

ОБЩЕЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ γ -РАДИОИЗОТОПНОГО АВТОМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СОСТАВА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Б. С. Кобяков

Одесса

В последние годы предложен ряд способов автоматического экспресс-анализа состава полезных ископаемых. Подавляющее большинство этих способов основано на том, что анализируемую среду авторы считают двухкомпонентной (бинарной). Однако в ряде случаев такое допущение оказывается слишком грубым.

Ископаемый уголь, например, является средой с весьма сложным химическим составом. Минеральная часть угля (зола) содержит кремний, алюминий, железо, кальций, кислород и т. д., причем весовые соотношения между этими составляющими изменяются совершенно произвольно.

С другой стороны, для управления технологическими процессами обогащения полезных ископаемых и др. обычно необходимо иметь информацию о содержании нескольких компонентов сложной среды. Так, например, при обогащении железных руд необходимо следить не только за содержанием железа, но также фосфора, кальция, серы.

Таким образом, необходим способ автоматического анализа состава полезных ископаемых, который позволил бы определить процентное содержание любого из n компонентов анализируемой среды на фоне случайно меняющегося соотношения остальных $n - 1$ компонентов.

Известно [1], что ослабление узких пучков γ -излучения достаточно точно описывается экспоненциальным уравнением

$$I_{\rho x} = I_0 \exp(-\mu_m \rho x), \quad (1)$$

где I_0 — интенсивность потока излучения, падающего на поглотитель;
 $I_{\rho x}$ — интенсивность потока излучений, прошедших через слой поглотителя толщиной x и плотностью ρ ;
 μ_m — массовый коэффициент поглощения, $\text{см}^2/\text{г}$.
Очевидно, что

$$\rho x = g, \quad (2)$$

где g — вес слоя поглотителя (2).

Тогда

$$I_g = I_0 \exp(-\mu_m g). \quad (3)$$

Массовый коэффициент ослабления n -компонентной среды

$$\mu_m = \sum_{i=1}^n k_i \mu_{mi}, \quad (4)$$

где k_i — весовая концентрация i -того компонента среды;

μ_{mi} — массовый коэффициент поглощения излучения для i -того компонента.

При энергии γ -квантов $E < 150$ кэв для элементов с атомными номерами; $Z < 30$ массовый коэффициент ослабления i -того элемента [2]

$$\mu_{\text{м}i} \simeq f_i(E) = \frac{Z_i}{A_i}, \quad (5)$$

где A_i — массовое число.

Следовательно, массовый коэффициент ослабления $\mu_{\text{м}}$ зависит в этом случае от химического состава поглотителя и от энергии γ -квантов.

В случае n -компонентов среды используется источник γ -излучения, спектр которого содержит не менее n энергетических линий, лежащих в диапазоне $(15 \div 150)$ кэв.

Тогда для γ -квантов с энергиями $E_1, E_2, E_3 \dots E_n$ можем записать соответственно (при этом $g_1 = g_2 = g_3 = \dots g_n = g$, так как всеми линиями спектра облучается одна навеска среды с весом g)

$$\ln I_{10}/I_{1g} = \ln k_1 = g \sum_{i=1}^n k_i \mu_{1\text{м}i}; \quad (6)$$

$$\ln I_{20}/I_{2g} = \ln k_2 = g \sum_{i=1}^n k_i \mu_{2\text{м}i};$$

$$\ln I_{30}/I_{3g} = \ln k_3 = g \sum_{i=1}^n k_i \mu_{3\text{м}i};$$

$$\dots \dots \dots$$

$$\ln I_{n0}/I_{ng} = \ln k_n = g \sum_{i=1}^n k_i \mu_{n\text{м}i}.$$

Здесь $\mu_{1\text{м}i}, \mu_{2\text{м}i}, \mu_{3\text{м}i} \dots \mu_{n\text{м}i}$ — массовые коэффициенты поглощения излучения i -того компонента для энергий γ -квантов $E_1, E_2, E_3 \dots E_n$ соответственно.

Учитывая, что

$$\mu_{2\text{м}i} = m_{2i} \mu_{1\text{м}i};$$

$$\mu_{3\text{м}i} = m_{3i} \mu_{1\text{м}i};$$

$$\dots \dots \dots$$

$$\mu_{n\text{м}i} = m_{ni} \mu_{1\text{м}i};$$

где $m_{2i}, m_{3i}, \dots, m_{ni}$ — коэффициенты пропорциональности, уравнения (6) можем представить следующим образом:

$$\ln k_1 = g \sum_{i=1}^n k_i \mu_{1\text{м}i}; \quad (7)$$

$$\ln k_2 = g \sum_{i=1}^n k_i m_{2i} \mu_{1\text{м}i};$$

$$\ln k_3 = g \sum_{i=1}^n k_i m_{3i} \mu_{1\text{м}i};$$

$$\dots \dots \dots$$

$$\ln k_n = g \sum_{i=1}^n k_i m_{ni} \mu_{1\text{м}i}.$$

Предположим, что мы хотим проследить за изменением процентного содержания первого компонента на фоне случайно меняющихся осталь-

ных $n-1$ компонент. В этом случае систему уравнений (7) решаем относительно k_1 и получаем следующее соотношение:

$$k_1 \sim \frac{\ln k_1 - (C_2^1 \ln k_2 + C_3^1 \ln k_3 + \dots + C_n^1 \ln k_n)}{\mu_{1M} g}, \quad (8)$$

где $C_2^1, C_3^1 \dots C_n^1$ — коэффициенты пропорциональности.

Так как $\mu_{1M} = \text{const}$, соотношение (8) можно переписать так:

$$k_1 \sim \frac{1}{g} [\ln k_1 - (C_2^1 \ln k_2 + C_3^1 \ln k_3 + \dots + C_n^1 \ln k_n)]. \quad (9)$$

Очевидно, что для $k_2, k_3 \dots k_n$ мы получим совершенно аналогичные соотношения. В общем случае

$$k_i \sim \frac{1}{g} [\ln k_i - (C_1^i \ln k_1 + C_2^i \ln k_2 + \dots + C_n^i \ln k_n)]. \quad (10)$$

Таким образом, на выводе вычислительного устройства, решающего это соотношение, мы получаем величину, пропорциональную процентному содержанию компонент i в n -компонентной смеси, независимую от флуктуации остальных $(n-1)$ компонентов и веса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. Я. Иванченко, Б. С. Кобяков. Метод оперативного контроля содержания минеральных примесей в угле. Известия вузов «Горный журнал», 1962, № 5.
2. О. И. Лейпунский, Б. В. Новожилов, В. Н. Сахаров. Распространение гамма-квантов в веществе. Физматгиз, 1960.