Записки Санкт-Петербургского горного института им.Г.В.Плеханова.
Т. 141. СПб, 1995

УДК 681.542.4

В.И.МАЛАРЕВ, Р.М.ПРОСКУРЯКОВ

АНАЛИЗ МЕТОДИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ДИНАМИЧЕСКОГО ТЕРМОВАКУУМНОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

На основании анализа тепловых процессов в системе проба – кювета – среда предложена математическая модель тепло- и массообмена термовакуумного метода измерения влагосодержания. Она представляет собой систему обыкновенных дифференциальных уравнений для перегревов температуры пробы ϑ_1 и кюветы ϑ_2 относительно температуры среды:

$$\begin{cases} C_1 \dfrac{d\vartheta_1}{dt} + \sigma(\vartheta_1 - \vartheta_2) = -P_0 \exp(-\alpha_u t); \\ C_2 \dfrac{d\vartheta_2}{dt} + \sigma(\vartheta_2 - \vartheta_1) + \sigma_c \vartheta_2 = 0 \ ; \end{cases} \qquad (1)$$

$$\vartheta_1(0) = \vartheta_1^\circ, \quad \vartheta_2(0) = \vartheta_2^\circ,$$

где P_0 – мощность внутренних источников (стоков) тепла в пробе, $P_0 \sim u_0$; C_1, C_2 – теплоемкости пробы и кюветы; σ, σ_c – тепловые проводимости между пробой и кюветой, кюветой и средой.

Анализ решения для ϑ_1 показывает, что влияние начального перегрева пробы ϑ_1° оказывается несущественным в динамическом режиме измерения влагосодержания. В частности, для ϑ_1° = 15 К относительная погрешность составляет 5 % при u_0 = 0,005 и 0,2 % при u_0 = 0,5 (рис.1). Ранее проведенные исследования показали, что начальная разность температур между пробой и стенками камеры первичного измерительного преобразователя является основным источником погрешности при измерении традиционным экстремальным термовакуумным методом [1,5]. Применение непрерывной температурной компенсации во вторичном измерительном преобразователе [3] позволяет уменьшить данный тип погрешности до уровня, соизмеримого с погрешностью регистрации сигнала. При оценке динамической погрешности измерения температуры

$$\Delta_д(t) = -\varepsilon \frac{dT(t)}{dt} \qquad (2)$$

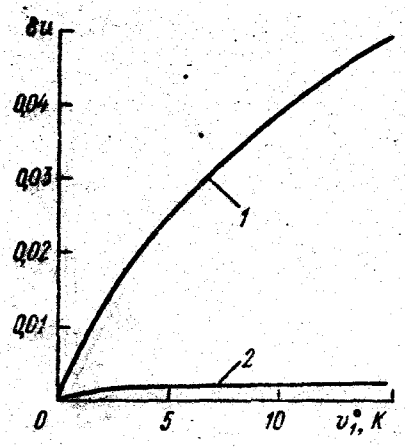


Рис.1. Зависимость относительной погрешности измерения влагосодержания от начального температурного напора
1 – $u_0 = 0{,}005$; 2 – $u_0 = 0{,}5$

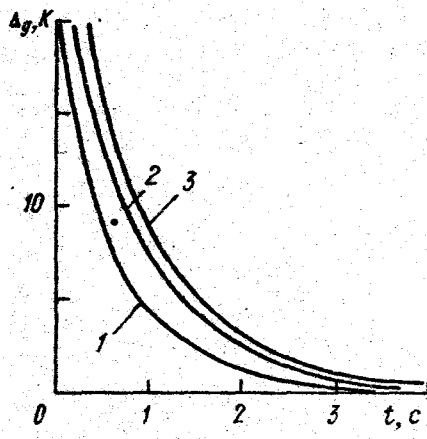


Рис.2. Динамическая погрешность термопреобразователя при различных значениях ϑ_1°
1 – 20 K; 2 – 30 K; 3 – 40 K

необходимо отметить, что $\Delta_д$ определяется в основном величиной термической инерции датчика c, которая зависит от теплоемкости датчика и тепловых проводимостей датчика со средой, пробой и различными элементами конструкции. В результате проведенных ранее исследований с использованием полуэмпирических методов было получено следующее выражение для динамической погрешности регистрации температуры [4]

$$\Delta_д(t) = \vartheta_1^\circ \left[0{,}54 \exp\left(-\frac{t}{0{,}98}\right) + 0{,}46 \exp\left(-\frac{t}{0{,}35}\right)\right]. \qquad (3)$$

Как видно из рис.2, величина $\Delta_д$ спустя 4–5 с после начала измерения уменьшается до уровня 0,05 К, а если учесть, что время измерения влагосодержания для динамического режима измерения в термовакуумном методе составляет 10–30 с [2], то величиной $\Delta_д$ можно пренебречь.

Вариации теплофизических свойств пробы (теплоемкость, теплопроводность, плотность, дисперсность, теплота парообразования) в среднем интервале влагосодержания (до 25 %) приводит к относительной погрешности ~ 4 %.

В связи с тем, что в динамическом режиме измерения информативным параметром является коэффициент десорбции влаги α_u [3], т.е. уравнение измерения имеет вид

$$u_0 \sim \frac{1}{\alpha_u}, \qquad (4)$$

одним из основных факторов, влияющих на точность измерения, является скорость откачки паровоздушной смеси из камеры, вариация которой может достигать 10 %. Применение стабилизаторов расхода позволяет устранить данный дестабилизирующий фактор.

Проведенный комплексный анализ методических и инструментальных погрешностей позволил выявить и устранить основные погрешности аддитивного и мультипликативного характера, в результате чего основная погрешность влагомера при влагосодержании до 3 % составляет не более 0,1–0,2 % абсолютного влагосодержания, а при влагосодержании до 50 % составляет 7 % относительного влагосодержания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кричевский Е.С., Волченко А.Г., Галушкин С.С. Контроль влажности твердых и сыпучих материалов. М.: Энергоатомиздат, 1987.

2. Маларев В.И., Проскуряков Р.М. Улучшение тепловой помехоустойчивости первичного преобразователя в термовакуумном методе измерения влагосодержания // Международный симпозиум по проблемам прикладной геологии, горной науки и производства: Тезисы докладов ; Новые технологии добычи полезных ископаемых / Санкт-Петербургский горный ин-т. СПб, 1993.

3. Проскуряков Р.М., Волченко А.Г. Теоретические основы и анализ систем термовакуумной влагометрии. Л.: Изд-во ЛГУ, 1991.

4. Проскуряков Р.М. Теоретические основы и анализ систем термовакуумной влагометрии: Автореф. дис. докт. техн. наук / Ленинградский горный ин-т. Л., 1991.

5. Теория и практика экспрессного контроля влажности твердых и жидких материалов / Под ред. проф. Е.С.Кричевского. М.: Энергия, 1980.