

допустимого уровня тритиевой радиоактивности. Экспериментальные (усредненные за декабрь 1976 г.) данные по распределению трития в системах водообеспечения первого — четвертого блоков приведены в таблице.

Сравнение с известными * данными по концентрации трития в первичном теплоносителе реакторов с водой под давлением показывает, что концентрация трития в первичном теплоносителе реакторов ВВЭР-440 ниже, чем в реакторах РМ ЗА ($9 \cdot 10^{-4}$ Ки/л), «Сакстон» ($5 \cdot 10^{-4}$ Ки/л), SELN ($7,5 \cdot 10^{-4}$ Ки/л), «Янки» (4×10^{-3} Ки/л), «Индиан-Пойнт» ($1,5 \cdot 10^{-4}$ Ки/л), и выше, чем в реакторе АЭС «Рейнсберг» ($5 \cdot 10^{-6}$ Ки/л). Такое различие в концентрации трития можно объяснить как разной мощностью реакторов, так и режимом водообмена между первым контуром и другими технологическими системами со вспомогательным оборудованием и относящейся к нему системой баков.

Таким образом, при наличии общей (для двух блоков) системы спецводоочистки, подпитки и сливов концентрация трития в технологических системах АЭС зависит не только от режима водообмена и уровня мощности, но и от интервала между началом кампании каж-

Концентрация трития в системах водообеспечения, Ки/л

Блок	Средняя тепловая мощность реактора, МВт	Первый контур	Баки грязного конденсата	Система дренажей и сливов	Второй контур
I	755	$4,1 \cdot 10^{-6}$ *	—	$0,8 \cdot 10^{-6}$	$< 4 \cdot 10^{-7}$
II	1275	$5,3 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$	$< 4 \cdot 10^{-7}$
III	1376	$4,4 \cdot 10^{-5}$	$3,1 \cdot 10^{-5}$	$2,8 \cdot 10^{-6}$	$< 4 \cdot 10^{-7}$
IV	1467	$6,7 \cdot 10^{-5}$	$3,1 \cdot 10^{-5}$	$2,8 \cdot 10^{-6}$	$< 4 \cdot 10^{-7}$

* Реактор первого блока имеет только стержневое регулирование мощности.

дого блока; при наработке одинакового количества трития подбор оптимального интервала позволит снизить концентрацию трития в сливных водах и обходиться без предварительного разбавления.

Поступило в Редакцию 27.III.78

* Чопорняк А. С. АЭС и окружающая среда. М., Атомиздат, 1973.

УДК 621.039.51

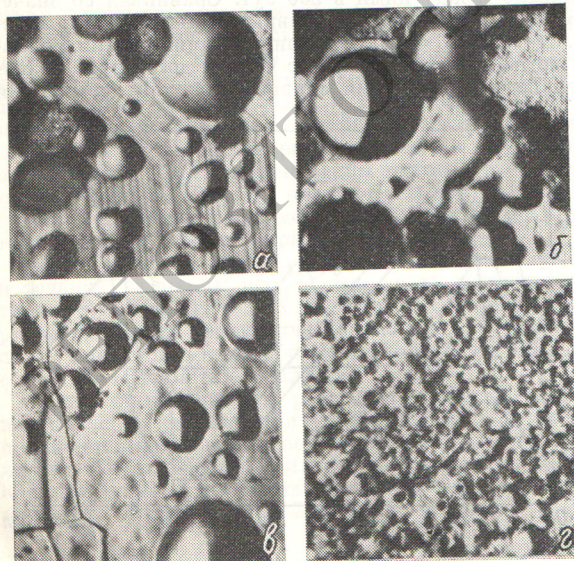
Влияние энергии ионов гелия и температуры облучения на блистеринг никеля

Кротов В. И., Лебедев С. Я.

В настоящей работе приведены предварительные результаты исследования блистеринга никеля, облученного ионами гелия энергией 20, 40 и 80 кэВ дозами $5 \cdot 10^{17}$, 10^{18} , $2 \cdot 10^{18}$ и $5 \cdot 10^{18}$ ион/см² при температуре 300,

500 и 700 °С. Плотность ионного тока для указанной энергии ионов составила 80, 40 и 20 мкА/см² соответственно. Таким образом, для всех режимов облучения обеспечено одинаковое тепловыделение в образцах от ионного пучка. Заданная температура поддерживалась с помощью излучения от плоского вольфрамового нагревателя, расположенного за кассетой с образцами в виде электрополированных дисков диаметром 3 мм из отожженной никелевой фольги толщиной 0,2 мм. Облучение проводили на ускорителе ИЛУ-100 [1]. После облучения образцы просматривали и фотографировали на металлографическом микроскопе МИМ-7 (см. рисунок и таблицу).

У образцов, облученных при 300 °С, виден грубый рельеф поверхности, возникший после отделения крышек блистеров (см. рисунок, а, б). Блистеры второго поколения имеют размер до 3—4 мкм и увеличиваются до 20 мкм при более высокой энергии ионов. На образцах, облученных при 300 °С дозой $\geq 2 \cdot 10^{18}$ ион/см² при энергии ионов 40 и 80 кэВ, наблюдаются также блистеры третьего поколения, тогда как при энергии ионов 20 кэВ не обнаружено блистеров даже второго поколения. При 500 °С размер блистеров уменьшается (см. рисунок, в).



Микрофотографии в косом освещении (слева направо) образцов никеля ($\times 1350$), облученных ионами гелия энергией 40 кэВ при 300 °С дозой $5 \cdot 10^{17}$ (а) и $2 \cdot 10^{18}$ ион/см² (б); энергией 80 кэВ дозой 10^{18} ион/см² при 500 (в) и 700 °С (z)

Результаты просмотра облученных образцов

Температура образца, °С	Плотность ионного тока, мкА/см ²	Энергия ионов гелия, кэВ	Концентрация блистеров первого поколения, 10 ⁶ см ⁻²	Размер блистеров, мкм	
				максимальный	средний
300	20	80	0,3—0,5	40	10—14
	40	40	1—7	20	4—6
	80	20	4—40	2—3	0,5—1,5
500	20	80	2—3	10	3—4
	40	40	2—7	7	1—1,5
	80	20	4—40	2	0,5

Облучение при 700 °С создает на всех образцах грубый шероховатый рельеф, возможно, в результате разрушения ранее образовавшихся блистеров (см. рисунок, в). Высота ступеньки между облученным и необлученным участками поверхности образца изменяется примерно от 0,1 до 0,5 мкм, причем она тем больше,

чем ниже температура и выше доза облучения, что свидетельствует о чрезвычайно сильном распухании облученной поверхности.

Большой разброс значений концентрации блистеров (см. таблицу) при энергии 20 и 40 кэВ вызван образованием двух групп блистеров, как это наблюдалось в работе [2] при облучении инобиа. Блистеринг никеля при комнатной температуре наблюдался рядом исследователей, например [3], однако сопоставление результатов затруднительно в связи с неодинаковыми условиями облучения.

В заключение авторы выражают признательность Г. Г. Гунину, Г. П. Фокину, Л. А. Ждамировой и В. Д. Недиковой за помощь в проведении экспериментов и в обработке результатов.

Поступило в Редакцию 17.IV.78

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лебедев С. Я. и др. «Приборы и техника эксперимента», 1968, № 4, с. 225.
2. Das S., Kaminsky M. «J. Nucl. Mater.», 1974, v. 53, p. 115.
3. Гусев В. М. и др. «Физика и химия обработки материалов», 1976, № 1, с. 15.

УДК 621.039.514

Изучение кинетики мгновенных нейтронов в системе с полостью

ЧИСТОЗВОНОВ А. С., МАТВЕЕНКО И. П., ПОЛИВАНСКИЙ В. П., ВЛАДЫКОВ Г. М.

В практике реакторного эксперимента часто встречаются случаи, когда в размножающей системе имеются полости. Такая ситуация наблюдается как при исследовании сборок с выгруженной частью активной зоны, так и для связанных реакторов. В этом случае для применения импульсного нейтронного метода необходимо учитывать ряд специфических особенностей. В такой системе выполняется условие

$$\alpha^* \equiv \min \{v \Sigma_{tot}(\bar{r}E)\} \approx 0.$$

Это означает, что для подкритической системы спад мгновенного нейтронного потока φ в импульсных экспериментах описывается выражением [1, 2]

$$\varphi(\bar{r}Et) = \int_{\alpha} \int f(\bar{r}E\alpha) e^{\alpha t} d\alpha,$$

где α — комплексное число ($\text{Re } \alpha \leq -\alpha^*$).

Однако при относительно малом размере полости влияние прелетающих через нее нейтронов не меняет коренным образом картины спада нейтронного потока, хотя и несколько замедляет этот процесс. Тогда можно оперировать эффективными средними значениями, аппроксимируя экспонентой на конечном участке времени этот спад, носящий, строго говоря, неэкспоненциальный характер:

$$\varphi(\bar{r}Et) \approx \varphi(\bar{r}E) \exp(-\alpha_{\text{эф}} t) \quad (t_1 \leq t \leq t_2).$$

В течение времени пролета через щель нейтроны «консервируются» в полости и не участвуют в процессах, приводящих к их гибели. Естественно, при этом параметры, характеризующие длительность пребывания

нейтронов в системе (время жизни, время генерации), возрастут по сравнению с аналогичными параметрами для сплошной среды. Для фиксированного размера полости этот эффект окажется тем сильнее, чем меньше энергия нейтронов.

Экспериментальное изучение кинетики мгновенных нейтронов проводилось в системе, состоящей из двух идентичных плоских размножающих сборок. Сборка представляла собой стальной тонкостенный бак размером 150 × 600 × 785 мм, заполненный водным раствором урановой соли. Концентрация урана в растворе составляла 36,1 г/л, обогащение урана 90%. Конструкция сборки позволяла изменять расстояние между баками от 0 до 1200 мм. Излучатель импульсного нейтронного генератора ТГИ-91 ($E_n = 14$ МэВ) помещен вплотную к внешней стороне одного из баков (на середине его высоты). Детекторами нейтронов служили счетчики СНМ-12. Для выяснения зависимости показаний от места расположения детекторы размещали в каждом из баков, а также в полости между ними. Обработку аппаратных спектров проводили на ЭВМ «Наири».

Результаты серии экспериментов при размерах полости 0—200 мм показали, что через интервал времени $\frac{1}{\alpha} - \frac{5}{\alpha}$ спад нейтронной плотности аппроксимируется экспонентой, причем декремент затухания α в пределах погрешностей эксперимента (до 5%) не зависит от места расположения детектора. Вычисленные на основе α -метода значения реактивности $\rho/\beta \equiv (\alpha/\alpha_{\text{кр}}) \times (\Lambda/\Lambda_{\text{кр}}) - 1$ находятся в согласии с расчетными данными (табл. 1) Поправку на изменение времени