

Как видно из графика, активная высота h_0 верхней плиты сколько-нибудь заметно начинает отличаться от h_0 , определенного без учета N , при значениях $\alpha < 100$, т. е. тогда, когда объем бетона в стоимости ростверка, по сравнению со стоимостью стяжного стержня, не играет уже решающей роли. По результатам числовых расчетов построены графики зависимостей удельной стоимости железобетонных граней от удельной стоимости арматурного стяжного стержня и полной удельной стоимости элемента от угла наклона грани при оптимальном значении отношения A для различных значений рабочего давления (рис. 5 б).

Анализируя графики на рис. 6 можно сделать вывод, что наиболее экономичными являются безростверковые основания из коробчатых элементов в виде усеченных пирамид.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Улицкий А. Н. Железобетонные конструкции. К., Будівельник, 1958. С. 458

Виктор Иванович БОЧЕНИН —
профессор кафедры энергетики и
технологии металлов Курганского
государственного университета

Виктор Александрович КУЛИКОВ —
доцент кафедры физики
Курганского государственного
университета, к. физ.-мат. н.

УДК 620.179.5.531.75

ФОТОНЕЙТРОННЫЙ СПОСОБ КОНТРОЛЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТРЕЩИН В МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДАХ

АННОТАЦИЯ. Предлагается возможность применимости фотонейтронного неразрушающего способа контроля глубины и ширины раскрытия трещин. Физическая сущность его заключается в нанесении на контролируруемую поверхность проникающей жидкости, содержащей окись бериллия. При облучении поверхностного слоя с проникающей жидкостью гамма-квантами радиоизотопа Sb^{124} (сурьма-124) трещины выявляются по регистрации потока нейтронов, испускаемых атомами окиси бериллия.

The authors offer an approach to apply a photoneutron non-destructive way of the depth and width of crack disclosing. The physical essence of it consists in applying a penetrating liquid containing beryllium oxide upon a controllable surface. At an irradiation of a superficial layer with a penetrating liquid of gamma-quantums of a radioisotope Sb^{124} (antimony-124) cracks are revealed together with the registration of a neutrons' flow that is let out by atoms of beryllium oxide.

В процессе эксплуатации магистральных газопроводов в местах с концентраторами напряжений (сварные швы, изгибы, вмятины) возникает коррози-

онное растрескивание, создающее макротрещины. Такой вид коррозии считается наиболее опасным, особенно при развитии трещин (росте их глубины). В итоге происходит внезапное разрушение газопровода. Для повышения надежности необходима диагностика участков газопровода с концентраторами напряжений на предмет выявления наличия и размера трещин. Среди существующих методов контроля для этих целей применяют капиллярную дефектоскопию и ультразвуковое просвечивание [1]. Однако капиллярный метод обладает низкой производительностью и реализуется в лабораторном варианте. При ультразвуковой дефектоскопии необходим тщательный контакт преобразователя с поверхностью контролируемой среды. Но такое требование не всегда выполнимо, особенно при контроле сварных швов.

Нами разработан неразрушающий фотонейтронный способ, исключаящий влияние рельефа поверхности контролируемой среды на диагностику размера трещин, с возможностью реализации в трассовых условиях. Физическая сущность его основана в нанесении на контролируемую поверхность проникающей жидкости, содержащей окись бериллия (BeO). При последующем облучении гамма-квантами радионуклида поверхностного слоя, в трещине которого содержится BeO , она выявляется по регистрации нейтронного излучения, испускаемого атомами бериллия в результате фотоядерного превращения [2]. Поток нейтронного излучения, испускаемого окисью бериллия, содержащейся в трещине, равен

$$N_T = \frac{m_T \cdot J \cdot A_0}{A} \cdot \sigma, \quad (1)$$

где m_T — количество BeO в трещине, г; J — интенсивность гамма-излучения радионуклида, падающего на контролируемую поверхность; A_0 — число Авогадро; A — атомный вес BeO ; σ — сечение фотоядерной реакции. При отсутствии трещины равенство (1) примет вид

$$N_0 = \frac{J \cdot A_0}{A} \cdot \sigma. \quad (2)$$

Учитывая, что J , A_0 , A , σ — постоянны, получаем

$$\frac{N_T}{N_0} = m_T, \quad (3)$$

т. е. отношение потоков зависит от количества BeO в трещине (от ее размера).

Исследовали зависимость величины m_T от глубины h и ширины раскрытия d трещин. Из стали У8 готовили плоские образцы ($30 \times 30 \times 4$ мм), которые подвергали закалке с последующей обработкой их поверхности (шлифовка, полировка). Затем деформированием создавали в образцах трещины различных размеров. Параметры h и d каждой трещины определяли металлографическим методом, а значение m_T в каждом случае находили путем взвешивания образцов с трещиной без проникающей жидкости, а затем с ней. Разность результатов взвешивания позволяла определить m_T в каждом случае. В качестве проникающей жидкости использовали смесь, содержащую 60% керосина и 40% тонкоизмельченного порошка BeO . По данным эксперимента строили калибровочные кривые (рис. 1). Как видно, значения h/d и d практически линейно зависят от количества BeO в трещине.

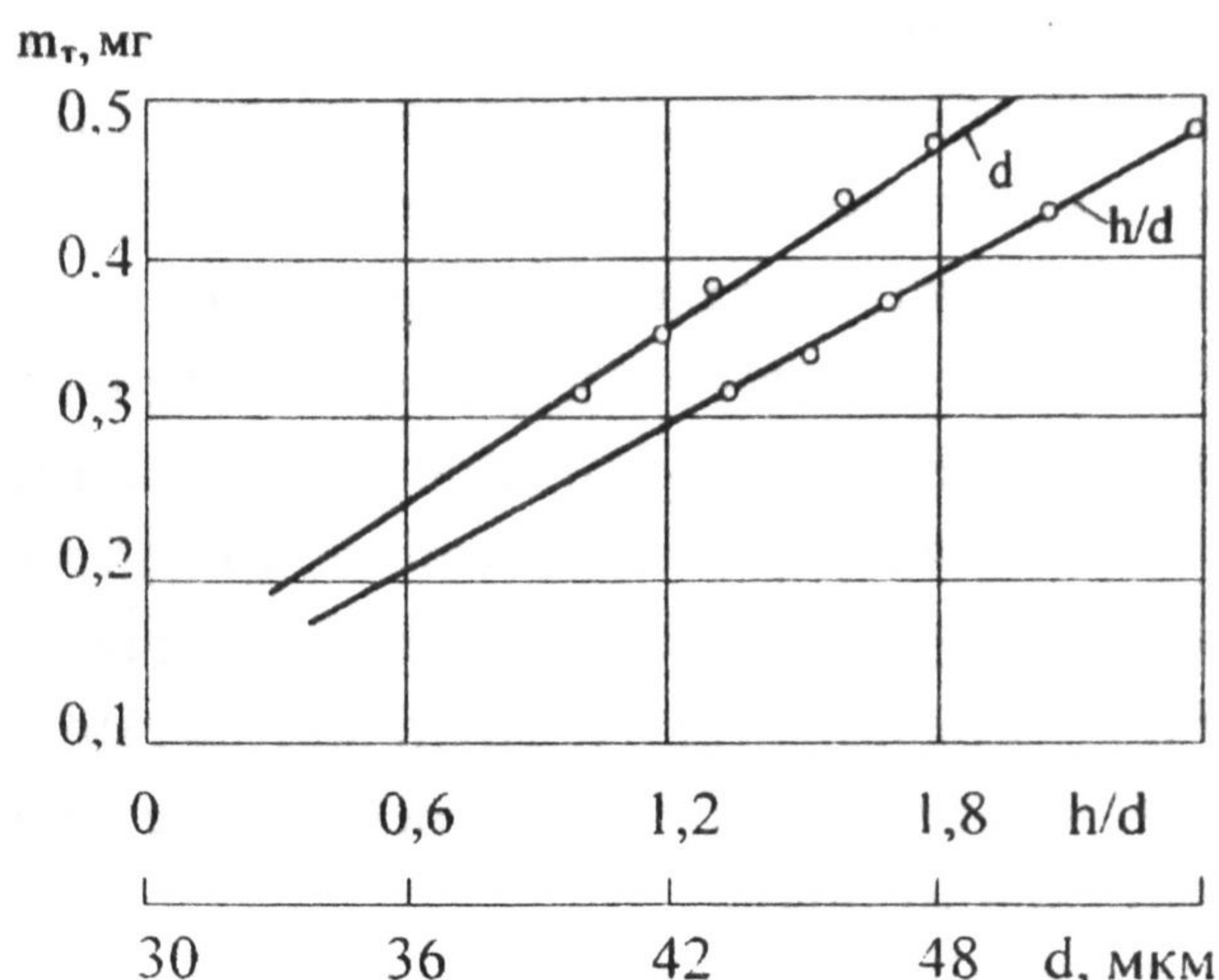


Рис. 1. Зависимость $\frac{h}{d}$ и ширины раскрытия d от количества BeO в трещине

Радиоизотопные измерения выполняли с использованием радионуклида Sb^{124} (активность $9 \cdot 10^6$ Бк). Спектр гамма-излучения этого источника состоит из линий с энергиями фотонов 0,6-2,3 МэВ. Наибольший выход (около 55%) имеет гамма-спектр с энергией 1,69 МэВ, который и создает фотоядерную реакцию при взаимодействии с атомами BeO . На рис. 2 приведена структурная схема экспериментальной радиоизотопной установки.

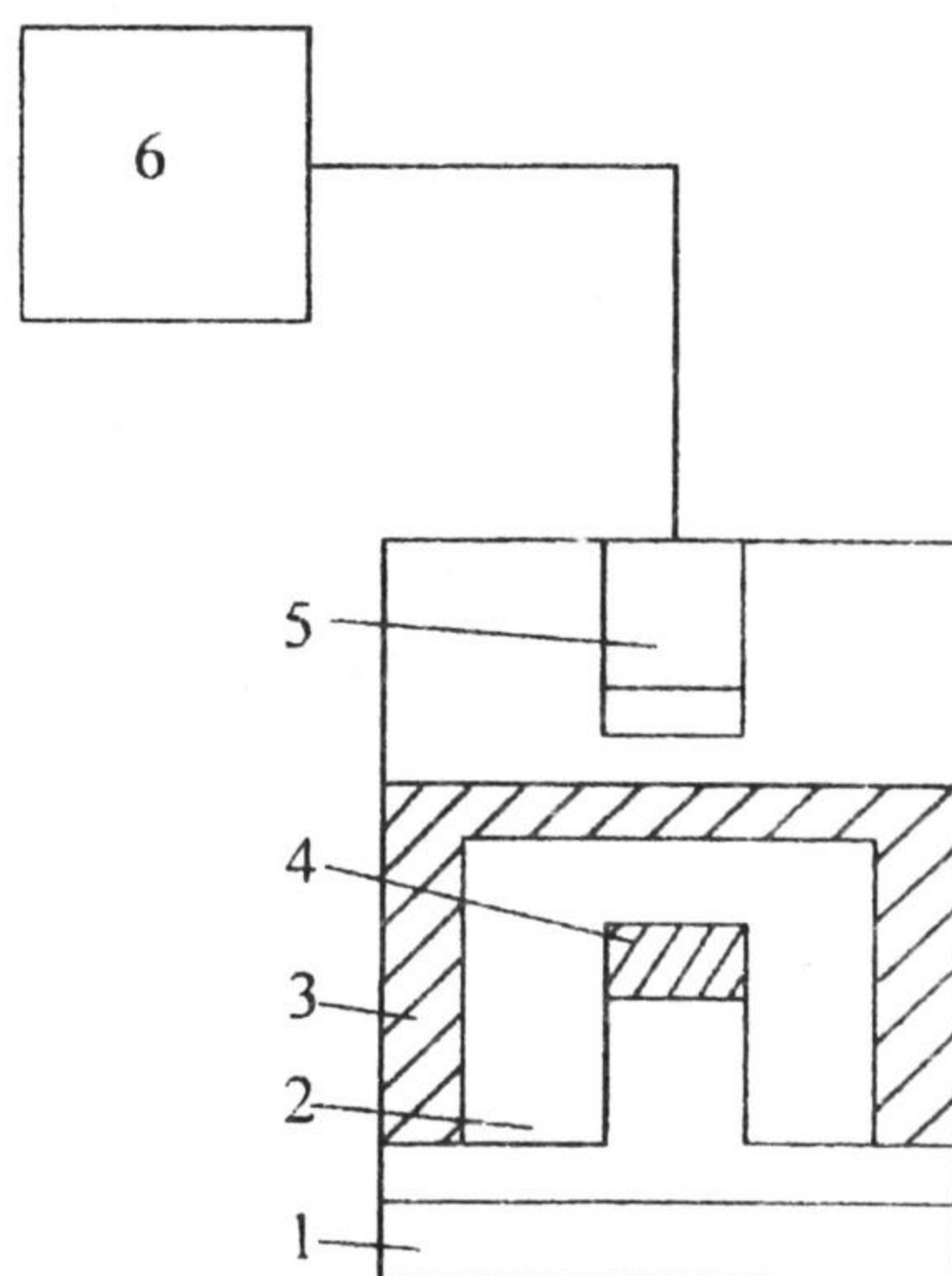


Рис. 2. Структурная схема регистрационной установки

Конструктивно прибор выполнен в виде датчика, подключаемого с помощью кабеля к регистрирующему блоку 6. В датчике расположен радионуклид Sb^{124} 4 в свинцовой защите 2, фотонами которого облучается поверхность контролируемого материала 1. Фотонейтроны в геометрии отражения проходят через замедлитель 3 (парафин) и проникают в сцинтилляционный детектор 5. На выходе регистрирующего блока 6 измеряется поток нейтронов N_m в виде скорости счета.

Калибровку радиоизотопной установки выполняли по образцам стали У8 с известными значениями m_r . Каждый образец помещали в измерительный датчик установки (рис. 2), облучая его поверхностный слой с трещиной фотонами Sb^{124} , регистрировали скорость счета N_m . Уровень фона N_0 измеряли от образца, не содержащего трещины. По результатам измерений строили аналитический график (рис. 3). Экспериментальные данные показали, что отношение N_r/N_0 практически линейно зависит от количества BeO в трещине (m_r).

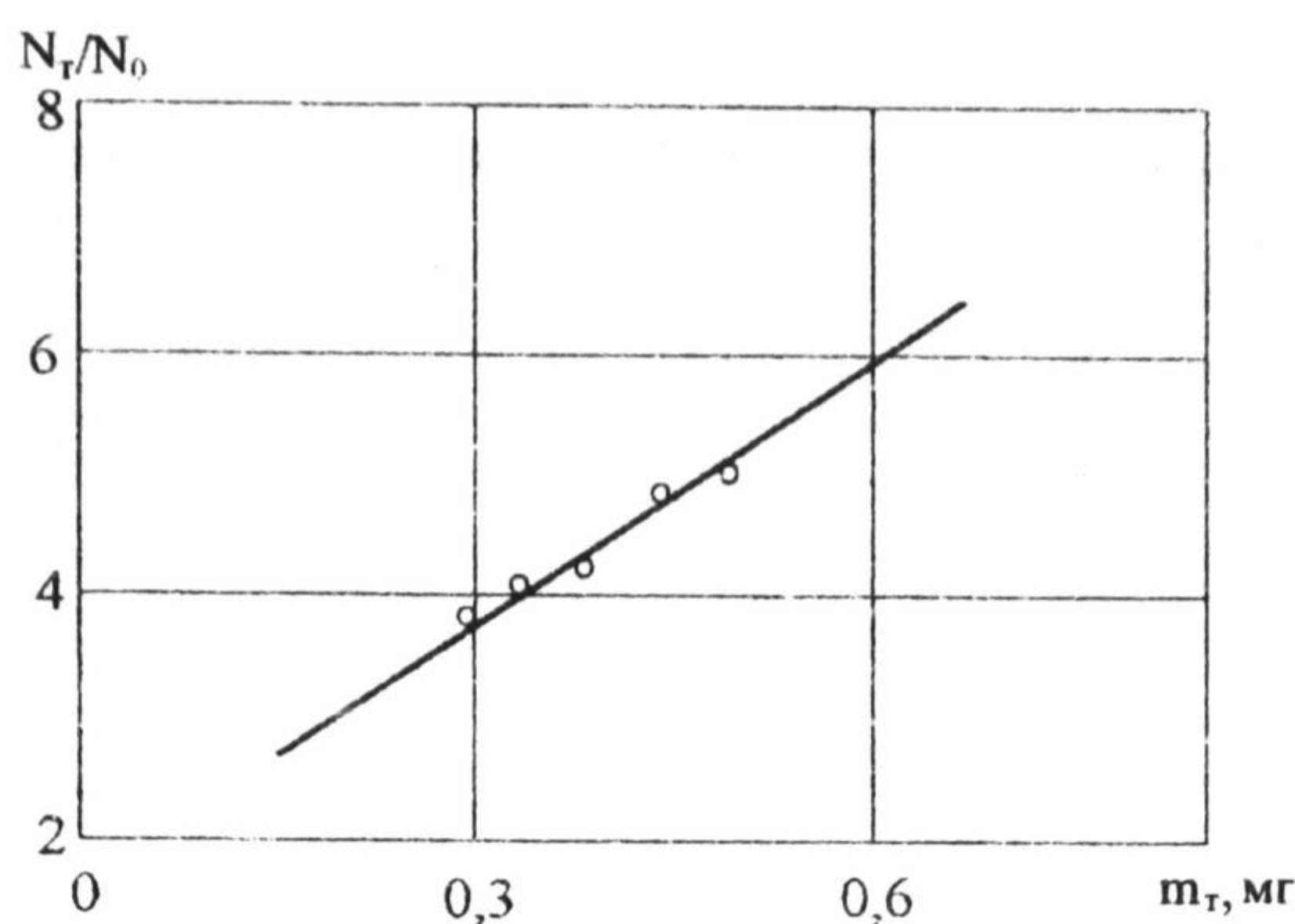


Рис. 3. Зависимость N_T/N_0 параметра от количества BeO в трещине

С учетом изложенного методика контроля размера трещин осуществлялась следующим образом. Исследуемый участок изделия очищали от загрязнений и просушивали нагретым воздухом для удаления влаги. Затем визуально с помощью лупы выявляли наличие трещины. При ее обнаружении на очищенную поверхность наносили проникающую жидкость. Через 7 минут удаляли избыток ее, а поверхность снова высушивали для испарения керосина, содержащегося в проникающей жидкости. На контролируемый участок устанавливали радиоизотопный датчик. При облучении исследуемой поверхности гамма-квантами Sb^{124} регистрировали поток нейтронного излучения (N_T). При наличии трещины значения N_T возрастало в 3-2 раза по сравнению с фоном (N_0). Определив отношение N_T/N_0 , по калибровочной кривой (рис. 3) находили количество BeO в трещине (m_T), а по графикам (рис. 1) оценивали ее глубину (h) и ширину раскрытия (d).

Методическую погрешность оценивали, сопоставляя результаты фотонейтронного способа с данными, полученными методом капиллярной дефектоскопии. В последнем случае использовали дефектоскопический комплекс, применяемый для контроля изделий из стали. В состав его входили: индикаторная жидкость (500 см³ керосина, 500 м³ скипидара, 5 г красителя жирорастворимого темно-красного), очиститель (10 г поверхностно-активного вещества, 150 г окись магния, 1000 см³ спирта этилового, 5 г поверхностно-активного вещества ОП-7) [1].

Использовали шесть образцов стали У8 с различным размером трещин, фотонейтронным способом в каждом определяли по пять раз ширину раскрытия (\bar{d}) и глубину (\bar{h}) трещин. Затем рассчитывали среднюю квадратичную погрешность, учитывающую отклонение данных фотонейтронного способа от метода капиллярной дефектоскопии и экспериментальное значение t — критерия [3]

$$t_3 = \sqrt{5}(\bar{h} - h') \cdot S_h^{-1}; \quad (4)$$

$$t_3 = \sqrt{5}(\bar{d} - d') \cdot S_d^{-1}, \quad (5)$$

где d', h' — ширина раскрытия и глубина трещин, найденная методом капиллярной дефектоскопии; \bar{d}, \bar{h} — фотонейтронным способом; S_d, S_h — средние квадратичные ошибки по глубине и ширине раскрытия. В табл. 1 приведена оценка расхождения результатов. Как видно, практически во всех случаях экспериментальное значение t -критерия оказалось меньше табличного ($t_{0,05} = 2,78$) для 5%-ного уровня значимости. Следовательно, можно считать, что отличие средних результатов фотонейтронного способа от метода капиллярной дефектоскопии обусловлено только случайными погрешностями.

Таблица

Сопоставление фотонейтронного способа с данными капиллярной дефектоскопии

№ образца	Капиллярная дефектоскопия, мкм		Фотонейтронный способ, мкм		$S_h \cdot 10^3$	$S_d \cdot 10^3$	t_h	t_d
	h'	d'	\bar{h}	\bar{d}				
1	30	27	40	29	8,85	2,185	2,53	2,05
2	130	25	150	24	21,33	1,155	2,10	1,94
3	170	23	160	24	8,15	1,211	2,75	1,85
4	220	20	230	20	13,66	0	1,64	0
5	240	18	260	19	17,66	0,801	2,61	2,80
6	280	16	270	14	12,95	0,703	1,73	2,95

На основе изложенных исследований выполняли неразрушающий контроль размера трещин в трассовых условиях. При диагностике главное внимание уделяли сварным швам, вмятинам. Перед обследованием газопровода контролируемый участок очищался. Затем с помощью распылителя наносилась проникающая жидкость с BeO . После выдержки в течение 7-8 минут избыток ее удалялся с поверхностного слоя сжатым воздухом. На контролируемую поверхность устанавливали радиоизотопный датчик (рис. 2.) и, медленно перемещая его, облучали исследуемый участок фотонами радионуклида. О наличии трещины судили по скорости счета (N_T). Если она превышала фон в 2-3 раза, то это означало, что имеется трещина. Параметры ее h и d определяли по калибровочным графикам (рис. 1,3). Анализ результата контроля газопроводов из стали 09Г2С показал, что наибольшее число трещин находилось в сварных швах. При наличии опасных трещин регистрируемая скорость счета (N_T) превышала фон в 7-10 раз.

Промышленный контроль показал, что фотонейтронный способ позволяет оценить надежность газового трубопровода по определению размера трещин. Достоинством его является высокая экспрессность контроля (12 - 14 минут обследуется участок площадью 100 см²). Портативность аппаратуры (вес 4 кг) и автономное ее питание (12V) обеспечивают применимость способа в трассовых условиях. Биологическая защита измерительного датчика снижает радиационное излучение до допустимого уровня.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Денель А. К. Дефектоскопия металлов. М.: Металлургия, 1972. 303 с.
2. Пустовалов Г. Е. Атомная и ядерная физика. М.: МГУ, 1968. 311 с.
3. Налимов В. В. Применение математической статистики при анализе вещества. М.: Физматгиз, 1960. 385 с.