

3. И. В. Гордеев, Д. А. Кардашев, В. А. Малышев. Ядернофизические константы. М., Атомиздат, 1963.
4. C. D unford. Nuclear Data for Reactors, CN 23/41, Vienna, 1967.
5. W. Hauser, H. Feshbach. Phys. Rev., 87, 366 (1952).
6. P. Moldauer. Rev. Mod. Phys., 36, 1079 (1964).

7. A. Smith. Phys. Rev., 126, 718 (1962).
8. Н. П. Глазков. «Атомная энергия», 14, 400 (1963).
9. A. Smith. Nucl. Phys., 47, 633 (1963).
10. E. Bernard et al. Nucl. Phys., 80, 46 (1966).
11. B. Baldoni, A. Saruis. Nuovo cimento, 33, 1145 (1964).

Оптимальные условия проведения нейтронного активационного анализа

для непрерывного определения флюорита в потоке пульпы

В. И. ПРОКОПЧИК

УДК 543.53

В настоящее время на обогатительных фабриках содержание флюорита (CaF_2) в пульпе определяется по результатам лабораторных анализов периодически отбираемых проб. Активационный метод определения флюорита в пробах [1] по γ -излучению изотопа N^{16} ($T_{1/2} = 7,5 \text{ сек}$; E_γ равна 6,13 и 7,11 Мэв), образующегося в результате реакции $\text{F}^{19} (n, \alpha) \text{N}^{16}$ под действием быстрых нейтронов, является достаточно экспрессным. Однако значительно более полную информацию о ходе технологического процесса обогащения можно получить при непрерывном контроле содержания флюорита непосредственно в потоке пульпы.

Возможность определения фтора в потоке раствора нейтронноактивационным методом была показана в работе [2], однако выбранные там условия анализа не могут быть использованы для анализа флюоритовой пульпы.

Рассмотрим оптимальные условия проведения активационного анализа в потоке. Для достижения достаточно высокой чувствительности анализа удобнее всего использовать систему, состоящую из двух камер, расположенных на некотором расстоянии друг от друга и соединенных трубопроводом (см. рисунок). Через эти камеры, в центре одной из которых помещается источник нейтронов, а в другой — детектор излучения, непрерывно, с постоянной скоростью прокачивается пульпа.

Скорость движения пульпы выбирается достаточно высокой для энергичного перемешивания с целью исключения возможности осаждения твердой фракции.

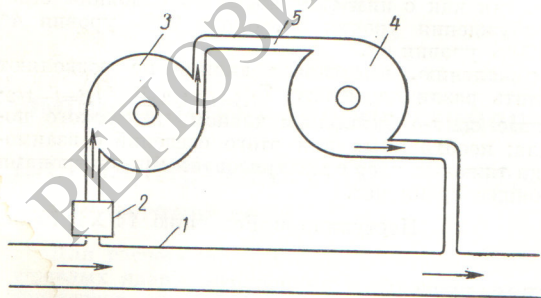


Схема непрерывного анализа в потоке пульпы:

1 — основной трубопровод с пульпой; 2 — насос; 3 — активационная камера; 4 — измерительная камера; 5 — соединительный трубопровод.

Если в первом приближении считать, что ослабление быстрых нейтронов и γ -квантов в пульпе описывается экспоненциальным законом с коэффициентами поглощения, соответственно равными Σ и μ , то число ядер N^{16} , образовавшихся после активации до насыщения (A_0), определяется по формуле

$$A_0 = n_F Q \sigma_a \frac{1 - e^{-\Sigma(R_a - r)}}{\lambda \Sigma},$$

где R_a — радиус камеры с пульпой (для упрощения выбрана камера, имеющая форму шара); r — радиус полости для источника нейтронов в центре камеры; n_F — число ядер фтора в единице объема; Q — мощность источника нейтронов; σ_a — сечение активации, барн; λ — постоянная распада N^{16} .

Если бы пульпа не прокачивалась, а только постоянно перемешивалась, то плотность ядер N^{16} в объеме камеры была бы однородной и равной $a_0 = \frac{A_0}{V_a}$, где V_a — объем активационной камеры. При непрерывном движении пульпы с перемешиванием и при установившемся режиме плотность ядер N^{16} в пульпе, вытекающей из камеры, определяется из выражения

$$a = \frac{A_0}{V_a} (1 - e^{-\lambda \frac{V_a}{v}}),$$

где v — объемная скорость движения пульпы, постоянная для всей системы.

Скорость счета, обусловленная наведенной активностью пульпы, протекающей через измерительную камеру (объем $V_{\text{и}}$, $R_{\text{и}}$, r), аналогичную активационной камере, составит

$$n = \frac{a j \epsilon v}{V_{\text{и}}} \frac{1 - e^{-\mu(R_{\text{и}} - r)}}{\mu} (1 - e^{-\lambda \frac{V_{\text{и}}}{v}}) e^{-\lambda \frac{V_{\text{тр}}}{v}},$$

где j — число γ -квантов на распад; ϵ — эффективность детектора излучения; $V_{\text{тр}}$ — объем трубопровода между активационной и измерительной камерами.

Плотность радиоактивных ядер максимальна при некотором оптимальном объеме активационной камеры (V_{a0}), в то же время скорость счета достигает максимума при оптимальном объеме измерительной камеры ($V_{\text{и}0}$). Расчет свидетельствует о том, что для флюоритовой пульпы $V_a = V_{\text{и}} = V$, т. е. для достижения оптимальных условий анализа объемы активационной и измерительной камер должны быть равны. В этом

случае

$$n = \frac{N_0 v}{V} (1 - e^{-\lambda \frac{V}{v}})^2 e^{-\lambda \frac{V_{\text{тр}}}{v}},$$

где $N_0 = \frac{n_F Q \sigma_a j e}{\lambda V} \frac{1 - e^{-\Sigma(R-r)}}{\Sigma} \frac{1 - e^{-\mu(R-r)}}{\mu}$ — регистрируемый эффект, соответствующий насыщению. Величина N_0 , зависящая только от размеров камер и поглощающих свойств пульпы, достигает максимума при оптимальном объеме V_0 .

Если принять коэффициент поглощения быстрых нейтронов Po-Be -источника в пульпе $\Sigma \approx 0,1 \text{ см}^{-1}$, а коэффициент поглощения γ -квантов с энергией 6 Мэв $\mu = 0,04 \text{ см}^{-1}$, то при $r = 3 \text{ см}$ оптимальный объем камер будет равен примерно 1 л .

Оптимальная скорость движения пульпы, при которой скорость счета максимальна и которая определяется из условия $\frac{dn}{dt} = 0$ (где $t = \frac{V}{v}$), связана с величинами V и $V_{\text{тр}}$ соотношением $v \approx \lambda (0,8V + 1,2V_{\text{тр}})$, справедливым при $V_{\text{тр}} \ll 2V$.

Для повышения чувствительности анализа объем соединительного трубопровода должен быть минимально возможным, так как увеличение $V_{\text{тр}}$ при соблюдении оптимальных условий (V_0 и v_0) снижает скорость счета от $0,4\lambda N_0$ ($V_{\text{тр}} \rightarrow 0$) до $0,48\lambda N_0$ ($V_{\text{тр}} = 0,5V_0$). В реальных условиях расстояние между камерами для снижения фона должно быть не менее 150 см . Если диаметр трубопровода будет не более 1 см , то $V_{\text{тр}} \approx$

$\approx 0,1 \text{ л}$ и при оптимальной скорости движения пульпы $v_0 = 5,3 \text{ л/мин}$ скорость счета составит примерно $0,3\lambda N_0$.

Следует отметить, что при оптимальных условиях флюктуации скорости движения пульпы очень значительно сказываются на величине показаний, например отклонение скорости от оптимальной в пределах $\pm 20\%$ вызывает уменьшение показаний не более чем на 2% .

Расчеты и результаты предварительных опытов свидетельствуют о том, что в оптимальных условиях при использовании Po-Be или Pu-Be -источника мощностью 10^7 нейтр/сек и регистрации γ -излучения N^{16} сцинтилляционным счетчиком с кристаллом NaJ (Tl) размером $40 \times 40 \text{ мм}$ скорость счета будет примерно 1 имп/сек на 1% CaF_2 в пульпе, а относительная погрешность анализа пульпы, содержащей $1-2\%$ CaF_2 , не превысит $\pm 20\%$.

Таким образом, можно считать, что нейтронный активационный метод анализа обладает достаточной чувствительностью и может быть использован для разработки методики непрерывного контроля содержания флюорита в флотационной пульпе.

Поступило в Редакцию 24/VII 1969 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Прокопчик, Т. И. Субботина. «Атомная энергия», 21, 415 (1966).
2. O. A n d e r s. Nucleonics, 20, 78 (1962).

Время термализации быстрых нейтронов в горных породах силикатного состава различной влажности

Б. М. КОЛЕСОВ, Г. И. ГАНИЧЕВ, А. К. ОВЧИННИКОВ,
И. М. ХАЙКОВИЧ, Т. В. ТИМОФЕЕВА

УДК 550.835

В последние годы в ядерной геофизике при исследованиях в скважинах начал применяться импульсный нейтрон-нейтронный каротаж [1], основанный на измерении нестационарных полей тепловых нейтронов, возникающих в горных породах вследствие процессов замедления и термализации быстрых нейтронов импульсного генератора. В связи с этим представляет интерес исследовать временные характеристики этапа термализации нейтронов, которые для указанных сред до сих пор не определялись. Теоретическое рассмотрение этой задачи вызывает значительные трудности ввиду сложности законов рассеяния нейтронов с энергиями менее 1 эв [2], особенно в таких замедлителях, как горные породы.

В данной работе приводятся результаты измерений времени термализации быстрых нейтронов, выполненных на модели бесконечного однородного пласта силикатного состава различной влажности. Модель пласта имела вид железного пустотелого куба с ребром 3 м , наполненного песком со значительным содержанием кварца. В центральной части модели находилась алюминиевая труба с толщиной стенки 5 мм и внутренним диаметром 100 мм , имитирующая скважину без бурового раствора. Конструкция модели позволила провести измерения в песке, имеющем влажность 4 и $19 \text{ вес.}\%$. Объемный вес относительно сухого и влажного песка был равен соответственно $1,65$ и 2 г/см^3 . Элементный

состав сред (в весовых процентах) по данным химических анализов приведен в таблице.

Способ измерения времени термализации основан на использовании принципа энергетического форма-

Элементный состав силикатных сред

Элемент	Концентрация, вес. %		Элемент	Концентрация, вес. %	
	Коэффициент влажности 4 вес. %	Коэффициент влажности 19 вес. %		Коэффициент влажности 4 вес. %	Коэффициент влажности 19 вес. %
H	0,44	2,11	K	2,71	2,24
O	49,40	57,77	Ca	0,75	0,62
Na	1,65	1,36	Ti	0,17	0,14
Mg	0,15	0,12	Mn	0,02	0,02
Al	4,92	4,05	Fe	1,29	1,06
Si	36,70	30,20	Ba	0,02	0,02
P	0,03	0,02			
			Всего	98,25	99,73