Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова, т. /XXУП, 1978 г.

ПЕРВИЧНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ТЕРМОВАКУУМНЫХ ВЛАГОМЕРОВ

А.Г.ВОЛЧЕНКО, Р.М.ПРОСКУРЯКОВ

В основе действия термовакуумных влагомеров лежит следующее явление: если тонкий слой испытуемого материала поместить в вакуумную камеру и начать откачивать из нее воздух, то температура материала начнет понижаться. Одновременно возникает конвективный поток тепла от стенок камеры и поверхности материала. По мере испарения влаги скорость этого процесса уменьшается и энергия, получаемая в результате конвективного теплообмена, становится больше энергии, поглощаемой при десорбции. Изменение температуры будет иметь экстремум, величина которого однозначно, а в большинстве случаев и линейно, зависит от влажности [2, 6]. Сказанное относится к случаю, когда температура стенок камеры постоянна и равна начальной температуре материала, а влажность материала мала. Верхнее значение измеряемых влажностей определяется величиной критической влажности, при которой влажный материал ведет себя как свободная поверхность воды.

Простейший первичный преобразователь термовакуумного влагомера состоит из вакуумной камеры, внутри которой помещена кювета. Дном кюветы служит плоский термодатчик, а высота ее стенок определяет толщину слоя материала. Основными недостатками такого первичного преобразователя являются низкая интенсивность тепломассообмена, приводящая к увеличению времени измерения, и дополнительная погрешность, вызванная начальной разностью температур стенок камеры и испытуемой пробы [3, 7]. Ниже описаны первичные преобразователи, полностью или частично свободные от этих недостатков.

Из анализа уравнения тепломассообмена в процессе десорбции влияние начального температурного напора Δt можно оценить безразмерным коэффициентом [7]

$$\frac{\theta^{*}_{max}}{\theta_{max}} = \left[1 - \frac{c\Delta t}{bru_0}\left(1-\xi\right)\right]^2 - \left(\frac{c\Delta t}{bru_0}\right)^{\frac{1}{1-\xi}},$$

где θ_{max}, θ^{*}_{max} – максимальное значение изменения температуры материала в процессе десорбции влаги в вакууме, служащее информационным параметром, при $\Delta t = 0$ и $\Delta t \neq 0$ соответственно; b – коэффициент, характеризую-

щий полноту удаления влаги сублимационной сушкой [2]; c – теплоемкость; r – энергия фазового перехода связанной воды; u_0 – влажность пробы; $\xi = \frac{\alpha_t}{Rc\gamma\alpha_p}$; α_t – коэффициент конвективного теплообмена; R – толщина слоя; γ – плотность пробы; α_p – экспериментальный коэффициент, характеризующий скорость десорбции влаги [2].

Для реальных датчиков $0{,}1 > \xi > 0{,}03$ (для R = 3÷5 мм), т.е. $\xi \ll 1$, поэтому приведенную формулу можно заменить приближенным выражением

$$k \approx 1 - \frac{c\Delta t}{bru_0} - \left(\frac{c\Delta t}{bru_0}\right)^2.$$

При $\Delta t \neq 0$ время наступления экстремума (время измерения) определяется выражением [4]

$$\tau_{ext} = \frac{1}{\alpha_p(1-\xi)} \ln\left[\frac{1}{\xi}\,\frac{1}{1+\frac{c\Delta t}{bru_0}(1-\xi)}\right].$$

Если температура стенок камеры превышает температуру материала, т.е. $\Delta t > 0$, то время измерения сокращается. Следовательно, создавая фиксированный температурный напор, можно сократить время измерения. Ошибка, вызванная нестабильностью температурного напора, достигающая в случае малых влагосодержаний до 200% от измеряемой величины [3,7], при этом устраняется практически полностью.

Принцип фиксированного температурного напора лежит в основе первичного преобразователя, показанного на рис.1. Теплоизолированная вакуумная камера выполнена разъемной в горизонтальной плоскости и снабжена греющей стенкой, состоящей из резистивного нагревателя, тепловыравнивающей алюминиевой пластины и транзисторного термодатчика. Термодатчик приклеен металло-эпоксидным компаундом. Кювета выполнена в виде углубления в теплоизолирующем материала (пенопласт). Дном кюветы служит алюминиевая фольга толщиной 0,1 мм. К нижней стороне фольги приклеен медный изолированный провод диаметром 0,05 мм, уложенный зигзагообразно и служащий термочувствительным элементом.

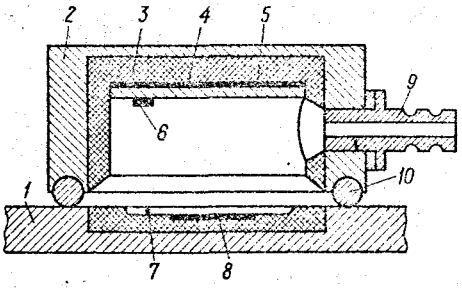


Рис.1. Первичный преобразователь с фиксированным температурным напором:
1 – неподвижная часть камеры; 2 – подвижная часть камеры; 3 – теплоизолятор; 4 – резистивный нагреватель; 5 – тепловыравнивающая пластина; 6 – транзисторный термодатчик; 7 – кювета; 8 – термочувствительный элемент; 9 – вакуумный штуцер; 10 – резиновое кольцо

При использовании измерительной схемы типа влагомера ТВВ-5 [7] начальная температура материала и изменение ее в процессе десорбции измеряются одним и тем же термочувствительным элементом. Температура греющей стенки измеряется транзисторным термодатчиком, включенным по трехпроводной схеме [8]. Такое включение обеспечивает постоянную чувствительность в диапазоне 20-80°С,

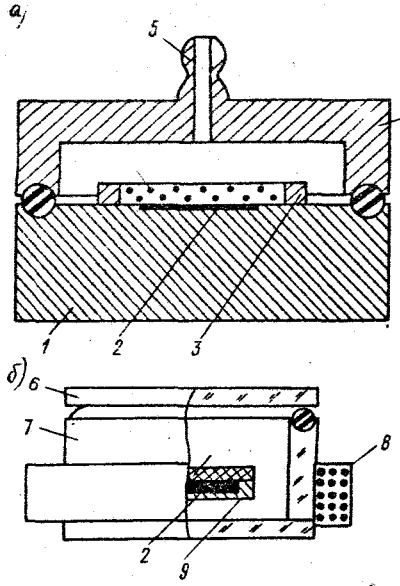


Рис.2. Первичный преобразователь: а – с пассивным нагревателем; б – с подводом энергии токами Фуко; 1 – медная пластина; 2 – плоский термочувствительный элемент; 3 – кювета; 4 – крышка; 5 – вакуумный штуцер; 6 – проба; 7 – вакуумная камера; 8 – индуктор; 9 – ферромагнитная пластина

т.е. стабильность температурного напора. Термочувствительный элемент и транзисторный термодатчик включены в схему автоматической регулировки температуры [7].

Другим путем, позволяющим повысить интенсивность тепломассообмена, является кондуктивный подвод тепла. Простейший первичный преобразователь такого типа (рис.2,а) состоит из пластины, масса которой значительно превышает массу пробы, выполненной из материала, теплопроводность которого значительно выше теплопроводности пробы. Измеряемая проба помещается на поверхности термочувствительного элемента, который через тепловое сопротивление связан с пластиной. В некоторых случаях роль теплового сопротивления может выполнять слой металлоэпоксидного компаунда, с помощью которого термочувствительный элемент приклеивается к пластине. Экспериментальная проверка первичного преобразователя производилась на двойном суперфосфате производства Воскресенского производственного объединения «Минудобрения". Если время измерения обычным датчиком составляло 8–12 мин, то применение датчика с кондуктивным подводом энергии позволило получить время измерения, не превышающее 3 мин.

Аналогичный результат можно получить, выполнив пластину термочувствительного элемента из ферромагнитного материала [1], например никеля, и при нагреве внешним электромагнитным полем (рис.2,б). С этой целью на внешней поверхности камеры располагают индуктор, питаемый током с частотой 400–2000 Гц. Токи Фуко, наводимые в пластине, разогревают ее, а следовательно, и пробу. Энергия, поглощаемая при этом в пластине, значительно превосходит потери в активном сопротивлении индуктора, поэтому по контролю активной мощности можно найти энергию, идущую на разогрев пробы. Если стабилизировать ток питания индуктора, то можно с достаточной точностью реализовать постоянство мощности, идущей на интенсификацию тепломассообмена. По данным В.М.Смольского [5] наличие переменного электромагнитного поля само по себе интенсифицирует тепломассообмен.

Таким образом, интенсификация тепломассообмена в первичных преобразователях термовакуумных влагомеров позволяет значительно (в 3–4 раза) сократить время измерения, а в ряде случаев и повысить точность измерения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волченко А.Г., Кричевский Е.С., Проскуряков Р.М. Термовакуумный влагомер. А.с. 525879 (СССР). Б.И. 1976, № 31.

2. Калориметрический метод измерения малых влагосодержаний порошкообразных водорастворимых материалов / А.Е.Согин, В.Л.Татиевский, М.В.Венедиктов, Н.М.Рудный. Инженерно-физический журнал, 1971, т.20, № 1.

3. О погрешности термовакуумного способа измерения влажности / Е.С.Кричевский, А.Н.Бычков, А.Г.Волченко, Р.М.Проскуряков. Изв.вузов, сер. Электромеханика, 1974, № 12.

4. О теоретической модели термовакуумного способа измерения влажности. / А.Г.Волченко, Б.Н.Джапаридзе, Е.С.Кричевский, Р.М.Проскуряков. Изв. вузов, сер. Электромеханика, 1974, № 12.

5. Смольский В.М. Тепло- и массообмен при электромагнитном методе подвода тепла материалу. В кн.: Тепло- и массообмен в капиллярнопористых телах. Минск, Наука и техника, 1965.

6. Теория и практическая реализация массопереносных методов определения влагосодержания. / М.В.Венедиктов, В.Л.Татиевский, А.Е.Согин, Э.А.Издебский. Приборы и системы управления, 1974, № 10.

7. Термовакуумная влагометрия - новый метод измерения влажности / Е.С.Кричевский, А.Г.Волченко, Ю.В.Подгорный, Р.М.Проскуряков. Измерительная техника, 1976, № 7.

8. Фогельсон И.В. Транзисторные термодатчики, М., Советское радио, 1972.