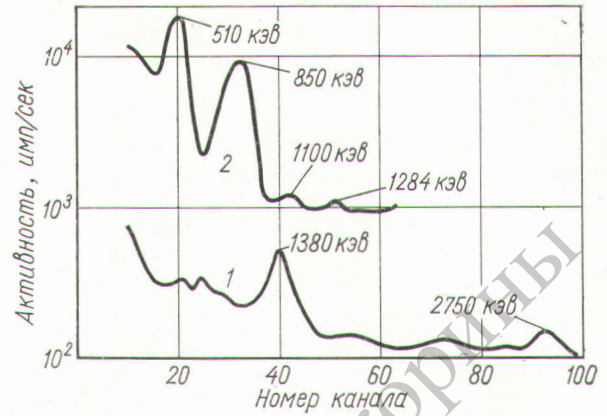


Рис. 3. Энергия γ -излучения проб воды: 1 — алюминий; 2 — углеродистая сталь.

нагреватели. Опыты, проведенные до монтажа установок в канал реактора, доказали возможность получения на них точных данных.

Находящуюся в канале установку после ввода в нее определенного количества бидистиллята выдерживали на заданном режиме без отбора проб. Затем отбирали пробы пара и воды. Если активность пробы пара превышала фоновую активность, опыт считали проведенным. В противном случае установку продолжали выдерживать на прежнем режиме. Поэтому для определения коэффициента распределения требовалось довольно длительное время. (Коэффициентом распределения является отношение активностей проб пара и воды.)

В случае алюминия активность воды определялась в основном натрием [реакция $Al^{27}(n, \alpha)Na^{24}$]. Это было установлено в результате измерения периода полураспада (рис. 2) и энергии γ -излучения (рис. 3) проб воды. Из рис. 2 видно, что кроме Na^{24} вода содержала долгоживущий элемент, который мог перейти в воду из материала самой установки. Этот вывод подтверждается опытом эксплуатации реакторов BORAX, MRT и EBWR [4]. Следовательно, при облучении алюминия исключается возможность определения коэффициентов распределения окислов этого металла. Коэффициенты распределения Na^{24} хорошо согласуются с коэффициентами распределения NaOH в условиях отсутствия нейтронного облучения (рис. 4).

При углеродистой стали активность воды (см. рис. 3) обуславливалась Co^{58} и в меньшей степени Fe^{59} . Полученные в этих опытах коэффициенты распределения в большей степени определяются кобальтом, чем железом. Эти значения также согласуются с данными, полученными на монорастворах в отсутствие облучения (см. рис. 4). Следовательно, коэффициенты распределения соединений в естественных продуктах коррозии совпадают с коэффициентами распределения монорастворов этих же соединений. Как известно [5], в реакторах с кипящей водой основной вклад в активность продуктов коррозии вносят кобальт, железо и хром. Однако продукты коррозии нержавеющей и углеродистой стали состоят в основном из окислов железа. Разница лишь в том, что продукты коррозии низколегированной стали легче переходят в воду. Поэтому коэффициенты распределения продуктов коррозии нержавеющей аустенитных сталей должны быть

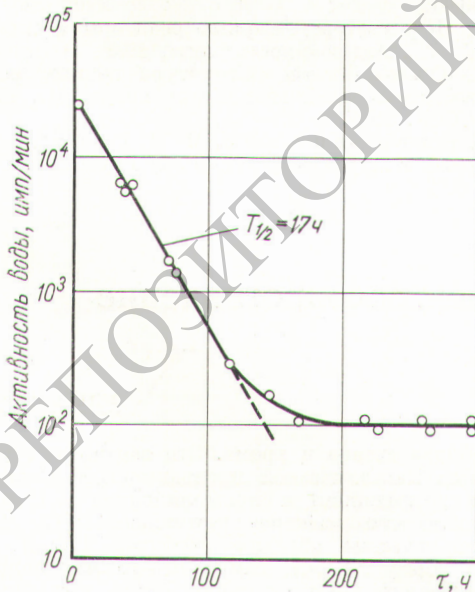


Рис. 2. Кривая спада активности воды.

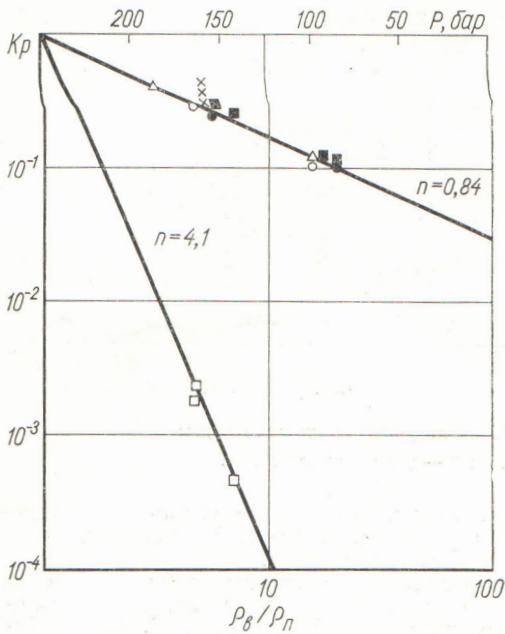


Рис. 4. Зависимость коэффициента распределения от отношения плотностей фаз растворителя: □ — Na^{24} (при облучении алюминия); ● — Co^{60} и частично Fe^{59} (при облучении углеродистой стали); × — Fe, данные работы [2] (монораствор при отсутствии облучения); ■ — Fe, данные настоящей работы (монораствор при отсутствии облучения); △ — Cu, данные настоящей работы (монораствор при отсутствии облучения); ○ — Co, данные работы [1] (монораствор при отсутствии облучения).

такими же, как и для продуктов коррозии перлитных сталей. Для подтверждения этого вывода на рис. 4 приведены также результаты опытов настоящей работы для монорастворов окислов меди и железа в отсутствие нейтронного облучения.

Опыты по железу проводились в барботажной колонке, внутри которой находились устройства из меди, исключающие возможность попадания продуктов коррозии самого корпуса установки (нержавеющая сталь) в водную и паровую фазы. Из сопоставления

данных (см. рис. 4) видно, что коэффициенты распределения продуктов коррозии тяжелых металлов практически совпадают между собой, что объясняется одинаковыми физико-химическими свойствами Fe, Co, Ni, Cu, Mn и Cr. Определяющими характеристиками являются, по-видимому, радиусы молекул и ионов, так как им пропорционально координационное число [6] или показатель степени n . Для электролитов, когда в пар переходят преимущественно ионы, n зависит от произведения радиусов ионов [7]. В случае же малодиссоциированных молекул гидратированных окислов тяжелых металлов определяющим свойством будут радиусы молекул. Радиусы атомов указанных элементов и, следовательно, радиусы молекул их гидратов почти одинаковы. Одинаковыми должны быть и координационные числа. Поэтому коэффициенты распределения гидроксидов Fe, Co и Cu характеризуются одной зависимостью с $n = 0,84$. Следовательно, переход продуктов коррозии в пар по сравнению с другими веществами, содержащимися в воде реакторов, значителен, причем не только при сверхвысоких, но и при средних давлениях (см. рис. 4). При этом не сказывается влияние потока нейтронов, что позволяет в случае кипящих реакторов пользоваться данными, полученными в условиях отсутствия облучения.

Поступило в Редакцию 12/III 1966 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. А. Стырикович, О. И. Мартынова, «Атомная энергия», 15, 214 (1963).
2. А. М. Грязев и др. В сб. «Водоподготовка и внутрикотловые процессы». Под ред. Т. Х. Маргуловой. Вып. 3. М.—Л., Госэнергоиздат, 1963, стр. 33.
3. И. Х. Хайбуллин. «Энергомашиностроение», № 5 (1964).
4. В. И. Поликарпов и др. Контроль герметичности тепловыделяющих элементов. М., Госатомиздат, 1962.
5. Э. У. Крамер. Ядерные реакторы с кипящей водой. М., Изд-во иностр. лит., 1960.
6. О. Я. Самойлов. Структура водных растворов электролитов и гидратация ионов. М., Изд-во АН СССР, 1957.
7. Д. Г. Цхвирашвили, В. Д. Гоциридзе. «Труды Института энергетики АН ГрузССР», XVIII, 239 (1963).

Влияние нейтронного излучения на электросопротивление карбидов титана и хрома

М. С. КОВАЛЬЧЕНКО, В. В. ОГОРОДНИКОВ

УДК 621.039.553

К настоящему времени накоплен значительный материал по действию нейтронного облучения на металлы [1]. Вскрыты интересные механизмы возникновения различных дефектов [2—4], радиационного и послерадиационного отжига металлов [5—9]. Однако действие излучения на соединения изучено в меньшей степени.

Ниже приведены результаты исследования действия нейтронного облучения на электросопротивле-

ние карбидов титана и хрома. Эти соединения характеризуются металлической проводимостью и положительным коэффициентом прямолинейной температурной зависимости электросопротивления [10, 11].

Цилиндрические образцы карбидов TiC и Cr_7C_3 (диаметр образца 8 мм, длина 10—15 мм) получали горячим прессованием в течение 5 мин в графитовых пресс-формах при давлении 120 кг/см^2 и температурах, составляющих приблизительно $0,85 T_{\text{пл}}$ [12]. Оста-