

тами; Ω — относительный телесный угол; ε — эффективность регистрации γ -квантов; k — выход γ -квантов на один распад; λ — константа распада изомера; t_1 — время облучения; t_2 — время с момента окончания облучения до измерения; A — массовое число ядра.

Связь между скоростью счета N наведенной активности и мощностью дозы P можно получить из выражения (1), если учесть соотношение

$$P = \frac{\Phi \gamma E}{6,88 \cdot 10^4} \text{ р/сек}, \quad (2)$$

где γ — коэффициент электронного преобразования для γ -квантов с энергией E .

Как следует из экспериментов, наиболее пригодны для γ -дозиметрии индий и кадмий. При использовании индиевого или кадмиевого дозиметра определенной геометрической формы и веса и заданных условиях измерения выражение (1) принимает простой вид:

$$\Phi = Z \frac{N}{\sigma (1 - e^{-\lambda t_1}) e^{-\lambda t_2}}, \quad (3)$$

где Z — постоянная, характеризующая дозиметр и измерительную установку.

В случае измерения наведенной активности радиометром, имеющим скintилляционный датчик с кристаллом колодезного типа NaJ(Tl) , для индиевого дозиметра в виде шара весом 1 г $Z_{\text{In}} = 9,05 \cdot 10^{-22}$, а для кадмиевого дозиметра в виде цилиндра с радиусом основания 5 мм весом 20 г $Z_{\text{Cd}} = 1,78 \cdot 10^{-22}$. Сечение активации γ -квантами Co^{60} составляет $\sigma_{\text{In}} = 8,3 \cdot 10^{-5} \text{ мбарн}$, $\sigma_{\text{Cd}} = 1,4 \cdot 10^{-5} \text{ мбарн}$, для облучателя радиационного контура с источником γ -излучения $\text{In}^{116\text{m}} - \sigma_{\text{In}} = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ мбарн}$, $\sigma_{\text{Cd}} = 6,9 \cdot 10^{-6} \text{ мбарн}$ [1, 2].

Удобно применение γ -активационных дозиметров для относительного определения потока или дозы путем градуировки таких дозиметров химическими, калориметрическими или другими методами. Вследствие малых размеров и независимости от измерительной аппаратуры во время облучения γ -дозиметры незаменимы при использовании для контроля изменения дозы облучения в продолжительных экспериментах.

Индиевый γ -активационный дозиметр использован авторами настоящей работы для определения распределения дозы и потока γ -излучения по каналу облучателя радиационного контура ядерного реактора ИРТ. Полученные результаты хорошо согласуются с расчетными данными и результатами измерений при помощи наперстковой ионизационной камеры.

Гамма-активационный способ измерения дозы и потока γ -излучения может быть применен при потоках γ -квантов $\Phi \geq 10^{10} \text{ } \gamma\text{-квант/см}^2 \cdot \text{сек}$ и дозе $D \geq 10^5 \text{ р}$. Энергия γ -квантов должна быть по крайней мере равна или больше энергии метастабильного уровня; при этом наибольшая чувствительность для индия достигается при энергии γ -излучения $E \geq 935 \text{ кэв}$, а для кадмия $E \geq 610 \text{ кэв}$.

Наиболее целесообразно использовать γ -активационный дозиметр для измерений чистых полей γ -излучения, однако при применении фильтров нейтронов возможно измерение полей γ -излучения в присутствии слабых потоков нейтронов (например, в активной зоне остановленного ядерного реактора).

Гамма-активационная дозиметрия имеет явные преимущества перед другими методами дозиметрии:

- 1) применение γ -активационных дозиметров не требует их разрушения и последующее использование возможно через 7—10 периодов полураспада изомера;
- 2) измерение наведенной активности, а следовательно, и дозы может проводиться с помощью стандартной радиометрической аппаратуры, снабженной кристаллом колодезного типа;
- 3) гамма-активационные дозиметры могут быть применены для контроля потоков γ -излучения и распределения доз.

Поступило в Редакцию 21/VIII 1965 г.

В окончательной редакции 9/XI 1965 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. A. V e r e s. Appl. Rad. and Isotopes, 14, 123 (1963).
2. И. А. А б р а м с, Л. Л. П е л е к и с, И. Я. Т а у р е. В сб. «Нейтронно-активационный анализ». Рига, «Зинатне», 1966.

Влияние γ -облучения на процесс накипеобразования

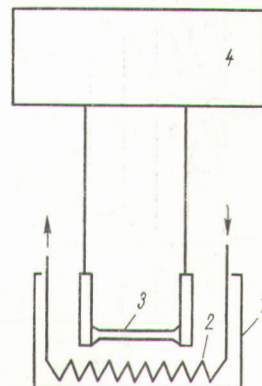
В. Н. ВАСИНА, В. Н. АЛЕКСАНДРОВА, В. В. ГЕРАСИМОВ

Известно, что в атомных энергетических установках поверхности твэлов работают в тяжелых условиях. На них действуют одновременно тепловой поток, излучение, механические напряжения и теплоноситель. Результатом воздействия этих факторов является коррозия поверхностей твэлов и образование на них отложений. Исследование влияния различных сочетаний указаний факторов на накипеобразование и коррозию материалов, применяемых для оболочек твэлов, представляет значительный интерес. В литературе эти вопросы освещены слабо [1—3].

В настоящей работе приведены результаты изучения влияния одновременно теплового потока и γ -облучения на накипеобразование. Исследования проводились на установке, схема которой показана на рис. 1. Установка представляет собой открытую ванну из стали 1X18H9T, в которую заливается водный раствор и опускается образец. Образец нагревается электрическим током, подведенным к нему через шины от блока управления. Тепловой поток регулируется с по-

мощью блока управления путем изменения величины тока и напряжения. Постоянство уровня и температуры воды в ванне (40°C) обеспечивается холодильником, выполненным из стали 1X18H9T в виде змеевика, расположенного вокруг образца.

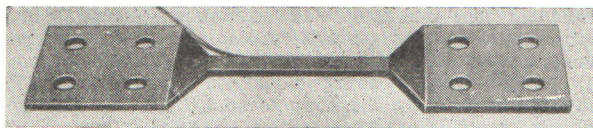
В качестве накипеобразователя был выбран сульфат кальция — слабо растворимая соль, имеющая от-



Р и с. 1. Схема установки:

1 — ванна; 2 — холодильник; 3 — образец из стали 1X18H9T; 4 — блок управления.

УДК 621.039.544.5



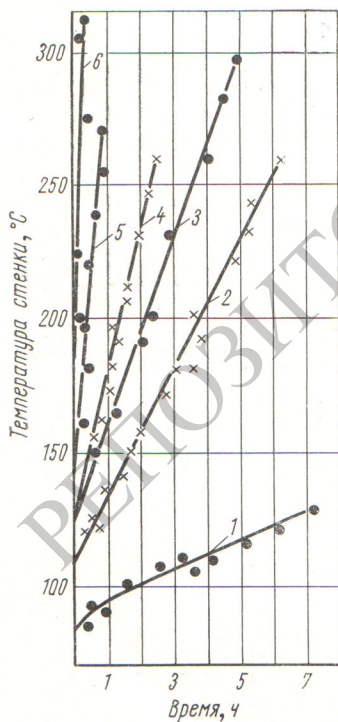
Р и с. 2. Образец.

рицательный коэффициент растворимости. Испытания проводились в пересыщенных растворах, чтобы исключить уменьшение концентрации раствора около образца из-за образования накипи. Процесс накипеобразования контролировался по температуре образца. Для этого в образце на глубину 1,5—2 мм фрезеровали канавку, в которую впаивали хромель-копелевую термопару. Образец с термопарой изображен на рис. 2. Вторичным прибором служил потенциометр типа ПП. Перед каждым опытом образец тщательно зачищали шкуркой № 100. Проверка влияния шероховатости показала, что на шероховатой поверхности образуется прочная накипь; на гладкой — слой отложений непрочно сцеплен с поверхностью.

Проведено две серии опытов, каждый опыт повторялся не менее трех раз.

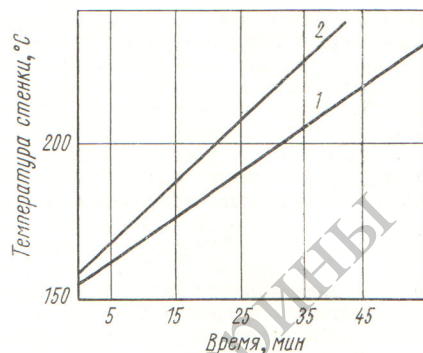
В первой серии опытов исследовалось влияние теплового напряжения от $0,23 \cdot 10^6$ до $1,9 \cdot 10^6$ $вт/м^2$ на накипеобразование и коррозию. Результаты исследований представлены на рис. 3. Испытания показали, что с увеличением теплового потока возрастает скорость образования накипи. Аналогичные зависимости отмечаются в работах [1—3]. Концентрация железа в растворе во всех опытах составляла 0,05 мг/л. Химический анализ накипи показал, что на образце откладывается только сернокислый кальций. Влияния величины рН в пределах 3,8—10 (за счет HNO_3 или NH_4) на интенсивность накипеобразования не обнаружено.

Во второй серии опытов исследовалось влияние одновременно теплового потока и γ -облучения на накипеобразование. Испытания проводились при тепловом напряжении $1,4 \cdot 10^6$ $вт/м^2$ и мощности дозы облучения на поверхности образца 19,5 $р/ч$. Источником γ -излучения служил Co^{60} (2 $г-экв$ Ra). Поток γ -излучения на-



Р и с. 3. Зависимость процесса накипеобразования от величины теплового напряжения ($вт/м^2$) в растворе $CaSO_4$:

- 1 — $0,23 \cdot 10^6$ $вт/м^2$;
- 2 — $0,52 \cdot 10^6$;
- 3 — $0,6 \cdot 10^6$;
- 4 — $0,7 \cdot 10^6$;
- 5 — $1,16 \cdot 10^6$;
- 6 — $1,9 \cdot 10^6$.



Р и с. 4. Влияние γ -облучения на процесс накипеобразования:

- 1 — температура стенки в насыщенном растворе $CaSO_4$ без облучения;
- 2 — то же, под влиянием γ -облучения.

правляли на образец через кварцевое окно, расположенное на боковой стенке ванны. Результаты исследования представлены на рис. 4.

Полученные экспериментальные данные были обработаны методом наименьших квадратов. Для каждой прямой было обработано по 30 точек. Прямые роста температуры стенки образца (см. рис. 4) показывают, что при одном и том же тепловом напряжении и одинаковых параметрах раствора скорость процесса накипеобразования увеличивается при воздействии γ -облучения на тепловыделяющую поверхность.

Визуальные наблюдения показали, что отложения на поверхности образца имеют рыжеватый цвет, в то время как в первой серии опытов они были белого цвета. Из химического анализа накипи следует, что наряду с сернокислым кальцием на образце откладываются продукты коррозии нержавеющей стали. Состав накипи следующий: $CaSO_4$ — 50%, Fe_2O_3 — 45%, остальное — окислы хрома, марганца, никеля. Скорость отложения продуктов коррозии, подсчитанная по анализу накипи, снятой с поверхности образца, составила 2 $г/м^2 \cdot сутки$.

Полученные результаты о влиянии на процесс накипеобразования (в условиях недогрева основной массы воды до кипения) величины теплового потока, рН среды и облучения подтверждаются литературными данными [1, 4, 5].

Из сказанного выше можно сделать вывод, что γ -облучение увеличивает скорость накипеобразования на тепловыделяющей поверхности.

Поступило в Редакцию 29/XI 1965 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. К о т. Водоподготовка и водный режим атомных станций. М., Атомиздат, 1964.
2. Н. Н. М а н ь к и н а. «Электрические станции», № 2, 13 (1962).
3. Н. Н. М а н ь к и н а. «Теплоэнергетика», № 3, 8 (1960).
4. G. S i m o n et al. Bettis technical review. Vol. 1, No. 3. Reactor chemistry and plant materials. Westinghouse Electric Corp. Bettis Plant, Pittsburgh, UC-4, 1957.
5. G. S i m o n. Ibid., 1958.