

# ИННОВАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ РАЗВИТИЯ МОЛОДЕЖИ СТРАН ЕАЭС В ОБЛАСТИ:

## ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

### ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ТВЕРДОГО ТОПЛИВА

Пак Д.Ю., доцент кафедры ГРМПИ, к.т.н.,  
Токушева Ж.Т., старший преподаватель кафедры ГРМПИ, магистр,  
Желаева Н.В., старший преподаватель кафедры ГРМПИ, магистр,  
Карагандинский государственный технический университет

Уголь как объект ядерно-физического контроля представляет собой сложное соединение, включающее органическую массу и многокомпонентную смесь минеральных примесей. Более 95% всей минеральной массы угля приходится на соединения алюминия, кремния, кальция и железа.

Наиболее интегральной характеристикой углей является эффективный атомный номер  $z$ , взаимосвязь которого с зольностью  $A$  определяет возможности способа по рассеянию низкоэнергетического гамма-излучения.

Более точная оценка метрологических возможностей способа осуществляется на основе аналитических расчетов потока рассеянных гамма-квантов от гамма-рассеивающих и гамма-поглощающих свойств анализируемых углей. Достаточно точное аналитическое выражение для потока рассеянных гамма-квантов получено в приближении однократного рассеяния:

$$N_s = N_0 \sigma_0 (\mu_0 + \mu_s) \quad (1)$$

где  $\sigma_0$  - массовый коэффициент рассеяния первичного гамма-излучения углем;

$\mu_0, \mu_s$  - массовые коэффициенты ослабления соответственно, первичного и рассеянного излучений углем.

При энергии гамма-излучения выше энергии К-края поглощения железа (7,11 КэВ) коэффициенты фотопоглощения закономерно возрастают с увеличением атомного номера элемента. В этом случае уголь может быть представлен трехкомпонентным соединением в составе углерода и минеральной массы в виде алумосиликатов и кальция. Следуя этой модели, массовые коэффициенты взаимодействия гамма-излучения ( $c_{\gamma_0}, \mu_0, M_s$ ) можно рассчитать исходя из принципа аддитивности:  $c_{\gamma_0} = c_{\gamma_0}^{\circ} + A' A a_{\gamma} + m \cdot A < T'$ ,

$$\{i_0 = f i' + A - A i_0 + m - A r i\}, \quad III$$

$$M_s = /4 + A'AJ''s + m \bullet D/4, \text{ где } Act = ct_0^m -$$

$$a_0^0; Act' = erf - a^u_0; A/j - /u^{\wedge} - /4; Aju' = /4 - tf;$$

$$Aju_s = ju\% / 4^1 AMs$$

$m \sim$  содержание тяжелого золообразующего

компонента в угле; индексы  $C, T, H$  относятся соответственно к углероду, тяжелому компоненту (Ga) и наполнителю золы.

Важнейшей метрологической характеристикой метода служит относительная чувствительность, характеризующая относительное приращение  $dN_s/N_s$  измеряемой интенсивности при единичном  $dA$  изменении зольности угля. Используя (1) и (2) и приняв равенство  $//_0 = ju_s$ , обусловленное тем, что в низкоэнергетическом интервале потери энергии гамма-квантов при их рассеянии незначительны, получим аналитическое выражение для чувствительности к зольности:

$$S_A = \frac{Act + Act' \cdot Ad_r + - Au'}{\wedge_0} \frac{1}{Mo} \quad (3)$$

Чувствительность метода к зольности как следует из (3) определяется различием органической массы угля и наполнителя золы в гамма- рассеивающих свойствах ( $Act$ ), а также различием составных компонентов минеральной массы в коэффициентах рассеяния первичного гамма-излучения ( $Det'$ ). Дифференцируя (1) по  $dm$  с учетом (2), получим относительную чувствительность к оксиду кальция:

$$= \quad (4)$$

$$\wedge_0 Mo >$$

Независимо от зольности с увеличением содержания  $CaO$  чувствительность снижается. Также наблюдается закономерное снижение величины  $S_m$  при повышении зольности угля.

В практике экспресс-анализа углей находит применение методика, суть которой заключается в измерении интегральной интенсивности вторичного излучения, включающего рассеянное углем гамма-излучение и рентгеновское флуоресцентное излучение кальция. Компенсационный принцип достигается тем, что при изменении содержания кальция интенсивности рассеянного и флуоресцентного излучений меняются качественно обратно. Для усиления компенсационного эффекта и достижения большей однозначности результатов предлагается вторичное излучение дополнительно ослаблять фильтром из легкого элемента. Задача аналитического нахождения толщины ослабляющего фильтра решена из условия равенства обратных по знаку абсолютных приращений интенсивностей рассеянного  $dN_s$  и флуоресцентного  $8N_f$  излучений при единичном  $dm'$  изменении содержания кальция в золе:

$$\frac{dN_s}{dm'} = \frac{dN_f}{dm'} \quad /с4$$

$$\quad \quad \quad W$$

Более корректным представляется решение задачи нахождения оптимальной толщины фильтра на основе соотношения (5), в котором равенство приращений  $dN_s, dN_f$  принимается при единичном изменении

содержания кальция в угле. Найденное исходя из этого выражение для толщины фильтра после соответствующих преобразований имеет вид:

$$d = \frac{10 \mu_{\text{пр}} \mu_{\text{ц}} (H - H_{\text{пр}}^{0,1})}{\mu_{\text{м}}} \quad (6)$$

где  $N_i$  - интенсивность флуоресцентного излучения кальция;

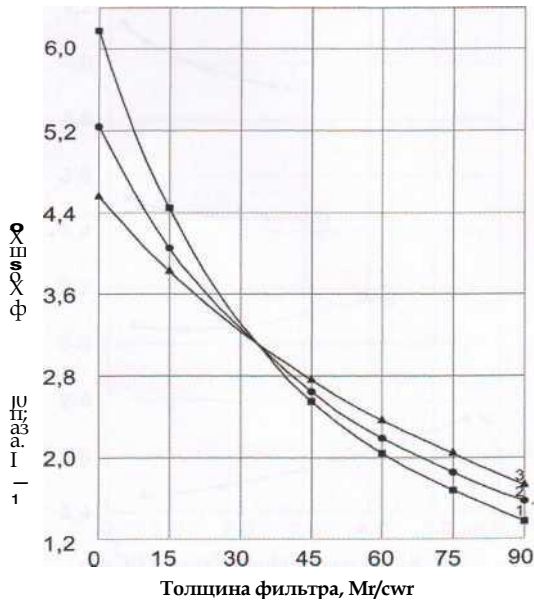
$S_{\text{м}}$  - относительная чувствительность к кальцию по флуоресцентному излучению;

$\mu_{\text{ц}}$ ,  $\mu_{\text{ф}}$  - массовые коэффициенты ослабления соответственно флуоресцентного и рассеянного излучений фильтром.

Полученное соотношение для оптимальной толщины фильтра, найденное с точки зрения инвариантности интегральной интенсивности вторичного излучения при флуктуации содержания кальция в угле позволяет учесть различные схемы замещения составных компонентов угля, что делает расчетную модель более приближенной к реальным условиям.

Расчетными и экспериментальными исследованиями установлены сложные закономерности изменения интегральной интенсивности ( $N_1 + N_2$ ) от толщины ослабляющего фильтра, зольности угля и концентрации кальция (рис.

1).



$A = 18\%$ ; 1 -  $m = 3,6\%$ ; 2 -  $m = 1,8\%$ ; 3 -  $m = 0,36\%$

Рисунок 1 - Зависимости интегральной интенсивности вторичного излучения от толщины фильтра

При определенной толщине фильтра наблюдается область инверсии, свидетельствующая о независимости интегральной интенсивности от колебаний содержания кальция. Условием возникновения инверсии служит равенство обратных по знаку абсолютных приращений интенсивности флуоресцентного и рассеянного излучений при флуктуации кальция в угле.

Левее точки пересечения кривых (доинверсионная область) превалирующую роль играет флуоресцентное излучение Са. В заинверсионной области (правее точки пересечения) преобладающую роль играет рассеянное гамма-излучение.

Различие в пропускной способности ослабляющего фильтра по отношению к рентгеновской флуоресценции кальция и рассеянному гамма-излучению приводит к закономерному смещению области инверсии. Если для угля с зольностью 18% область инверсии наступает при  $d=33 \text{ мг/см}^2$ , то для высокозольного угля ( $A=30\%$ ) оптимальная толщина фильтра  $d_{\text{оп}}$  составляет около  $44 \text{ мг/см}^2$ .

Более контрастно обозначено влияние вариаций содержания кальция в угле на результаты интегральных измерений в зависимости от зольности (рис. 2).

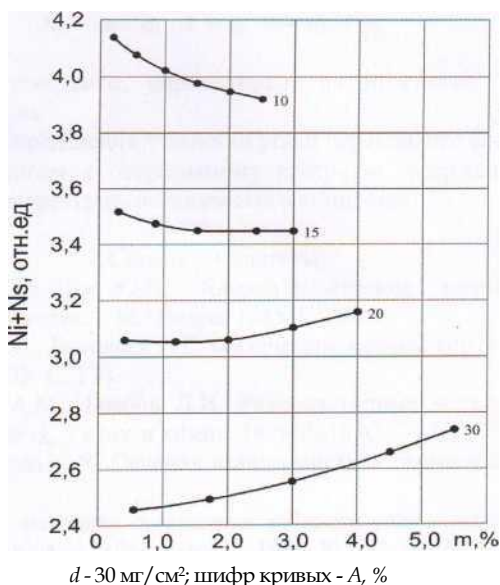


Рисунок 2- Зависимости интегральной интенсивности вторичного излучения от содержания СаО в угле

Наблюдаемые рост и падение интегральной интенсивности вторичного излучения от СаО вызваны недокомпенсацией флуоресцентного излучения при

малой толщине ( $d < d_{\text{огр.}}$ ) и перекомпенсацией при большой толщине фильтра ( $d > d_{\text{огр.}}$ ) •

Представленные на основе исследований данные показывают, что для точного контроля качества углей по интегральной интенсивности вторичного излучения нужна априорная информация о зольности и ее изменчивости, по которой выбирают оптимальную толщину ослабляющего фильтра.

Таким образом, предложенный интегральный метод с компенсацией переменного содержания кальция путем ослабления вторичного излучения дает удовлетворительные по точности результаты при условии незначительной дисперсии зольности. При анализе рядовых углей со значительной изменчивостью зольности и вещественного состава необходима аппаратурно-методическая информация о кальции с последующей коррекцией измеренной интегральной интенсивности вторичного излучения.

Статистической обработкой результатов многофакторных измерений установлены тесные взаимосвязи между интегральной интенсивностью вторичного излучения и содержанием кальция в угле и его зольностью, которые аппроксимируются эмпирическим выражением:

$$N_{\text{ис}} = a_0 - a_1 \cdot A + a_2 - m - a_3 \cdot A \cdot m, \quad (7)$$

Где  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  - константы, определяемые на модельных смесях углей известного состава.

Отсюда задача определения зольности углей переменного состава согласно выражению (7) сводится к оперативному контролю содержания кальция с помощью единого аппаратурно-методического комплекса.

#### Список литературы:

1. Старчик Л.П., Пак Ю.Н. Ядерно-физические методы контроля качества твердого топлива. - М.: Недра, 1985. С. 224.
2. Клемпнер К.С., Васильев А.Г. Физические методы контроля зольности угля. - М.: Недра, 1978. С. 174.
3. Онищенко А.М., Грабов Л.И. Радиоизотопные методы и приборы контроля зольности угля. - Кокс и химия, 1979. №10. С. 7-15.
4. Сторм Э. Исраэль Х. Сечения взаимодействия гамма-излучения. - М.: Атомиздат, 1973.
5. Пак Ю.Н. К методике повышения точности радиоизотопного анализа зольности угля. - Заводская лаборатория. - 1980. №8. С. 74-76.
6. Пак Ю.Н., Портнов В.С., Пак Д.Ю. К методике выбора оптимальных аппаратурных параметров при рентгенорадиометрическом анализе углей // Труды университета / КарГТУ. - Караганда, 2007. - Вып. 1. - С. 91-93.