

УДК 681.31

И.П. Захаров, Е.Н. Шевченко

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, Украина

ОЦЕНИВАНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ВЛАЖНОСТИ В ТВЕРДОМ МИНЕРАЛЬНОМ ТОПЛИВЕ

В статье рассмотрена актуальность определения влажности твердого топлива, проанализировано определение массовой доли влаги в топливе после его высушивания, приведена схема выполнения измерения, составлено модельное уравнение, составлен бюджет неопределенности, получены выражения для расчета стандартной суммарной и расширенной неопределенности измерения, приведены рекомендации по записи результата измерения.

Ключевые слова: *влажность топлива, неопределенность измерений, коэффициент охвата, бюджет неопределенности.*

Введение

Влажность угля – одна из основных характеристик, определяющих его качество и стоимость. Присутствие влаги в топливе существенно ухудшает его основные технологические характеристики, снижает тепловую ценность, создает значительные трудности при транспортировке и подготовке к сжиганию, снижает тепловую экономичность топок. Увеличение влажности твердого топлива ведет к снижению подвижности его частиц, вплоть до полной потери топливом сыпучести. В зимнее время при низких температурах высоковлажные топлива способны к смерзанию, поэтому поступление на электростанцию смерзшегося топлива чрезвычайно осложняет его выгрузку и всю работу топливоподачи. Влага снижает температуру в топочной камере, увеличивает объем продуктов сгорания и, следовательно, увеличивает потери тепла с исходными газами, недожиганием горючей части топлива, уменьшая тем самым КПД парогенератора. Именно поэтому влажность твердого минерального топлива является одним из ключевых параметров, определяемых в углеиспытательных лабораториях.

Стандарт ISO/IEC 17025:2005 [1] определяет международное признание результатов калибровок и испытаний, выполненных лабораториями, получив-

шими аккредитацию от органов, которые заключили MRA [2] с аналогичными органами других стран и законодательно закрепляет необходимость наличия процедур оценивания неопределенности измерений, проводимых в аккредитованных лабораториях.

Целью статьи является описание процедуры обработки результатов измерений и оценивания неопределенности измерений при определении влажности твердого минерального топлива.

Изложение основного материала

В связи с тем, что молекулы воды могут быть связаны с поверхностью угля силами разной природы (абсорбция на поверхности и в порах, гидратирование полярных групп макромолекул, вхождение в состав кристаллогидратов минеральной части), при разных способах выделения влаги из угля получают различные величины его обезвоженной массы и, соответственно, разные значения влажности.

Масса угля с содержанием влаги, с которым он отгружается потребителю, называется рабочей массой угля, а влага, которая выделяется из нее при высушивании пробы до постоянной массы при температуре выше кипения воды, называется общей влагой рабочей массы угля. Если пробу угля высушивают до постоянной массы при комнатной тем-

пературе, то выделяющаяся влага называется внешней, а проба приводится к воздушно-сырому состоянию. Масса такой пробы называется аналитической массой угля, если она измельчена до 0,2 мм. Влага, содержащаяся в ней – связанная влага угля, которая удерживается на его поверхности сорбционными и капиллярными силами. При удалении последней из пробы при нагревании остается сухая масса угля.

Содержание влаги в горючем ископаемом характеризуется его влажностью W (Wasser). Эта величина выражается отношением массы выделившейся при температуре обезвоживания влаги к массе анализируемого образца.

В соответствии с ГОСТ 11014-81 [3], массовая доля влаги, определенная одноступенчатым способом, вычисляется по формуле:

$$W = \frac{m_1}{m} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где m – масса навески топлива, а m_1 – потеря массы при сушке топлива.

1.1 Анализ схемы выполнения измерения и составление модельного уравнения. Схема выполнения измерения приведена на рис. 1. По этой схеме можно выполнять измерение массовой доли влаги аналитической пробы или общей влаги в топливе.

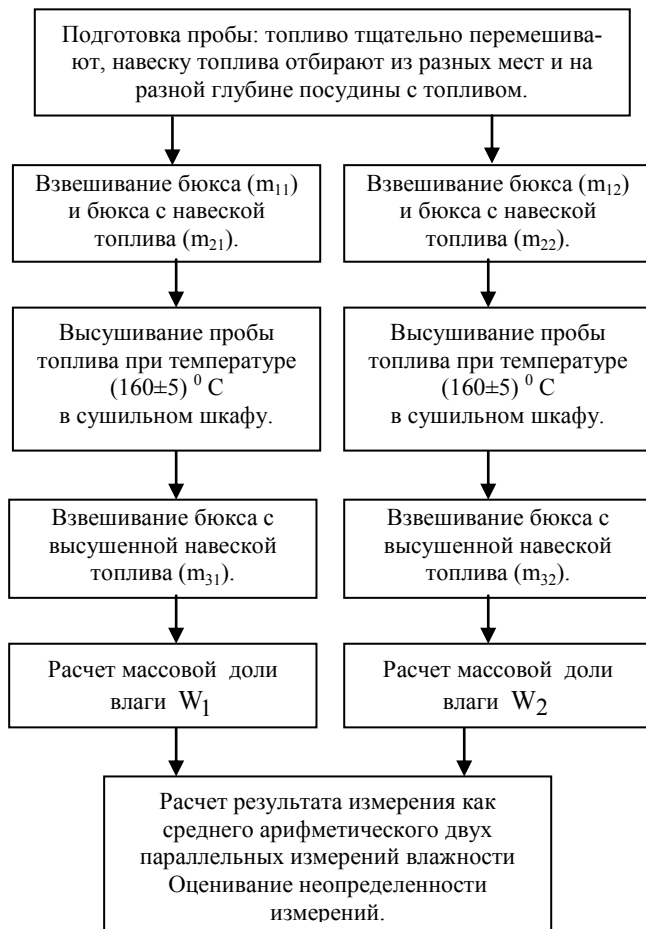


Рис. 1. Схема выполнения измерения

В соответствии с [3], влажность W определяется как среднее арифметическое результатов двух параллельных измерений W_1 и W_2 :

$$W = \bar{W} = (W_1 + W_2)/2, \quad (2)$$

где $W_1 = \frac{m_{21} - m_{31}}{m_{21} - m_{11}} \cdot 100\%$, $W_2 = \frac{m_{22} - m_{32}}{m_{22} - m_{12}} \cdot 100\%$;

m_{11} , m_{12} – собственные массы первого и второго бьюксов; m_{21} , m_{22} – массы первого и второго бьюксов с навесками топлива; m_{31} , m_{32} – массы первого и второго бьюксов с высушенными навесками топлива.

Это модельное уравнение описывает так называемый метод приведения (редукции), описанный в [4]. Особенности оценивания неопределенности измерений для этого метода рассмотрены в [5].

1.2 Оценивание неопределенности измерений и составление бюджета неопределенности. Модельному уравнению (2) отвечает выражение для суммарной стандартной неопределенности W :

$$u_c(W) = \sqrt{u_A^2(\bar{W}) + u_A^2(c_{11}^2 + c_{12}^2 + c_{21}^2 + c_{22}^2 + c_{31}^2 + c_{32}^2)}, \quad (3)$$

где $u_A(\bar{W}) = |W_1 - W_2|/2$ –

неопределенность по типу А результатов двух параллельных измерений влаги; $u_B = u_1 = u_2 = u_3 = \theta \sqrt{3}$ (5) – стандартные неопределенности по типу В взвешивания масс соответственно бьюксов, бьюксов с навесками топлива и бьюксов с высушенными навесками топлива, которые рассчитаны через границы θ неисключенной систематической погрешности (НСП) измерения массы на весах в предположении равномерного распределения НСП внутри границ; c_{11} , c_{12} , c_{21} , c_{22} , c_{31} , c_{32} – соответствующие коэффициенты чувствительности, причем

$$c_{11} = \left| \frac{\partial \bar{W}}{\partial m_{11}} \right| = 50 \cdot \frac{(m_{21} - m_{31})}{(m_{21} - m_{11})^2}; \quad (6)$$

$$c_{12} = \left| \frac{\partial \bar{W}}{\partial m_{12}} \right| = 50 \cdot \frac{(m_{22} - m_{32})}{(m_{22} - m_{12})^2}; \quad (7)$$

$$c_{21} = \left| \frac{\partial \bar{W}}{\partial m_{21}} \right| = 50 \cdot \frac{m_{31} - m_{11}}{(m_{21} - m_{11})^2}; \quad (8)$$

$$c_{22} = \left| \frac{\partial \bar{W}}{\partial m_{22}} \right| = 50 \cdot \frac{m_{32} - m_{12}}{(m_{22} - m_{12})^2}; \quad (9)$$

$$c_{31} = \left| \frac{\partial \bar{W}}{\partial m_{31}} \right| = \frac{50}{(m_{21} - m_{11})}; \quad (10)$$

$$c_{32} = \left| \frac{\partial \bar{W}}{\partial m_{32}} \right| = \frac{50}{(m_{22} - m_{12})}. \quad (11)$$

Расширенная неопределенность будет определяться в соответствии с ДСТУ-Н РМГ 43:2006 [6], из выражения:

$$U(W) = t_{0,95}(v_{\text{eff}W}) \cdot u_c(W), \quad (12)$$

где $t_{0,95}(v_{\text{eff}W})$ – коэффициент Стьюдента для эффективного числа степеней свободы

$$v_{\text{eff}W} = \left[u_c(W) / u_A(\bar{W}) \right]^4. \quad (13)$$

Результат измерения массовой частицы влаги аналитической пробы или общей влаги в топливе записывается следующем виде

$$W = \bar{W} \pm U(W); \quad p = 0,95. \quad (14)$$

При записи результата измерения расширенная неопределенность округляется до двух значащих цифр, а числовое значение результата измерения должно заканчиваться цифрами того же разряда, что и значение расширенной неопределенности [6].

Бюджет неопределенности измерений массовой части аналитической пробы или общей влаги в топливе приведен в табл. 1.

Таблица 1

Бюджет неопределенности измерений
массовой доли влаги аналитической пробы или общей влаги в топливе

Входная величина	Оценки входных величин	Стандартные неопределенности входных величин	ЧСС	Коэффициент чувствительности	Вклады неопределенности
\bar{W}	(2), %	(4), %	1	1	(4), %
m_{11}	\hat{m}_{11} , г	(5), г	∞	(6), %/г	$c_{11} \cdot u_B$, %
m_{12}	\hat{m}_{12} , г	(5), г	∞	(7), %/г	$c_{12} \cdot u_B$, %
m_{21}	\hat{m}_{21} , г	(5), г	∞	(8), %/г	$c_{21} \cdot u_B$, %
m_{22}	\hat{m}_{22} , г	(5), г	∞	(9), %/г	$c_{22} \cdot u_B$, %
m_{31}	\hat{m}_{31} , г	(5), г	∞	(10), %/г	$c_{31} \cdot u_B$, %
m_{32}	\hat{m}_{32} , г	(5), г	∞	(11), %/г	$c_{32} \cdot u_B$, %
Выходная величина	Оценка выходной величины	Суммарная стандартная неопределенность	ЭЧСС	Коэффициент охвата	Расширенная неопределенность
W	(2), %	(3), %	(13)	$t_{0,95}(v_{\text{eff}W})$	(12), %

Выводы

1. Рассмотрена необходимость определения влаги в топливе, а также ее ускоренный метод определения.

2. Разработана процедура обработки результатов и оценивания неопределенности измерений массовой доли аналитической пробы или общей влаги в топливе согласно ГОСТ 11014-81 «Угли бурые, каменные, антрацит и горючие сланцы. Ускоренный метод определения влаги», основанная на методе редукиции.

Список литературы

1. ISO/IEC 17025:2005 General requirement for the competence of testing and calibrating laboratories.
2. Mutual recognition of national measurement standards and of calibration and measurement certificates issued by national metrology institutes, International Committee for

Weights and Measures, 1999: [Электрон. ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.bipm.org>.

3. ГОСТ 11014-81 «Угли бурые, каменные, антрацит и горючие сланцы. Ускоренный метод определения влаги».

4. Rabinovich S.G. Measurement errors and uncertainty: theory and practice / S.G. Rabinovich. – 3rd edn. – New York: Springer. 2005. – 308 p.

5. Захаров И.П. Особенности оценивания неопределенности результатов параллельных измерений / И.П. Захаров, А.П. Сергиенко, М.П. Сергиенко // Системи обробки інформації: зб. наук. пр. – X.: XV ПС, 2008. – Вип. 4 (71). – С. 59-62.

6. ДСТУ-Н РМГ 43:2006 Метрологія. Застосування «Руководства по выражению неопределенности измерений» (РМГ 43-2001, IDT).

Поступила в редколлегию 20.04.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.В. Руженцев, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

ОЦІНЮВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ВОЛОГОСТІ У ТВЕРДОМУ МІНЕРАЛЬНОМУ ПАЛИВІ

І.П. Захаров, О.М. Шевченко

У статті розглянуто актуальність визначення вологи твердого палива, проаналізовано визначення масової частки вологи у паливі після його висушування, наведена схема виконання вимірювання, складено модельне рівняння, наведено бюджет невизначеності, отримані вираження для розрахунку стандартної сумарної та розширеної невизначеності вимірювання, наведено рекомендації щодо запису результату вимірювання.

Ключові слова: вологість палива, невизначеність вимірювань, коефіцієнт охопту, бюджет невизначеності.

MEASUREMENTS UNCERTAINTY EVALUATION AT DETERMINATION HUMIDITY IN SOLID MINERAL FUEL

I.P. Zakharov, E.N. Shevchenko

In article the urgency of determination of humidity of solid fuel is considered, determination of a mass fraction of a moisture in fuel after its drying is analysed, the circuit of performance of measurement is resulted, the modelling equation is made, draw up a budget of uncertainty, expressions for calculation of the standard combined and expanded uncertainty of measurement are received, recommendations on record of result of measurement are resulted.

Keywords: Humidity of fuel, uncertainty of measurements, factor of scope, uncertainty budget.