

УДК 621.143.17

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ УГЛЯ

© Гречишкина Н.В., Мирошникова Л.А., 2005

Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля

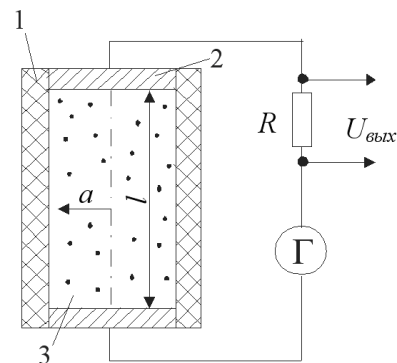
Описано розроблену концепцію контролю зольності вугілля контактним електромагнітним методом. Показано чутливість методу для різних значень узагальненого параметру

Одним из параметров, характеризующих качество угля, является его зольность, т.е. остаток, образующийся после сжигания угля. Учитывая, что подавляющее большинство добываемого угля сжигается в топках тепловых электростанций и котельных, то экологическая обстановка во многом определяется той золой, которая выносится в атмосферу вместе с дымовыми газами. Следовательно, необходимо проводить постоянный контроль зольности угля, поступающего на энергетические предприятия. Оперативность проведения контроля зольности гарантирует требуемое качество поставляемого угля.

Классический метод определения зольности путем сжигания и последующего взвешивания остатка после горения, грешит не только трудоемкостью, но и точностью в определении процента зольности, тем более, что нельзя перепроверить результат. Известные изотопные и рентгеновские методы измерения зольности достаточно точны, однако требуют особых мер предосторожности при работе с ними. Другим их существенным недостатком является недолговечность детектора излучений, который со временем меняет свои характеристики. Поэтому необходимо иметь простой и надежный способ измерения зольности, который можно было бы применить и при поточном контроле.

Электропроводность угля является тем параметром, который напрямую зависит от процента содержания золы в угле.

В данной статье рассматривается контактный метод определения зольности при постоянной температуре и влажности. Измельченную пробу угля помещают в диэлектрический цилиндр, к торцам которого через медные электроды подается переменный ток. Чтобы скин-эффект не влиял на результат измерения, необходимо выполнение условия $2a/l \leq 1$, где a – радиус исследуемой пробы, l – длина проводящего участка пробы (рис. 1).



1 – диэлектрический цилиндр; 2 – подводящие электроды; 3 – уголь

Рис. 1. Установка для измерения зольности угля

На основании уравнений Максвелла [1] полное электрическое сопротивление пробы будет таким:

$$Z = -j\omega L_e + \frac{R_0 a k J_0(ak)}{2J_1(ak)}, \quad (1)$$

где $\omega = 2\pi f$ – круговая частота тока; L_e – внешняя индуктивность, обусловленная магнитным потоком вне пробы; R_0 – сопротивление пробы постоянному току, т.е. при $f=0$; $k = \sqrt{j\sqrt{\mu_0\sigma\omega}}$; σ – удельная электрическая проводимость; $J_0(ak)$ и $J_1(ak)$ – функция Бесселя первого рода нулевого и первого порядка [2], которые могут быть определены так:

$$J_0(ak) = J_0(x\sqrt{j}) = ber x - i bei x; \quad (2)$$

$$J_1(ak) = J_1(x\sqrt{j}) = -ber_1 x - i bei_1 x, \quad (3)$$

где $x = \frac{a\sqrt{2}}{\delta} = a\sqrt{\mu_0\sigma\omega}$.

Приведем выражение (1) к виду

$$Z = R_i - i\omega[L_e - L_i], \quad (4)$$

где L_i – внутренняя индуктивность пробы, зависящая от частоты ω ; R_i – активная составляющая сопротивления образца, зависящая от ω .

Подставим в выражение (1) функции Бесселя (2), (3) и найдем соотношения для L_i и R_i . В

результате таких преобразований получаем:

$$\frac{ak J_0(ak)}{2J_1(ak)} = - \left[\frac{A}{ber_1^2 x + bei^2 x} + i \frac{B}{ber_1^2 x + bei^2 x} \right],$$

где ber_1 и bei_1 – функции Кельвина.

Произведем замену:

$$A = \sqrt{2}(-ber x bei' x + bei x ber' x);$$

$$B = \sqrt{2}(ber x ber' x + bei x bei' x);$$

$$D = ber'^2 x + bei'^2 x.$$

Тогда получим, что

$$Z = - \frac{i\omega}{c^2} \left[L_e + \frac{R_0 x B}{\omega 2 \sqrt{2} D} \right] - \frac{R_0 x A}{2 \sqrt{2} D};$$

$$L_i = \frac{R_0 x B}{\omega 2 \sqrt{2} D} = \frac{R x}{\omega 2 \sqrt{2}} \frac{\sqrt{2}(ber x ber' x + bei x bei' x)}{ber'^2 x + bei'^2 x};$$

$$R_0 = \frac{l}{a^2 \sigma}; \quad \frac{R x}{2 \omega} = \frac{\mu_0 l}{2 \pi x^2};$$

$$L_i = \frac{ber x ber' x + bei x bei' x}{ber'^2 x + bei'^2 x} \frac{\mu_0 l}{2 \pi x};$$

$$R_i = R_0 \frac{x}{2 \sqrt{2}} \frac{A}{D} = \frac{R_0 x}{2 \sqrt{2}} \frac{\sqrt{2}(ber x bei' x - bei x ber' x)}{ber'^2 x + bei'^2 x},$$

где $x = a \sqrt{2 \pi f \mu_0 \sigma}$ – обобщенный параметр.

Полученные выражения для L_i и R_i позволяют найти оптимальное значение частоты питающего напряжения через обобщенный параметр (рис. 2). Для достижения максимальной линейности преобразования обобщенный параметр x должен быть в диапазоне от 3 до 5.

Диапазон измерения зольности достигает 50% при погрешности измерения 1,5 – 2% при условии постоянной влажности. Для исключения влияния влажности на результат измерения используется амплитудно-фазовый метод обработки информационного сигнала. Основным измерительным каналом является фазовый канал,

где наблюдается линейная зависимость изменения удельной проводимости и соответственно зольности угля от фазы выходного сигнала. Амплитудный канал используется как компенсационный, позволяющий скомпенсировать влияние влажности при ее изменении от 8% до 20%.

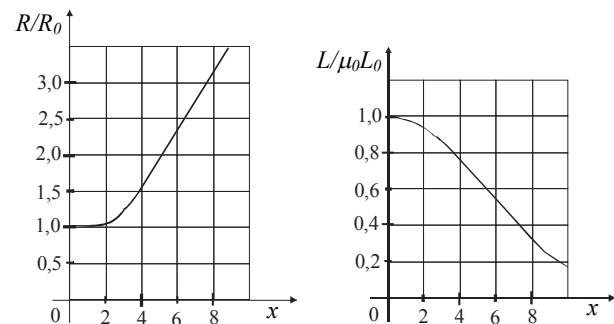


Рис. 2. Зависимости нормированных функций преобразования от обобщенного параметра

Таким образом полученные результаты свидетельствуют о перспективности предложенного метода измерения зольности. При последующей доработке этого метода имеется возможность непосредственного измерения зольности на конвейере в потоке.

1. Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. *Электродинамика сплошных сред.* – М.: Гос. изд-во физико-математической литературы, 1959 – 532 с.
2. Двайт Г.Б. *Таблицы интегралов и другие математические формулы.* – К.: Наука, 1978 – 228 с.
3. *Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник. В 2-х книгах. Кн. 2/ Под ред. В.В. Клюева.* – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 352 с.