

Р и с. 3. Зависимость отношения интенсивности фотопиков 186 кэВ  $^{226}\text{Ra}$  и 609 кэВ  $^{222}\text{Rn}$   $[\alpha(186)]$  от плотности образца

личных плотностей и минерального состава с данными таблицы. Отношения площадей фотопиков для каждого образца  $\alpha(E_i) = S(E_i)/S(609)$  сравнивали с соответствующими данными для радиодержащего соединения  $\alpha_{\text{Ra}}(E_i)$  (см. таблицу). На рис. 2 представлена зависимость  $\beta(E_i) = \alpha(E_i)/\alpha_{\text{Ra}}(E_i)$  от энергии  $\gamma$ -квантов и плотности пород. При экстраполяции кривых рис. 2 на энергию 186 кэВ получены значения  $\beta(186)$  и  $\alpha(186)$ . Результат учета влияния самопоглощения в образце представлен на рис. 3, где показана зависимость  $\alpha(186)$  от плотности пород. Таким образом, с помощью рис. 3 вклад  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{235}\text{U}$  в фотопик 186 кэВ можно определить по фотопику 609 кэВ (или по другим фотопикам дочерних продуктов распада  $^{222}\text{Rn}$ ) в широком интервале изменения плотности пород:

$$S_{\text{Ra}}(186) = \alpha(186) S(609); \quad (1)$$

$$S_{\text{U}}(186) = S(186) - \alpha(186) S(609). \quad (2)$$

Коэффициент  $\alpha(186)$  в уравнении (2) определяли по кривой рис. 3 с точностью  $\sim 2\%$ .

Такой простой способ учета самопоглощения позволяет использовать в экспериментах образцы с большой навеской для повышения чувствительности анализа. В наших экспериментах объем каждого образца составлял 100 см<sup>3</sup>,

время регистрации спектра на полупроводниковом детекторе объемом 64 см<sup>3</sup>  $\sim 1000$ –6000 с в зависимости от активности образца. Точность анализа связана в основном с погрешностью определения фотопика 186 кэВ, который находится на довольно высоком комптоновском пьедестале от  $\gamma$ -линий дочерних продуктов распада  $^{222}\text{Rn}$ . Для образцов с содержанием урана  $C_{\text{U}} \geq 10^{-1}$  мас. % точность анализа по нашему методу в несколько раз лучше, чем по фотопику 1001 кэВ. При  $C_{\text{U}} \approx 10^{-2}$  мас. % регистрация спектра в течение  $\sim 3000$  с может обеспечить точность анализа  $\sim 10\%$ . Повышение чувствительности метода для анализа образцов с концентрацией  $C_{\text{U}} \leq 10^{-3}$  мас. % требует увеличения времени регистрации спектра и хорошей системы защиты детектора, обеспечивающей низкий уровень фона от естественных радионуклидов.

Таким образом,  $\gamma$ -спектрометрический метод можно успешно применять для определения содержания урана и радия в породах, а следовательно, и нарушения радиоактивного равновесия между ураном и радием, что очень важно для многих геологоразведочных работ. В частности, использование  $\gamma$ -спектрометрического метода для анализа образцов из урано-угольных месторождений позволило объяснить противоречие между результатами радиометрической полевой разведки и химического анализа: повышенный уровень радиационного фона месторождений, а также высокая активность отобранных образцов связаны с повышением концентрации радия по сравнению с равновесным количеством в приповерхностных зонах рудных угольных пластов. Метод был также использован для изучения урансодержащих пород и почв в некоторых районах с источниками радиоактивных геотермальных вод.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горбатюк О. В. и др. — Атомная энергия, 1973, т. 35, вып. 5, с. 352.
2. Chouak E. e.a. — J. Rad. Chem., 1978, v. 45, p. 445.

Поступило в Редакцию 28.07.80

УДК 620.179.15

## Радиографический контроль реакторных элементов в условиях радиационного фона

СЕМЕНОВ А. П., ЖАКЕВИЧ Л. М., ГОРБАЧЕВ В. И., ЛЯШЕНКОВ С. С., НАГИНАЕВ Е. Н.

Цель работы — исследование влияния радиационного фона на чувствительность радиографического метода контроля стальных реакторных элементов при проведении профилактических и ремонтно-восстановительных мероприятий.

Наличие радиационного фона увеличивает вуаль радиографического снимка, снижает выявляемость дефектов. Поэтому влияние радиационного фона на результаты радиографического контроля имитировали искусственной вуалью снимка. На рис. 1 показано, как плотность почернения пленки типа РТ-5 и РТ-1 зависит от экспозиционной дозы  $^{60}\text{Co}$ , излучение которого по своему спектральному составу близко к  $\gamma$ -излучению фона ( $1 \text{ P} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$ ).

Для получения радиографического снимка с искусственной вуалью использовали метод двойной экспозиции — перед просвечиванием исследуемых образцов пленку облучали определенной дозой рентгеновского излучения. Влияние радиационного фона на пленку и процесс просвечивания изделия были разделены во времени. Такая методика исследований упрощает изучение влияния радиационного фона на результат радиографического контроля. Исследования по просвечиванию стали толщиной 8 мм показали, что чувствительность снимка не зависит от последовательности операций наложения на пленку искусственной вуали и радиационного изображения.

В исследованиях использовали проволоочные и канавочные эталоны чувствительности (ГОСТ 7512—75), которые устанавливали на наборы пластин из стали 1Х18Н9Т толщиной от 3 до 20 мм со стороны источника излучения. Просвечивание осуществляли рентгеновским аппаратом РУП-150/300-10 с трубкой 2,5 БИМ-250 на радиографическую пленку РТ-5 со свинцовыми усиливающими экранами толщиной 0,09 мм при фокусном расстоянии 500 мм.

Все радиографические снимки имели два участка для определения плотности почернения первоначальной (до облучения) и искусственной вуали. Оптическую плотность почернения искусственной вуали изменяли дискретно: 0,7; 1,0; 1,5 и 2,0 единиц оптической плотности (е.о.п.). Для расшифровки снимков использовали негатоскоп ОД-10Н («Рапан»), который позволяет просматривать снимки с плотностью почернения до 4,5 е.о.п. В расшифровке снимков принимали участие три опытных рентгенотехника. На рис. 2 приведены результаты исследования зависимости абсолютной чувствительности радиографического метода от толщины стали при разных значениях плотности почернения вуали (пунктир — требования к чувствительности радиографических снимков в соответствии с ОСТ 5.9095—72).

Анализируя полученные результаты, можно сделать следующие выводы:

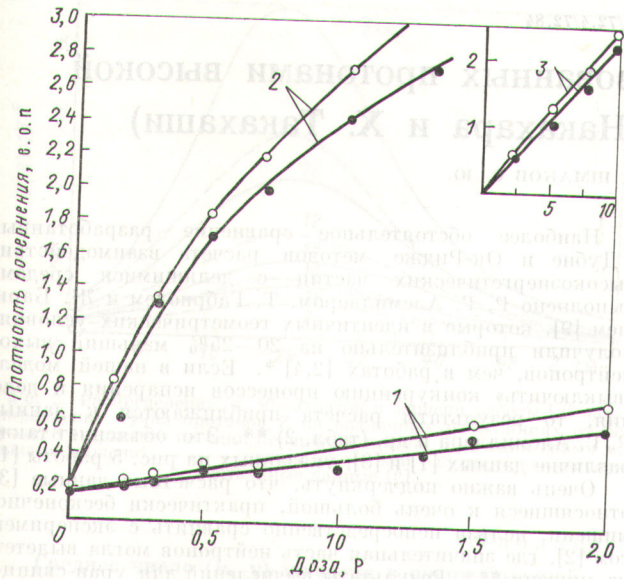


Рис. 1. Зависимость плотности почернения радиографической пленки РТ-5 (1, 3) и РТ-1 (2) от экспозиционной дозы для различной зарядки кассет со свинцовыми усиливающими экранами толщиной 0,09 мм (○) и без усиливающих средств (●)

радиографический контроль стальных изделий толщиной не более 20 мм при наличии радиационного фона можно осуществлять с помощью рентгеновских аппаратов на пленку РТ-5 при условии, что плотность вуали снимка не превышает 2,0 е. о. п. В этом случае чувствительность метода удовлетворяет требованиям ОСТ 5.9095—72;

основным путем повышения чувствительности радиографии в условиях радиационного фона является снижение плотности вуали снимка (уменьшение времени экспонирования контролируемых изделий), т.е. увеличение отношения мощности экспозиционной дозы (МЭД) полезного излучения и МЭД радиационного фона;

радиографические снимки, полученные в условиях радиационного фона, следует просматривать на негатоскопе с плавной регулируемой яркостью матового экрана от  $10^4$  до  $10^6$  кд/м<sup>2</sup> (нит) и более.

Результаты были использованы при проведении ремонтно-восстановительных мероприятий на остановленном и охлажденном аппарате ТВР-1. Свообразием условий контроля было не только наличие радиационного фона с МЭД до 1000 мкР/с, но и большая затесненность подреакторного пространства, что создало дополнительные трудности при контроле — в выборе аппаратуры и геометрии просвечивания.

Радиографический контроль сварных соединений подреакторных коммуникаций ТВР-1 проводили рентгенов-

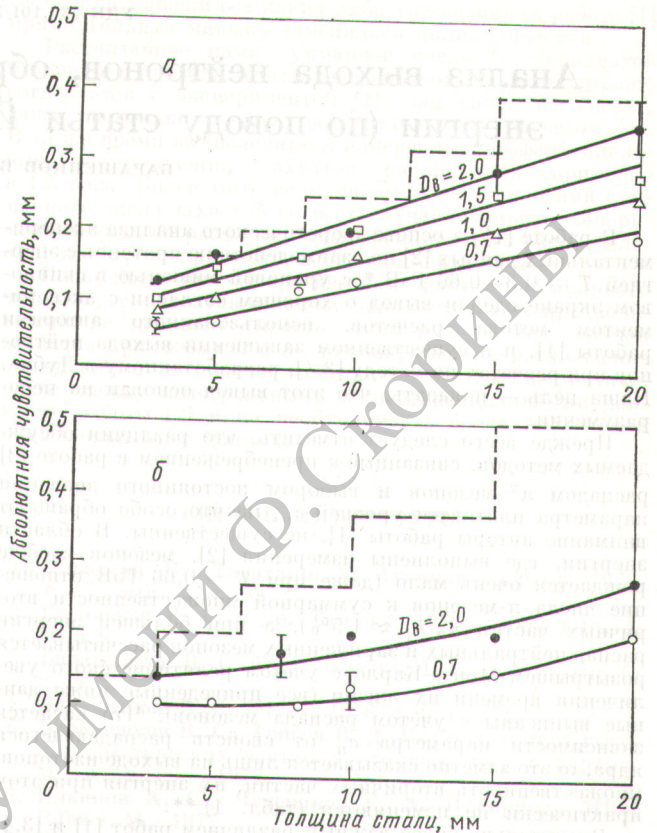


Рис. 2. Абсолютная чувствительность радиографии с помощью пленки РТ-5 в зависимости от толщины стали при разных величинах вуали ( $D_B$ ) снимка по проволочному (а) и канавочному (б) эталонам чувствительности (ГОСТ 7512—75)

ским аппаратом РУП-120-5 на радиографическую пленку РТ-5. Чувствительность радиографии составила 3—5 % толщины просвечиваемого материала при плотности вуали снимка не более 1,0 е. о. п. При этом в зоне сварного шва были выявлены следы язвенной коррозии, непровары, несплавления, трещины, поры.

Таким образом, для эффективного радиографического контроля в подреакторном пространстве как при монтаже, так и при ремонтно-профилактических мероприятиях необходима разработка специальной рентгеновской аппаратуры, кассет и другой оснастки с учетом специфики реакторной дефектоскопии — радиационной обстановки, затесненности мест контроля, труднодоступности объектов контроля. Рентгеновские аппараты должны иметь малые размеры и большую мощность излучения, кассеты — защиту для снижения радиационного фона.

Поступило в Редакцию 21.07.80