

Сергиенко А.М.,¹ Аракелян Г.А.¹

¹Национальный технический университет “КПИ”, Киев, Украина

Определение зольности угля с помощью моделируемого отжига

The method for the estimation of the coal quality is proposed, which consists in the Fourier spectrum analysis of the acoustic transducer signal using the interpolation formula. The formula coefficients are searched by the simulated annealing method. The resulting formula provides the 7% precision of the coal ashes measurement.

В докладе изложен опыт использования метода моделируемого отжига для определения зольности топливного угля по косвенным измерениям. Такое определение необходимо, например, для отбраковки вагонов с некачественным углем, приходящих на тепловые электростанции. При этом содержание золы в угле, определяемое прямым стандартным методом, становится известным лишь через сутки, когда некачественный уголь уже поступил на склад. Поскольку число измерений при этом не превосходит количества вагонов, то обучающая последовательность для предполагаемых косвенных методов измерения оказывается существенно ограниченной.

Разработанный на факультете информатики и вычислительной техники НТУУ “КПИ” способ определения содержания золы в угле предназначен для определения качества угля, перевозимого в железнодорожных вагонах. Согласно способу, в уголь погружается акустический датчик, а в объеме вагона возбуждаются широкополосные акустические колебания. Сигнал с датчика записывается и анализируется с помощью ПЭВМ.

Опытным путем установлено, что существует связь между спектральным составом сигнала с датчика и качеством угля, т.е. с процентной долей золы в нем. Эта связь определяется с помощью функции:

$$x_i = \xi(\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_{N'}, S_1, S_2, \dots, S_N) + \Delta_i, \quad (1)$$

где x_i – фактическая доля золы в угле; ξ – интерполяционная функция; S_1, S_2, \dots, S_N – значения амплитуды спектра сигнала в N частотных полосах; $\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_{N'}$ – коэффициенты функции ξ , $N' \geq N$; Δ_i – ошибка измерения.

Данный способ измерения относится к косвенным способам [2]. Сложность поиска интерполяционной функции ξ состоит в трудоемком накоплении измеренных данных S_1, S_2, \dots, S_N , а также в вычислении функции ξ , дающей минимизированное значение Δ_i .

Анализ измеренных данных и определение содержания золы в угле выполняет разработанная программа Spectr. Она реализует ввод данных, вычисление быстрого преобразования Фурье, отображение спектра сигнала, выделение полос S_1, S_2, \dots, S_N , вычисление функции (1) и отображение результата.

На этапе обучения измеряют параметры S_1, S_2, \dots, S_N для проб угля, процентный состав которых известен по стандартным измерениям. На основе серии измерений вычисляют функцию ξ , которая потом вводится в программу Spectr.

В работе [1] показано, как моделирование остывания вещества переложить на задачи оптимизации. При этом приняты аналогии: энергия вещества – функция оптимальности решения Φ , его состояние – вектор решения $\Theta = (\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_{N'})$, изменение состояния – переход к следующему решению Θ , температура t – параметр, изменяемый в процессе оптимизации.

Алгоритм моделируемого отжига реализован в программе UGOL_KRIT, которая составлена на языке VHDL. В программе функция ξ вычисляется по формуле:

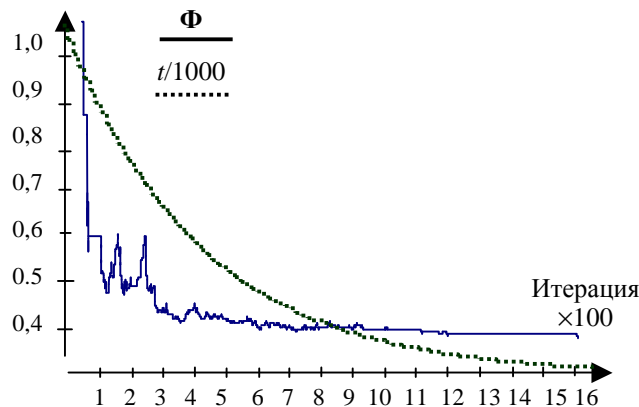
$$\xi = 1 - \exp\left(-\frac{\Theta_{N+1}}{f(\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_N, S_1, S_2, \dots, S_N) + \Theta_{N+2}}\right),$$

где f – нормированная линейная функция от N переменных.

Методика поиска оптимального вектора Θ состоит в следующем. С помощью измерительного стенда выполняют серию измерений характеристик угля S_1, S_2, \dots, S_N . После этого измеряют процентный состав угля эталонным методом. Возможно также определение состава угля по документам поставщика или по субъективным оценкам экспертов. Измеренные данные, а также процентный состав угля и степень доверия (коэффициент важности) измерения заносятся в программу UGOL_KRIT. Эта программа находит оптимизированное значение коэффициентов Θ для функции (1). При этом сначала находится начальное приближение коэффициентов методом интерполяции с минимумом данных. Потом эти коэффициенты заносят в ту же программу и находят окончательное решение задачи интерполяции.

На этапе проверки измеряют процентный состав золы в пробах угля с заранее неизвестным составом и сравнивают результаты с результатами стандартных измерений. При наличии новых серий достоверных измерений ими дополняют массив данных в программе поиска коэффициентов и рассчитывают уточненную функцию ξ .

Экспериментальная установка, измеряющая состав угля, была испытана в 2003 г. на Трипольской ГРЭС. Было собрано более 40 измерений, которые вводились в программу UGOL_KRIT. Процесс оптимизации коэффициентов Θ показан на рисунке.



Контрольные измерения показали среднюю абсолютную ошибку, равную 7%, которая удовлетворяет требования пользователя [3].

Таким образом, экспериментальная проверка методики поиска коэффициентов интерполяционной функции показала ее эффективность и действенность даже для коротких учебных выборок. Благодаря этому, получена приемлемая точность измерения зольности угля, которая может быть увеличена при дальнейшем использовании методики после сбора дополнительных измерений с достоверными значениями.

Список литературы

1. Kirkpatrick S., Gellatt C.D., Vecchi Jr.M.P. Optimization by Simulated Annealing. –Science. – V.220. –1983. –N5. –p.671-680.
2. Мудров В.И., Кушко В.Л. Методы обработки измерений. –М.: Сов.Радио, –1976. – 192с.
3. Сергієнко А.М., Аракелян Г.А. Визначення зольності вугілля за допомогою модельованого відпалювання // Вісник НТУУ «КПІ», сер. Інформатика, управління та обчислювальна техніка. –Т.58. –2013. –с.70-74.