

# Особенности активационного анализа вещества в движении при использовании источника быстрых нейтронов

В. В. СТРЕЛЬЧЕНКО, К. И. ЯКУБСОН

УДК 539.1.06

Основные положения теории активационного анализа вещества в движении применительно к исследованию скважин впервые были опубликованы в работе [1], где представлен экспоненциальный характер изменения интенсивности активационного излучения с ростом расстояния между детектором  $\gamma$ -квантов и источником нейтронов (размер зонда  $d$ ). Более поздние эксперименты [2] показали, что зависимость интенсивности активационного излучения под действием тепловых нейтронов от размера зонда лучше аппроксимируется функцией вида  $I_0 e^{-d^2/\Delta^2}$ . Для подобного вида функции  $I(d, \Delta)$  И. И. Бредневым было получено [3] следующее выражение для интенсивности активационного излучения движущегося вещества ( $I_H$ ):

$$I_H = I_0 G = \frac{\sqrt{\pi}}{2v} I_0 \lambda \Delta \left[ 1 - \Phi \left( \frac{\lambda \Delta}{2v} - \frac{d}{\Delta} \right) \right] \times \exp \left[ -\frac{\lambda d}{v} + \left( \frac{\lambda \Delta}{2v} \right)^2 \right], \quad (1)$$

где  $I_0$  — интенсивность активационного излучения при  $v = 0, d = 0$ ;  $v$  — скорость движения вещества относительно детектора;  $\lambda$  — постоянная распада изотопа-индикатора;  $\Phi(x)$  — интеграл вероятности. Анализ выражения (1) показывает, что интенсивность активационного излучения  $I_H$  движущегося вещества при фиксированных значениях  $\lambda, d$  и  $v$  зависит от двух параметров  $I_0$  и  $\Delta$ . В свою очередь, параметры  $I_0$  и  $\Delta$  являются функциями целого ряда аргументов, в частности функциями плотности и состава анализируемого вещества и геометрии измерений.

В настоящей работе приводятся результаты изучения зависимости параметров  $I_0$  и  $\Delta$  от изменения плотности среды и геометрии измерений при активационном анализе с помощью нейтронов с энергией 14 Мэв. На основании этих результатов рассматриваются вопросы оптимизации условий определения состава вещества в движении.

Экспериментальное исследование зависимостей  $I_0$  и  $\Delta$  от плотности анализируемой среды и геометрии измерений проводилось с соблюдением принципов теории подобия на модели песчаного пласта, пересеченного скважиной. Для создания поля быстрых нейтронов использовался генератор нейтронов с энергией 14 Мэв на трубке НТ-16. Детектирование  $\gamma$ -квантов в энергетическом диапазоне  $E_\gamma = 1,73 \pm 0,2$  Мэв производилось с помощью кристалла NaI(Tl) размером  $30 \times 70$  мм. Времена облучения, охлаждения и измерения составили 6, 1 (для подавления активности изотопа  $N^{16}$ ) и 6 мин соответственно. Основные результаты экспериментов приведены на рисунках 1 и 2. На рис. 1, а показана зависимость величины интенсивности  $\gamma$ -излучения  $I_0$ , возникающего в результате реакции  $Si^{28}(n, p) Al^{28}$  от вариации плотности  $\rho$  анализируемой среды. В исследовавшемся диапазоне изменения плотности зависимость  $I_0 = f(\rho)$  близка к линейной. Кривая, приведенная на рис. 1, б, иллюстрирует характер изменения величины  $I_0$  от вариации диаметра не заполненной водой скважины. Интенсив-

ность  $I_0$  весьма быстро спадает с ростом диаметра скважины. На рис. 2, а приведена зависимость интенсивности активационного излучения  $I_0$  от размера зонда  $d$ . Измерения проводились в скважинах диаметром 76, 142 и 170 мм, пересекающих песчаный пласт плотностью 1,6; 3,0 и 3,6 г/см<sup>3</sup> (значения интенсивности для которого получены пересчетом по теории подобия). Во всех случаях при  $d \leq 15 \div 20$  см зависимости  $I_0 = f(d)$  имеют вид гауссовых кривых. Величина параметра  $\Delta$  этих кривых следующим образом зависит от свойств среды и геометрии измерений:

а) при увеличении плотности активируемой среды от 1,60 до 3,6 г/см<sup>3</sup> величина параметра  $\Delta$  изменяется от 16,3 до 8,9 см;

б) при изменении диаметра не заполненной водой скважины от 76 до 170 мм величина параметра  $\Delta$  возрастает от 8,1 до 10,5 см;

в) заполнение скважины водой незначительно (на 5–6%) и уменьшает величину  $\Delta$ .

Приведенные значения параметра  $\Delta$  получены при измерениях с кристаллом NaI(Tl) размером  $30 \times 70$  мм; величины параметра  $\Delta$ , соответствующие измерениям с точечным детектором на 11%, меньше. Сравнение полученных значений  $\Delta$  с данными работы [3] показывает, что при активационном анализе с помощью быстрых нейтронов ширина распределения  $I(d) = I_0 e^{-d^2/\Delta^2}$  в среднем в два раза меньше, чем в случае активации тепловыми нейтронами в идентичной геометрии измерений.

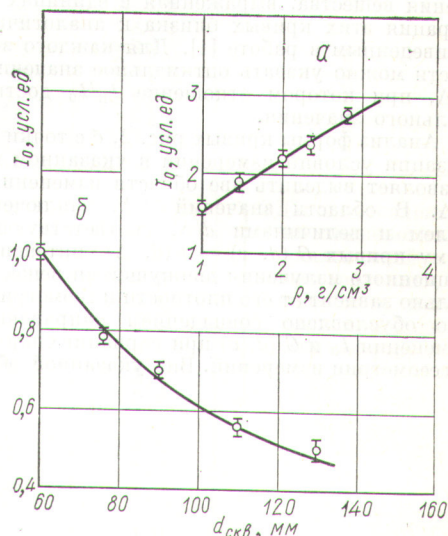
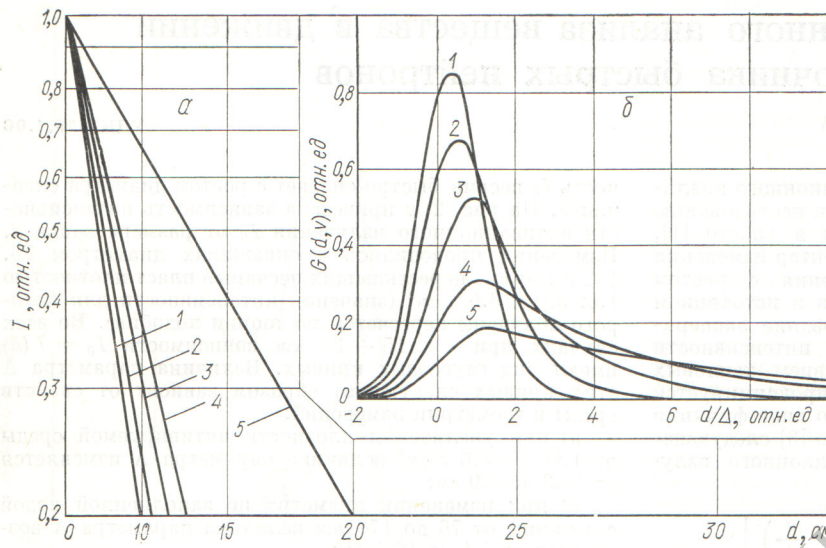


Рис. 1. Зависимость интенсивности активационного  $\gamma$ -излучения, возникающего под действием нейтронов с энергией 14 Мэв, от плотности среды (а) и диаметра не заполненной водой скважины (б).





Р и с. 2. Зависимость интенсивности активационного  $\gamma$ -излучения, возникающего под действием нейтронов с энергией 14 Мэв, от размера зонда (а) и величины параметра  $\Delta$  (б).

а: 1 —  $\phi = 76$  мм,  $\rho = 3,0$  г/см<sup>3</sup>; 2 —  $\phi = 142$  мм,  $\rho = 3,6$  г/см<sup>3</sup>; 3 —  $\phi = 170$  мм,  $\rho = 3,0$  г/см<sup>3</sup>; 4 —  $\phi = 170$  мм,  $\rho = 3,0$  г/см<sup>3</sup>; 5 —  $\phi = 142$  мм,  $\rho = 1,6$  г/см<sup>3</sup>; 1, 2, 4, 5 — сухая скважина; 3 — заполненная водой скважина.  
б: 1 —  $v = 0,5\lambda\Delta$ ; 2 —  $v = \lambda\Delta$ ; 3 —  $v = 2\lambda\Delta$ ; 4 —  $v = 4\lambda\Delta$ ; 5 —  $v = 8\lambda\Delta$ .

Совместное рассмотрение кривых, приведенных на рис. 1 и 2, а, показывает, что изменение плотности исследуемой среды и диаметра скважины приводит к противоположному по знаку изменению параметров  $I_0$  и  $\Delta$ . Это обстоятельство может быть использовано для выбора оптимальных условий активационного анализа движущегося вещества с точки зрения уменьшения зависимости результатов измерений от вариаций свойств среды и геометрии измерений. Из уравнения (1) могут быть получены кривые (рис. 2, б), характеризующие зависимость отношения  $I_H/I_0 = G(d, v)$  от величины размера зонда  $d$ , выраженного в единицах  $\Delta$  (номером кривых является величина скорости движения вещества, выраженная в единицах  $\lambda\Delta$ ). Конфигурация этих кривых близка к аналогичным кривым, приведенным в работе [1]. Для каждого значения скорости можно указать оптимальное значение отношения  $d/\Delta$ , при котором отношение  $I_H/I_0$  достигает максимального значения.

Анализ формы кривых рис. 2, б с точки зрения оптимизации условий измерений в указанном выше смысле позволяет выделить две области изменения отношения  $d/\Delta$ . В области значений  $d/\Delta$ , заключенных между нулем и величинами  $d/\Delta$ , соответствующими максимуму кривых  $G(d, v) = f(d, \Delta)$ , интенсивность активационного излучения движущегося вещества наиболее сильно зависит от его плотности и геометрии измерений. Это обусловлено совпадением направления (знаков) изменения  $I_0$  и  $G(d, v)$  при вариациях плотности среды и геометрии измерений. Вне указанной области значе-

ний отношения  $d/\Delta$  влияние переменных физических свойств среды и геометрии измерений на величину  $I_H$  существенно меньше, поскольку в этом случае изменение параметров  $I_0$  и  $G(d, v)$  в значительной мере компенсируют друг друга.

Используя кривые, приведенные на рис. 1 и 2, можно подобрать режимы измерений (величины  $d$  и  $v$ ), при которых практически полностью исключается влияние на интенсивность  $I_H$  одной из переменных (либо плотности среды, либо геометрии измерений). Так, например, для исключения влияния вариаций плотности в пределах 1,6—3,6 г/см<sup>3</sup> на интенсивность  $I_H$  зонд целесообразно выбрать размером  $2d/\Delta$  (около 30 см), а скорость движения вещества приблизительно  $3\lambda\Delta$ . Реализация зонда указанного размера возможна при импульсном режиме измерений.

Поступило в Редакцию 30/XII 1971 г.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. П. Булашевич, С. А. Шулятьев. «Изв. АН СССР. Серия геофиз.», № 2, 253 (1960).
2. Г. С. Возжеников. «Активационный анализ», М., «Недра», 1965, стр. 37.
3. Г. С. Возжеников, И. И. Бреднев. Радионуклидная автоматика в горном деле. Труды Института горного дела им. А. А. Скочинского. М., Изд. ИГД им. А. А. Скочинского, 1969, стр. 37.