

Чувствительность сцинтилляционного метода в γ -дефектоскопии

А. А. Архангельский, Р. Ю. Волковський

О чувствительности в γ -дефектоскопии судят по минимальным размерам выявляемых дефектов $\Delta x_{\min}$. Эта величина связана с погрешностью измерений: чем меньше погрешность измерений, тем меньше $\Delta x_{\min}$, тем выше чувствительность. В работах, выполненных сцинтилляционным методом [1, 2], благодаря большой эффективности и чувствительности детектора излучения при низком уровне шумов измерительной схемы достигается минимальная аппаратурная погрешность. В связи с этим мы предположили, что по крайней мере в ограниченной области толщин контролируемой детали и радиевых γ -эквивалентов источников излучения аппаратурная погрешность не играет существенной роли и чувствительность определяется статистической погрешностью, т. е. флуктуациями числа γ -квантов.

Установим зависимость размера минимального выявляемого дефекта $\Delta x_{\min}$ от толщины исследуемой детали и интегрального потока γ -квантов, падающих на деталь, считая, что чувствительность определяется статистической погрешностью. Следуя применяемому в эксперименте методу определения размеров минимального выявляемого дефекта, предположим, что изменение величины потока γ -квантов $\Delta I_{\min}$ вследствие наличия такого дефекта в k раз больше изменения потока $\Delta I_{\text{фл}}$ вследствие наличия флуктуаций:

$$\Delta I_{\min} = k \Delta I_{\text{фл}}. \quad (1)$$

Относительное значение средней квадратичной погрешности измерения потока, возникающей вследствие флуктуаций числа γ -квантов, записывается в виде [3, 4]

$$\frac{\Delta I_{\text{фл}}}{I} = \frac{\eta}{\sqrt{2\tau\nu I}}, \quad (2)$$

где I — поток γ -квантов, падающих на сцинтиллятор (интегральный поток); $\tau = RC$ — постоянная времени интегрирующей цепочки; ν — эффективность детектора; η — коэффициент амплитудного распределения импульсов тока на выходе ФЭУ. При счетном импульсном методе $\eta = 1$.

Изменение потока вследствие наличия дефекта минимальных размеров определяется выражением

$$\Delta I_{\min} = \frac{k\eta}{\sqrt{2\tau\nu}} \sqrt{I}. \quad (3)$$

Как правило, при работе с использованием сцинтилляционного метода применяется узкий коллимированный пучок γ -квантов, поэтому рассмотрим прохождение через вещество параллельного пучка. Изменение потока ΔI при наличии дефекта малого размера Δx можно записать в виде

$$\Delta I = I_0 e^{-\mu x} \mu \Delta x, \quad (4)$$

где I_0 — поток γ -квантов, падающих на контролируемую деталь (в условиях опыта эту величину можно было считать пропорциональной радиевому γ -эквиваленту источника излучения). Из формулы (4) следует, что размеры минимального выявляемого дефекта свя-

заны с изменением потока $\Delta I_{\min}$ соотношением

$$\Delta x_{\min} = \frac{\Delta I_{\min}}{I_0 e^{-\mu x} \mu}. \quad (5)$$

Подставляя в формулу (5) выражение (3) для $\Delta I_{\min}$, получим

$$\Delta x_{\min} = \frac{k\eta}{\sqrt{2\tau\nu I_0}} \cdot \frac{e^{\mu x/2}}{\mu}. \quad (6)$$

Обычно представляет интерес отношение минимальных размеров дефекта $\Delta x_{\min}$ к толщине исследуемой детали x :

$$\frac{\Delta x_{\min}}{x} = \frac{k\eta}{\sqrt{2\tau\nu I_0}} \cdot \frac{e^{\mu x/2}}{\mu x}. \quad (7)$$

Формула (7) дает зависимость чувствительности от величины интегрального потока падающих на контролируемую деталь γ -квантов I_0 и от толщины детали x .

Мы сравнили зависимости, полученные теоретически, с данными экспериментов, проведенных одним из авторов настоящей работы А. А. Архангельским.

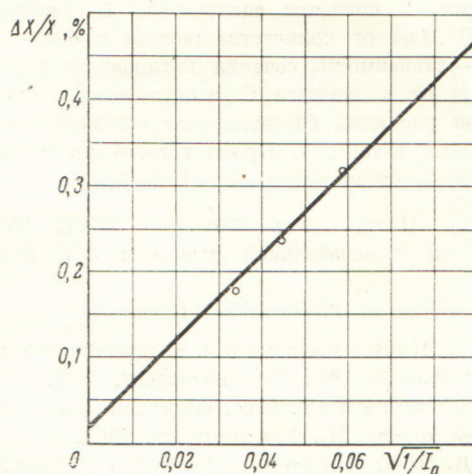


Рис. 1. Зависимость чувствительности от квадратного корня из обратной величины радиевого γ -эквивалента источника (Co^{60}).

На рис. 1 показана взятая из работы [5] зависимость чувствительности от радиевого γ -эквивалента источника при фиксированной толщине детали. В качестве источников использовались препараты Co^{60} . В отличие от графика, приведенного в работе [5], на рис. 1 по оси абсцисс отложена обратная величина квадратного корня из радиевого γ -эквивалента. Согласно формуле (7), график на рис. 1 представляет собой прямую

вплоть до радиевых γ -эквивалентов, близких к 900 мг·эке. При больших γ -эквивалентах относительные флуктуации потока малы, а потому основную роль будут играть аппаратные погрешности. Для сравнения теоретических данных с результатами экспериментального изучения зависимости чувствительности от толщины прологарифмируем обе части равенства (6):

$$\ln \Delta x_{\min} = \ln A + \frac{\mu x}{2}, \quad (8)$$

где $A = \frac{k\eta}{\mu \sqrt{2\pi v I_0}}$. По графику экспериментальной зависимости $\ln \Delta x_{\min}$ от x можно определить значение коэффициента поглощения μ (по тангенсу угла наклона

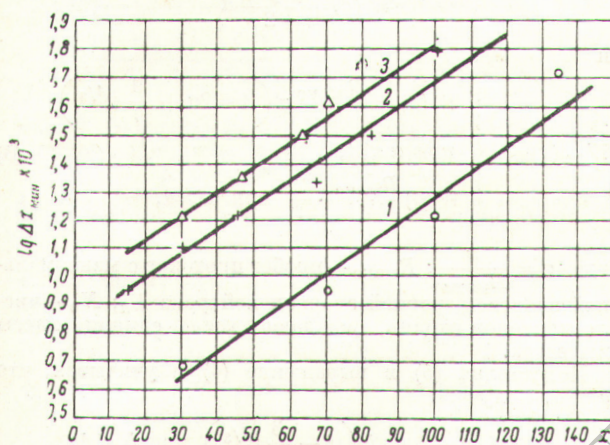


Рис. 2. Зависимость логарифма минимальных лучевых размеров дефекта от толщины контролируемой детали для Co^{60} :

1 — в 700 мг·эке радия; 2 — в 334,5 мг·эке радия; 3 — в 132 мг·эке радия.

прямой к оси x), а также величину A (по ординате точки пересечения графика с осью ординат). На рис. 2 представлены зависимости $\lg \Delta x_{\min}$ от x для Co^{60} . Видно, что зависимости действительно близки к линейным. Вычисление коэффициента поглощения γ -излучения в стали по тангенсу угла наклона дало для большинства значений 0,41, что хорошо согласуется с результатами измерений, проведенных обычными методами. Линейная зависимость $\lg \Delta x_{\min}$ от x получена нами

также для γ -излучения других элементов, в частности для коэффициента поглощения γ -излучения в стали получено значение $\mu=0,6$. Однако при больших γ -эквивалентах формула (8) оказывается неприменимой и определение μ по наклону графика не представляется возможным.

Формула (7) хорошо согласуется с экспериментальной зависимостью чувствительности от толщины контролируемой детали в широкой области толщин по обе стороны от максимума чувствительности (минимума величины $\Delta x_{\min}/x$), который лежит при $x = \frac{2}{\mu}$.

Для γ -излучения Co^{60} совпадение теоретических и экспериментальных результатов получено для толщин 30—150 мм, а для γ -излучения Cs^{137} — для толщин 20—120 мм. При больших толщинах размеры минимального выявляемого дефекта возрастают быстрее, чем это предсказывается формулой (7). При малых толщинах также имеются отклонения от формулы (7), причем размеры минимального выявляемого дефекта при таких толщинах не зависят от толщины.

Таким образом, элементарная теория чувствительности, учитывающая только статистическую погрешность, безусловно, находит применение. При высокой чувствительности измерительного устройства и не слишком больших радиевых γ -эквивалентах источников можно в определенной области толщин пренебрегать аппаратной погрешностью и пользоваться приведенными в настоящей работе формулами для определения чувствительности в γ -дефектоскопии.

Поступило в Редакцию 14/IX 1964 г.
В окончательной редакции 1/II 1965 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Архангельский, Г. Д. Латышев. «Заводск. лаборатория», XXIII, № 4, 430 (1957).
2. А. А. Архангельский, Г. Д. Латышев. В кн. «Труды Ташкентской конференции по мирному использованию атомной энергии». Т. 2. Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1960, стр. 47.
3. Н. Н. Шумиловский, Л. В. Мельтцер. Основы теории устройств автоматического контроля с использованием радиоактивных изотопов. М., Изд-во АН СССР, 1959.
4. Л. К. Таточенко. Радиоактивные изотопы в приборостроении. М., Атомиздат, 1960, стр. 178.
5. А. А. Архангельский. «Жел.-дор. транспорт», № 8, 36 (1959).

УДК 621.387.422

О нарушении гомогенности ионизационной камеры проводящим покрытием

Ю. И. Брегадзе

Для определения поглощенной дозы в веществах, помещенных в поле ионизирующих излучений, часто используют так называемые гомогенные ионизационные камеры. Стенки камеры и наполняющий ее газ имеют одинаковый химический состав [1]. Гомогенные ионизационные камеры особенно широко применяются

в дозиметрии быстрых нейтронов и смешанных потоков нейтронов и γ -излучения. Для изготовления камер было предложено использовать проводящие пластмассы, основные компоненты которых полиэтилен и графит (технология изготовления таких пластмасс описана в работе [2]).